

美藤果粕可溶性膳食纤维提取工艺优化及其酸奶的制备

邓新宇, 陆思名, 陈宏著, 黄敏茹, 田晓彬, 黎攀*

(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 为了增加美藤果粕的利用新途径, 通过单因素和正交试验确定美藤果粕可溶性膳食纤维 (SISDF) 的最佳提取工艺, 并通过测定持水力、持油力、膨胀力、溶解度等来评价美藤果粕膳食纤维及其酸奶的理化性质。实验结果表明: 酸浓度为 2%、反应时间为 2.5 h、温度为 80 °C 和料液比为 1:20 为最佳工艺参数的条件, 得率为 24.13%。美藤果粕膳食纤维的持水力为 1.364 g/g、持油力为 8.266 g/g、膨胀力为 20.076 mL/g, 30 °C~90 °C 时溶解度在 46.79%~84.26% 之间; SISDF 全脂酸奶的持水力比全脂酸奶持水力高 12.44%, SISDF 脱脂酸奶的持水力是脱脂酸奶持水力的 3.32 倍; SISDF 全脂酸奶和全脂酸奶组对比, 稠度、粘度和硬度分别提高了 73.53%、3.20% 和 45.84%; SISDF 脱脂酸奶和脱脂酸奶组相比, 稠度、粘度和硬度分别提高了 171.43%、58.59% 和 28.06%。以上结果为美藤果粕的利用提供了新的思考与发展方向, 有望解决美藤果粕造成的资源浪费和环境污染问题。

关键词: 美藤果粕; 膳食纤维; 提取工艺; 理化性质; 酸奶

文章编号: 1673-9078(2023)05-175-182

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.5.0753

Optimization of the Soluble Dietary Fiber Extraction Process and Preparation of Yogurt from Sacha Inchi

DENG Xinyu, LU Siming, CHEN Hongzhu, HUANG Minru, TIAN Xiaobin, LI Pan*

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

Abstract: To increase the utilization of sacha inchi, the best extraction process of sacha inchi soluble dietary fiber (SISDF) was determined through single-factor and orthogonal experiments. Furthermore, the physicochemical properties of SISDF and its yogurt were evaluated by measuring indicators such as water-holding capacity, oil-holding capacity, swelling capacity, and solubility. The results showed a 24.13% yield with the following optimal process parameters: 2% acid concentration, 2.5 h reaction time, 80 °C temperature, and 1:20 material to liquid ratio. The water-holding capacity, oil-holding capacity, and swelling capacity of SISDF were 1.364 g/g, 8.266 g/g, and 20.076 mL/g, respectively, whereas the solubility ranged from 46.79% to 84.26% at 30 °C~90 °C. The water-holding capacity of SISDF full-fat yogurt was 12.44% higher than that of regular full-fat yogurt. The water-holding capacity of SISDF skimmed yogurt was 3.32 times higher than that of regular skimmed yogurt. Compared to regular full-fat yogurt, the consistency, viscosity, and hardness of SISDF full-fat yogurt increased by 73.53%, 3.20%, and 45.84%, respectively. Furthermore, compared to regular skimmed yogurt, the consistency, viscosity, and hardness of SISDF skimmed yogurt increased by 171.43%, 58.59%, and 28.06% respectively. These results provide insights into the utilization of sacha inchi, and are expected to solve the problems of resource wastage and environmental pollution associated with it.

Key words: sacha inchi; dietary fiber; extraction technology; physical and chemical properties; yogurt

引文格式:

邓新宇,陆思名,陈宏著,等.美藤果粕可溶性膳食纤维提取工艺优化及其酸奶的制备[J].现代食品科技,2023,39(5):175-182.

DENG Xinyu, LU Siming, CHEN Hongzhu, et al. Optimization of the soluble dietary fiber extraction process and preparation of yogurt from sacha inchi [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(5): 175-182.

收稿日期: 2022-06-15

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020226008)

作者简介: 邓新宇 (1997-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 707579253@qq.com

通讯作者: 黎攀 (1990-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 植物活性成分与肠道菌群相互作用机制, E-mail: lp19900815@scau.edu.cn

美藤果, 又名星油果、印加果, 属大戟科, 原生长于南美洲安第斯山脉地区热带雨林^[1,2]。2006年美藤果首次从秘鲁引进, 并在西双版纳种植成功^[3]。美藤果含有丰富的营养物质, 其中油脂、蛋白质以及维生素E含量较高。由于富含丰富的油脂, 美藤果的主要加工方式是美藤果油的提取, 美藤果粕则是提取油后的植物副产物, 一般直接丢弃不再利用。目前美藤果粕的加工与再利用的研究较少, 其副产物高值化利用具有较大的研究潜力。

膳食纤维(Dietary Fiber, DF)是一种既不能被消化吸收也不能产生能量的多糖, 可以分为不溶性膳食纤维(Insoluble Dietary Fiber, IDF)和可溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fiber, SDF), 大多数水果、蔬菜和豆类等更富含SDF, 而来自谷物的膳食纤维富含IDF^[4]。相比于IDF, SDF的交联特性更强, 将SDF添加在不同的食品中, 可明显改善食品的品质, 例如在糖果、面条、面包和火腿肠中添加SDF有助于提高产品的凝胶性和凝结性, 从而改善产品的风味、质构和口感; 而SDF亦可作为糖和脂肪的“代替物”, 降低食品中的热量并提高食品的营养价值^[5]。SDF还常加入发酵乳品中, 添加SDF的酸奶不但可以提高其消化能力, 而且还可以改善风味和延长产品的保质期。膳食纤维现今被认为是人类“第七大营养素”之一, 具有改善肠道功能、控制体重、稳定血糖和降低胆固醇等优点, 对人体健康起促进作用。而且, 大部分研究都证实不同来源的植物性膳食纤维具有不同的生理功能, 开发新型美藤果粕可溶性膳食纤维(SISDF)具有巨大的发展潜力。

本文探究并优化了美藤果粕可溶性膳食纤维的提取工艺参数, 在此基础上分析了所得可溶性膳食纤维的理化性质。为美藤果副产物的开发利用提供必要的理论基础和数据支持, 期望能推动美藤果产业的发展。

1 材料与amp;方法

1.1 试剂

美藤果粕, 武汉天天好生物制品有限公司; 全脂牛奶、脱脂牛奶, 内蒙古伊利实业集团股份有限公司; 白砂糖, 广东南字科技股份有限公司; 安琪酸奶发酵剂2菌型(保加利亚乳杆菌, 嗜热链球菌), 安琪酵母股份有限公司; 石油醚、无水乙醇、正丁醇, 分析纯, 天津富宇精细化工有限公司; 浓硫酸、三氯甲烷, 分析纯, 广州化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

SHA-B 恒温振荡器, 常州奥华仪器有限公司; ALPHA 2-4LDplus 冷冻干燥机, CHRIST; HH-8 数显恒温水浴锅, 金坛市富华仪器有限公司; DGG-9070B 鼓风干燥箱、ANKE TDL-5-A 低速离心机, 上海森信实验仪器有限公司; RE-5298 旋转蒸发器、SHZ-III 循环真空泵, 上海亚荣生化仪器厂; DF-101S 恒温加热磁力搅拌器, 郑州长城科工贸有限公司; AUW120D 电子分析天平、EZ-SX 质构仪, 日本岛津公司; PHS-3E pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; UV759 紫外分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司。

1.3 美藤果粕可溶性膳食纤维

1.3.1 原料处理

将美藤果粕原料置于60℃的鼓风干燥箱烘干10h, 令物料含水量低于5%, 粉碎后过40目筛, 用石油醚进行回流脱脂6h, 得到脱脂美藤果粕。

1.3.2 美藤果粕膳食纤维的提取优化

称取上述脱脂样品, 在一定温度和料液比下, 每组加入硫酸溶液, 清水作对比组, 搅拌反应2h, 离心取上清液进行低温减压浓缩, 向浓缩溶液加入4倍体积 $\varphi=95\%$ 乙醇, 醇沉过夜后离心取沉淀, 利用 $\varphi=95\%$ 乙醇洗沉淀, 随后调pH至中性, 冷冻干燥得SDF, 称重计算提取率。

优化美藤果粕SDF的提取工艺。以硫酸的体积分数(1%、1.5%、2%、2.5%、3%)、时间(0.5、1.0、1.5、2.0和2.5h)、温度(50、60、70、80和90℃)和料液比(1:5、1:10、1:15、1:20和1:25, m/V)等4个因素为自变量, 测量各组SDF的提取率, 作单因素试验探究。

在单因素试验的基础上, 选取硫酸体积分数(1%、1.5%、2%)、时间(1.5h、2h、2.5h)、温度(60、70、80℃)、料液比(1:10、1:15、1:20, m/V)进行正交试验, 获取最佳提取条件。

1.3.3 美藤果粕可溶性膳食纤维的纯化

采用Sevage试剂(正丁醇:氯仿=1:4)对所得美藤果粕可溶性膳食纤维复溶液进行去蛋白处理; 将获得的浓缩上清液装入透析袋(截留分子量为1000u)置于去离子水中透析, 最后冷冻干燥得到美藤果粕粗可溶性膳食纤维冻干粉, 将冻干粉复溶, 用DEAE-52阴离子交换柱进行梯度洗脱, 收集洗脱液; 将其冷冻干燥后, 定量复溶, 再用葡聚糖凝胶G-100柱进行纯

化;减压压缩 SDF 溶液并冷冻干燥,得美藤果粕 SDF (SISDF)。

1.3.4 美藤果粕可溶性膳食纤维的理化性质测定

1.3.4.1 持水力

参考曲鹏宇等^[6]的方法测定持水力,精确称量 1.0 g 美藤果粕 SDF 样品并放入 50 mL 的离心管中,加入 20 mL 去离子水震荡,于 4 °C 下静置 24 h,离心后称重。计算如公式(1)。

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (1)$$

式中:

W —持水力, g/g;

m_2 —样品被水饱和后的质量, g;

m_1 —样品质量, g。

1.3.4.2 持油力

参考 Huang 等^[7]的方法测定持油力,精确称量 0.5 g 美藤果粕 SDF 样品并放入 15 mL 的离心管中,加入 10 mL 花生油震荡,于 4 °C 下静置 24 h,离心后除去上清液,并用吸油纸吸离心管壁多余的油脂,称重。计算如公式(2)。

$$O = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \quad (2)$$

式中:

O —持油力, g/g;

m_3 —样品质量, g;

m_4 —样品被油饱和后的质量, g。

1.3.4.3 膨胀力

参考曾伟奇^[8]的方法测定膨胀力,精确称量 0.2 g 美藤果粕 SDF 样品放于带刻度的 15 mL 离心管中,加入 5 mL 去离子水震荡,于 4 °C 下静置 24 h,准确记录膨胀后的体积。计算如公式(3)。

$$E = \frac{V_2 - V_1}{m_5} \quad (3)$$

式中:

E —膨胀力, mL/g;

V_1 —样品原体积, mL;

V_2 —样品溶胀后体积, mL;

m_5 —样品质量, g。

1.3.4.4 溶解度

精确称取 0.1 g 美藤果粕 SDF 样品,置于 50 mL 离心管并加入 20 mL 去离子水,在 30、40、50、60、70、80、90 °C 下保温 30 min,期间不断振荡,取出后离心,把上清液倒入已知质量的玻璃皿中,105 °C 热风干燥至恒重,称量玻璃皿和样品的重量。溶解度如公式(4)。

$$S = \frac{m_8 - m_7}{m_6} \quad (4)$$

式中:

S —溶解度, %;

m_6 —样品质量, g;

m_7 —玻璃皿质量, g;

m_8 —干燥后玻璃皿与溶质的质量, g。

1.3.4.5 阳离子交换能力

参考孙静^[9]的方法测定阳离子交换能力,精确称取 0.1 g 美藤果粕 SDF 样品置于烧杯中,加入 30 mL 的 0.01 mol/mL 盐酸溶液,充分搅拌后,于 4 °C 下静置 24 h,放置室温后每次用 0.1 mol/mL 氢氧化钠溶液进行滴定,于 pH 几乎不变时结束滴定,绘制 $V_{\text{NaOH}}-\text{pH}$ 关系图。

1.3.5 美藤果粕 SDF 酸奶制备工艺

酸奶制作工艺:

全脂或脱脂牛奶→配料(白砂糖、美藤果粕 SDF 等)→预热→均质→灭菌→冷却→接菌种→发酵→后熟→酸奶成品

操作要点:向鲜奶中加入质量分数 0.5% 美藤果粕 SDF 和质量分数 9% 白砂糖,充分搅拌至完全溶解,在 60 °C、15 MPa 条件下均质,均质后灭菌,冷却至 45 °C 左右,在无菌条件下接种质量分数 0.2% 混合发酵剂(保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌),42 °C 发酵 8 h,发酵后于 4 °C 后熟 12 h^[10]。

1.3.6 美藤果粕酸奶的理化检测

1.3.6.1 酸度和 pH 的测定

精确称取 10 g 搅拌均匀的酸奶,置于 150 mL 锥形瓶中,加入 20 mL 蒸馏水,再加入 0.5 mL $\rho=0.5\%$ 酚酞溶液,用 0.1 mol/L 的氢氧化钠标准溶液滴定,当溶液刚好变红且 30 s 内不褪色时停止滴定,并在这一过程中始终用磁力搅拌器进行搅拌^[11]。记录消耗的氢氧化钠标准溶液的体积,计算如公式(5):

$$A = \frac{V \times 100}{m} \quad (5)$$

式中:

A —酸度, T;

V —氢氧化钠标准溶液消耗体积, mL;

m —酸奶质量, g。

1.3.6.2 持水力测定

精确称取 20 g 酸奶于 50 mL 离心管中,4 000 r/min 离心 20 min,弃去上清液后倒置离心管 5 min,称量离心后离心管和样品的质量^[12]。持水力如公式 1.3.4.1 计算。

1.3.6.3 TPA 质构测定

采用岛津 EZ-SX 质构仪进行质构测定,选用 P/0.5

探头,测前、测试、测后速度均为 1 mm/s。

1.3.7 数据分析

实验重复三次,数据结果采用 SPSS 24.0、Origin 2018 和 Excel 2019 等软件进行数据分析并作图。

2 结果与分析

2.1 SISDF 提取的单因素试验

2.1.1 不同体积分数的硫酸溶液对 SDF 得率的影响

随着硫酸体积分数的增大,SDF 得率呈现先上升后下降的趋势,当硫酸体积分数为 1.5%、2.0% 和 2.5% 时,SDF 得率最高,且不存在显著性差异 ($P>0.05$),提取率在 17.66%~20.47% 之间。同等条件下,加入蒸馏水进行搅拌提取,SDF 得率只有 1.38%,与加入硫酸溶液的组别具有极显著差异 ($P<0.01$)。硫酸体积分数的升高,可以使不可溶膳食纤维 (IDF) 中的半纤维素部分溶解,IDF 可转化为 SDF 导致美藤果粕粗 SDF 含量升高;而硫酸体积分数过高,可能使 SDF 自身降解^[13]。因此,选取 1.5%、2.0% 和 2.5% 的硫酸溶液体积分数作为正交试验的三个水平。

2.1.2 不同反应时间对 SDF 得率的影响

随着反应的时间增加,SDF 得率总体呈现上升后趋向平稳,在 0.5~2.5 h 期间 SDF 得率升高,2.5 h 后趋向平缓,SDF 达到 19.58%。反应时间过短,原料中的蛋白质、脂肪等物质水解不完全,同时半纤维素未能完全溶解在溶液中,SDF 的得率较低^[14,15];2.5 h 后,美藤果粕 SDF 大部分被硫酸溶解到液体中,故得率趋向平缓。因此,选取反应时间 1.5、2.0 和 2.5 h 作为正交试验的三个水平。

2.1.3 不同温度对 SDF 得率的影响

在料液比 1:15 的条件下,加入 2% 硫酸溶液,设置不同温度并搅拌反应 2 h。随着温度的升高,SDF 得率呈现先上升后下降的趋势。50~70 °C 时,SDF 得率不断升高,可达 19.69%;70 °C 后 SDF 提取率开始下降。由此说明,在一定硫酸体积分数范围内提高温度,可促进美藤果粕 SDF 的浸出,原因可能在于半纤维素类的成分在较高温度的环境下更容易与木质素分离或者被水解生成小分子的 SDF;过高的温度会增大溶液的黏度,阻止 SDF 的析出,同时高温也能在一定程度上使 SDF 结构改变而限制了醇沉的效果^[16]。因此,选取温度为 60、70、80 °C 作为正交试验的三个水平。

2.1.4 不同料液比对 SDF 得率的影响

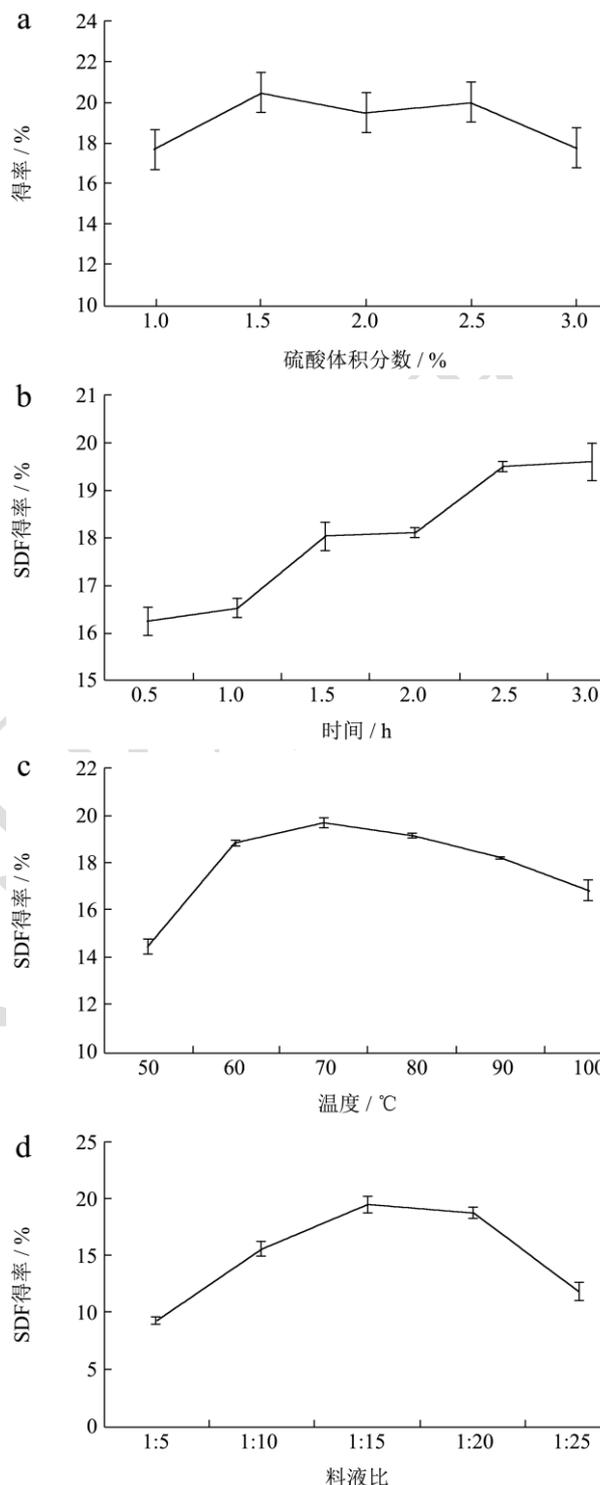


图 1 不同提取条件对 SDF 得率的影响

Fig.1 Effect of different extraction conditions on SDF extraction rate

注: a 为硫酸体积分数对 SDF 得率的影响; b 为时间对 SDF 得率的影响; c 为温度对 SDF 得率的影响; d 为料液比 SDF 得率的影响。

在 60 °C 下, 加入 2% 硫酸溶液, 设置不同料液比并搅拌反应 2 h。随着液体的比例增大, SDF 得率先上升再下降。在料液比为 1:15 时, SDF 得率最高, 为 19.48%。料液比是传质推动力的重要因素之一, 两相之间的浓度差越小, 传质推动力往往不足, 故 SDF 得率不高^[17]。在一定程度上, 随着硫酸溶液的比重增加, SDF 从美藤果粕中扩散至提取液的速度逐渐加大; 扩散速度达到最大时, SDF 溶解量同样达到峰值^[18]。当液体的比重过大时, 会造成酸溶液的浪费并增加乙醇的用量, 同时大量硫酸溶液会对 SDF 造成一定的降解、破坏, 导致 SDF 得率降低。因此, 选取料液比 1:10、1:15 和 1:20 作为正交试验的三个水平。

表 1 美藤果粕 SDF 提取的正交试验

Table 1 Orthogonal test for extraction of SDF from sachu inchi

水平	因素				得率/%
	A(浓度/%)	B(时间/h)	C(温度/°C)	D(料液比)	
1	1.5	1.5	60	1:10	14.09
2	1.5	2.0	70	1:15	16.76
3	1.5	2.5	80	1:20	23.00
4	2.0	1.5	70	1:20	18.22
5	2.0	2.0	80	1:10	18.86
6	2.0	2.5	60	1:15	16.34
7	2.5	1.5	80	1:15	21.08
8	2.5	2.0	70	1:20	18.65
9	2.5	2.5	60	1:10	15.22
K1	17.95	17.90	16.36	16.06	
K2	17.81	18.09	16.74	18.06	
K3	18.32	18.19	20.98	19.96	
最优水平	2.5	2.5	80	1:20	
R	0.51	0.39	4.62	3.9	
主次顺序	C>D>A>B				

2.3 SISDF 理化性质

2.3.1 持水力

美藤果粕 SDF 的持水力、持油力和膨胀力如表 2 所示。美藤果 SDF 粗提物持水力为 1.766 g/g, SISDF 的持水力为 1.364 g/g。纯化后的美藤果 SDF 的持水力较粗提物有所下降, 原因可能是在纯化过程中纤维素的损失和木质素含量比例增加而导致持水力的变化^[19]。与其他物料提取的可溶性膳食纤维相比, SISDF 的持水力略显逊色, 燕麦壳 2.13 g/g、豆渣 SDF 4.57 g/g、油橄榄果渣 5.05 g/g^[20,21]。SISDF 的持水力虽然较其他物料的 SDF 低, 但是也处于一个合理的范围, 具有一定的持水能力。

2.3.2 持油力

2.2 美藤果粕可溶性膳食纤维提取的正交试验

由表 1 的结果可知, 美藤果粕酸提取 SDF 工艺的最佳组合为 A₃B₃C₃D₃, 即硫酸体积分数为 2%、反应时间为 2.5 h、温度为 80 °C 和料液比为 1:20 是最优工艺参数。比较 4 个因素的极差值可以看出, 对美藤果粕酸提取 SDF 工艺的影响程度大小排序为 C>D>A>B, 即温度对美藤果粕酸提取 SDF 工艺影响最大, 料液比、硫酸溶液体积分数相继次之, 影响程度最小的是反应时间因素。

在最优组合 A₃B₃C₃D₃ 的条件下, 美藤果粕酸提取 SDF 的得率为 24.13%, 高于此前测得的实验结果。

美藤果 SDF 粗提物持油力为 2.49 g/g, SISDF 的持油力为 8.27 g/g, 纯化后的 SISDF 持油力大幅上涨, 远高于梨渣 (2.77 g/g)、脱脂椰子粉 (4.93 g/g) 与水稻壳 (1.85 g/g)^[22]。持油力的增加有可能与其松散和多孔的结构有关, 适度的改性可令部分亲油基团暴露^[23], 酸法作为化学提取法之一, 该提取过程也会使亲油基团暴露, 在宏观上表现出较高的持油力, SISDF 与油脂之间的结合能力较高。

2.3.3 膨胀力

美藤果粕 SDF 粗提物的膨胀力为 21.36 mL/g, SISDF 膨胀力为 20.08 mL/g, 纯化前后无显著差异 ($P>0.05$), 远高于荔枝渣 SDF 1.60 mL/g、脱油孜然膳食纤维 7.98 mL/g 和咖啡豆内果皮 SDF 14.0 mL/g^[19,24]。具有高膨胀力 SDF 的食物可以增加饱腹感, 从而减少

过量饮食所造成的血糖波动，并利于肥胖人群控制热量摄入。因此，SISDF 具有作为功能性食品成分的潜力，特别是预防、限制肥胖的商业应用领域。

表 2 美藤果粕 SDF 持水力、持油力、膨胀力

Table 2 Water holding capacity, oil holding capacity and expansion capacity of sacha inchi SDF

样品	SDF 粗提物	SDF 纯化物
持水力/(g/g)	1.77±0.12	1.36±0.16
持油力/(g/g)	2.49±0.19	8.27±1.69
膨胀力/(mL/g)	21.36±2.04	20.08±0.52

2.3.4 溶解度

可溶性膳食纤维溶解于水后，其溶解度越高则溶液黏度越大，在慢性疾病防治中的功能就越强，如可延长胃的排空时间、延缓葡萄糖的吸收和减少排泄物在肠道的停留时间等。如图 2 所示，SISDF 在水中的溶解度随温度的升高呈现上升的趋势，在 30 °C 时溶解度为 46.79%，而在 90 °C 可达 84.26%，呈现较好的水溶性。油橄榄果渣和枣渣均表现出相同的变化趋势，随着温度的升高溶解度提高，油橄榄果渣 SDF 在 80 °C 下溶解度达 96%；和枣渣 SDF 可在 60 °C 下几乎完全溶解^[25]。同时，溶解度除了受温度的影响，会与体系 pH 和体系溶液种类有关，有研究表明体系环境 pH 值为 7 最适合 SDF 溶解；乙醇溶液会限制 SDF 的溶解，当乙醇溶液达到 80% 时，SDF 溶解度趋向于 0^[26]。

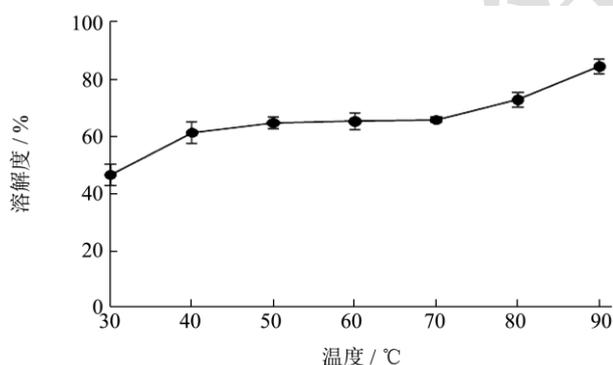


图 2 SISDF 的溶解度变化图

Fig.2 Solubility change of SISDF

2.3.5 阳离子交换能力

膳食纤维中含有很多基团，与人体肠胃内的 Fe²⁺、Na²⁺、Ca²⁺、Cu²⁺和 Hg²⁺等二价金属阳离子结合，表现出相对应的阳离子交换能力，机体的代谢能力和清除重金属能力可通过该缓冲体系的增强而得到提升，从而促进机体的健康^[27]。美藤果粕 SDF 粗提物和纯化物的阳离子交换力如图 3 所示。三个组别的 pH 值均呈现先缓慢上升、再加速上升的趋势，最后总体趋向平稳，pH 值最终无限接近 12。据之前的文献的报道^[28]，阳离子交换能力曲线图中，pH 值突变范围内

的斜率越小，阳离子交换能力越强。两种美藤果粕 SDF 提取物与空白对照组（HCl）相比，pH 值突变范围的斜率较小，说明美藤果粕 SDF 粗提物和纯化物都具有一定的阳离子交换能力；而美藤果粕 SDF 粗提物组的斜率较 SDF 纯化物的更小，可能前者的阳离子交换能力优于后者。因此 SISDF 具有较强的阳离子交换能力，有利于稀释和缓冲在液体中的 pH 值，拥有开发功能性食品的前景。

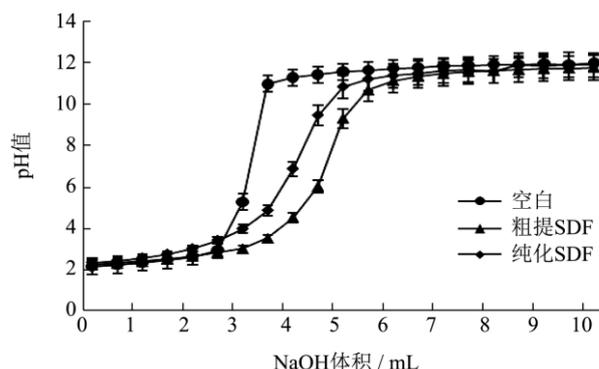


图 3 美藤果粕 SDF 阳离子交换能力

Fig.3 Cation exchange capacity of sacha inchi SDF

2.4 SISDF 制备酸奶的理化性质测定

2.4.1 酸度和 pH 值

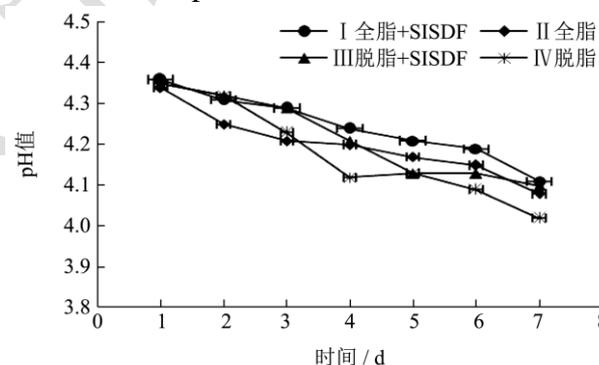


图 4 SISDF 酸奶强化前后的 pH 变化

Fig.4 Changes of pH before and after fortification with SISDF yogurt

酸度和 pH 值是评定酸奶的风味和品质的重要指标，酸度过高或 pH 值过低可能导致酸奶的酸味过重、乳清析出量加大、产生异味，最终较大幅度影响酸奶的风味^[29]，导致感官评分降低。从图 4 和图 5 可以看出，在后熟 1~7 d 内，四组的酸奶的 pH 值呈现缓慢下降的趋势，I~IV 组的 pH 分别在 4.11~4.36、4.08~4.34、4.10~4.35 和 4.02~4.35 之间，差异性不大。而各组酸奶的酸度呈现缓慢上升后趋向平缓，I~IV 组的酸度分别在 88.0~90.2、88.3~89.9、87.8~90.0 和 87.9~90.0 之间，同样没有太大的差异。此前有研究表明在 4 °C 下储存酸奶 29 d 以及在 10 °C 下储存 7 d，pH

值在 4.00~4.25 范围之内较适宜饮用并保持良好的口感与风味^[30]。

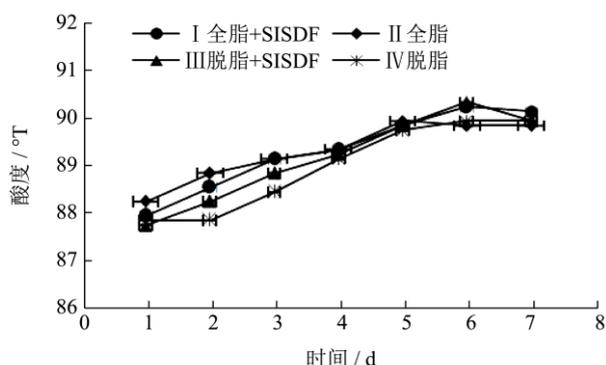


图 5 SISDF 酸奶强化前后的酸度变化

Fig.5 Acidity change of SISDF yogurt before and after strengthening

综合上述,可说明随着储存的时间增加,pH 值和酸度不会随着 SISDF 和脂肪含量的增加,该制作工艺能使 SISDF 酸奶在一定时间内保持 pH 值和酸度处于相对稳定状态,不影响酸奶品质。

2.4.2 SISDF 酸奶强化前后的持水力测定

酸奶的持水力是酸奶的蛋白凝胶网络对水的保持能力,其与酸奶结构均一性和稳定性密切相关。酸奶的乳清析出量越大,说明酸奶结构越不均一、越不稳定。从图 6 可以看出,全脂酸奶组的持水力都远高于脱脂酸奶组的持水力。I 和 II 组的持水力分别为 85.57、76.10 g/g,说明添加了 SISDF 之后,持水力提高了 12.44%,能有效增加酸奶的持水力,SISDF 酸奶的结构均一性和稳定性得到提高。而 III 和 IV 组的持水力分别为 72.83、21.97 g/g,SISDF 脱脂酸奶的持水力是脱脂酸奶持水力的 3.32 倍,且接近 II 组的持水力,SISDF 提高酸奶品质在脱脂酸奶中的效果更明显。

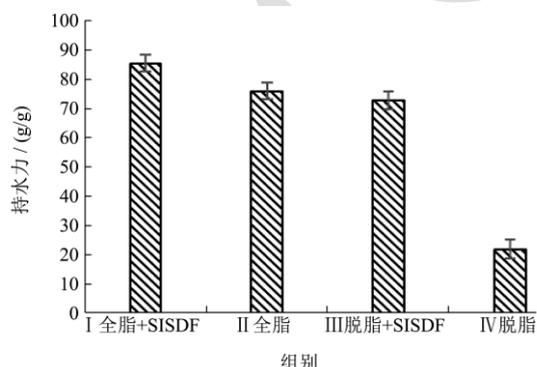


图 6 酸奶强化前后的持水力变化

Fig.6 Changes of water holding capacity of SISDF yogurt before and after strengthening

由此说明 SISDF 不但能提高酸奶的持水力,还能改善缺少脂肪带来的口感上的缺陷,在一定程度上 SISDF 可替代脂肪的作用,从而改善了脱脂酸奶的整

体品质,满足消费者不同需求的消费需求。

2.4.3 SISDF 酸奶强化前后的 TPA 质构测定

在 TPA 质构测定中,稠度、粘度和硬度是检测酸奶质构的重要 3 个指标,亦能反映酸奶的口感和组织状态的优劣。影响这些指标的因素包括原乳的成分、添加剂的使用、发酵剂的用量和种类等。由图 7 可知,四组之间的稠度、粘度和硬度均有不同程度的差异。全脂酸奶+SISDF、全脂酸奶、脱脂酸奶+SISDF、脱脂酸奶的稠度分别为 0.72、0.48、0.41、0.22 mJ;粘度分别为 2.31、1.51、1.48、1.22 mJ;硬度分别为 0.36、0.23、0.21、0.17 N。总体来说,全脂酸奶的稠度、粘度和硬度比脱脂酸奶的高;在两种酸奶中添加了 SISDF,均能使稠度、粘度和硬度显著提高:I 和 II 组对比,稠度、粘度和硬度分别提高了 73.53%、3.20%和 45.84%;III 和 IV 组相比,稠度、粘度和硬度分别提高了 171.43%、58.59%和 28.06%。硬度、稠度和粘度在一定程度上反映了酸奶的凝乳性能,因此,在酸奶中添加 SISDF 使所得稠度、粘度和硬度显著提高,表示加入 SISDF 可以使全脂酸奶和脱脂酸奶的凝乳效果变好。

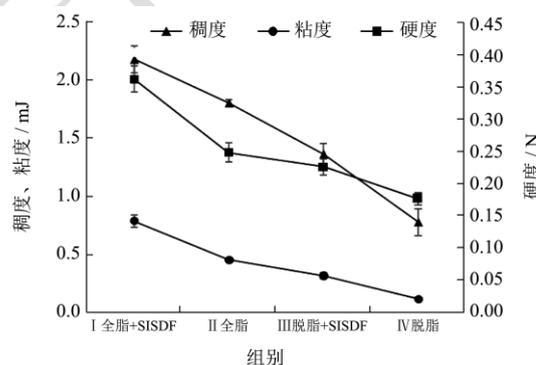


图 7 SISDF 酸奶强化前后的质构变化

Fig.7 Texture changes of SISDF yogurt before and after strengthening

3 结论

确定酸提取美藤果粕可溶性膳食纤维的最佳提取工艺参数为硫酸体积分数为 2%、反应时间为 2.5 h、温度为 80 °C 和料液比为 1:20,对美藤果粕粗可溶性膳食纤维酸提取工艺的影响程度大小排序为反应温度 > 料液比 > 硫酸溶液浓度 > 反应时间。在最佳提取工艺参数的条件下,得率为 24.13%。美藤果粕可溶性膳食纤维纯化后其持水力为 1.36 g/g、持油力为 8.27 g/g、膨胀力为 20.08 mL/g,30~90 °C 时溶解度在 46.79%~84.26% 之间,呈现良好的吸水溶胀和吸附作用。酸奶中加入 SISDF 可以优化其感官品质,且能改善以脱脂牛奶作为发酵原乳导致的乳清析出、结构松散和不良

口感等的缺陷;添加 SISDF 亦能提高酸奶的持水力,添加 SISDF 的全脂酸奶和脱脂酸奶的持水力分别提高 12.44% 和 231.50%;在 TPA 质构测试中,添加 SISDF 的全脂酸奶的稠度、粘度和硬度分别提高了 73.53%、3.20% 和 45.84%;添加 SISDF 的脱脂酸奶稠度、粘度和硬度分别提高了 171.43%、58.59% 和 28.06%。该实验对美藤果粕的利用提供了新的思考与发展方向并且提升了美藤果粕的附加值,有望解决美藤果粕造成的资源浪费和环境污染问题,并推进美藤果加工产业发展。

参考文献

- [1] 谢蓝华,陈佳,张晓琴.新资源食品-美藤果油的一些研究[J].云南科技管理,2015,1:83-85.
- [2] 杨小敏,张亚飞,胡鹏.美藤果油的研究开发进展[J].粮食与食品工业,2015,22(3):37-41.
- [3] 朱艳琼,陶银,陈国艳,等.美藤果品质及其影响因素分析[J].中国油脂,2020,45(11):123-126.
- [4] 漆桐林,金仓.红枣渣可溶性膳食纤维改性工艺及抗氧化活性研究[J].中国调味品,2022,47(1):87-89.
- [5] 许锡凯,辛嘉英,任佳欣,等.水溶性膳食纤维的提取方法及其在食品中的应用[J].食品研究与开发,2021,42(4):203-208.
- [6] 曲鹏宇,李志江,李丹,等.乳熟中期水稻茎中水溶性膳食纤维提取工艺研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2020,32(2):37-42,118.
- [7] Huang J, Liao J, Qi J, et al. Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 110: 106140.
- [8] 曾伟奇.柑橘纤维性能及其形态结构研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [9] 孙静.香菇柄膳食纤维的提取、性质及应用[D].沈阳:辽宁大学,2019.
- [10] 阮雁春,冯印.响应面法优化红酒酸奶的制作工艺[J].食品研究与开发,2020,41(23):112-116.
- [11] 童芳.花生酸奶的制备、营养成分及品质研究[D].重庆:西南大学,2020.
- [12] 吴小艳.复配稳定剂在芒果酸奶中的应用及酸奶抑菌作用的研究[D].湘潭:湘潭大学,2020.
- [13] 黄群,杨万根,余佶,等.超声波辅助碱法提取杜仲籽粕可溶性膳食纤维的工艺优化[J].食品科学,2013,34(22):70-74.
- [14] 陶文亮,邵明攀,李焱,等.越南巨竹叶不溶性膳食纤维制备研究[J].中国食品添加剂,2014,4:61-69.
- [15] 李施瑶,代玲敏,范宜杰,等.化学法提取红树莓果渣可溶性膳食纤维的工艺优化[J].食品工业科技,2019,40(19):180-186.
- [16] 任庆,孙波,于敬鑫,等.白菜渣可溶性膳食纤维酸法提取工艺优化及理化性质测定[J].食品科学,2015,36(10):70-75.
- [17] 温志英,杨丽钦.花生壳水溶性膳食纤维微波辅助提取工艺及其性质研究[J].中国粮油学报,2011,26(4):99-103.
- [18] 高山,王国泽,李昊虬,等.苜蓿麸皮不溶性膳食纤维酸法改性工艺的优化[J].食品研究与开发,2013,34(16):43-45.
- [19] Benitez V, Rebollo-Hernanz M, Hernanz S, et al. Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient: functional and physiological characterization [J]. Food Research International, 2019, 122: 105-113.
- [20] 李文佳.豆渣膳食纤维提取及其在面包中的应用[D].长沙:湖南农业大学,2008.
- [21] 丁莎莎.油橄榄果渣膳食纤维的制备、特性及改性研究[D].北京:中国林业科学研究院,2017.
- [22] Mohammad N, Hassan S, Mohamed F R. Fiber pectin from tomato pomace: characteristics, functional properties and application in low-fat beef burger [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2015, 9(3): 305-312.
- [23] Du X, Wang L, Huang X, et al. Effects of different extraction methods on structure and properties of soluble dietary fiber from defatted coconut flour [J]. LWT, 2021, 143: 111031.
- [24] 张钟,陈翠华.荔枝渣膳食纤维的提取纯化及物化性质的测定[J].农产品加工.学刊(中),2014,4:44-47.
- [25] Benincasa M, Lagatolla C, Dolzani L, et al. Biofilms from *Klebsiella pneumoniae*: matrix polysaccharide structure and interactions with antimicrobial peptides [J]. Microorganisms, 2016, 4(3): 26.
- [26] 赵梅.枣渣膳食纤维酶法改性工艺及相关性质研究[D].无锡:江南大学,2014.
- [27] 宋江良.高活性非水溶性茶叶膳食纤维提取及其功能性研究[D].福州:福建农林大学,2011.
- [28] 刘畅.沙棘粕水溶性膳食纤维的制备及应用[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.
- [29] Germani A, Luneia R, Nigro F, et al. The yogurt amino acid profile's variation during the shelf-life [J]. Annali di Igiene: Medicina Preventiva e di Comunita, 2014, 26(3): 205-212.
- [30] 包熠莹.储存温度和时间对酸奶 pH 值影响的研究[J].科技创新与应用,2017,5:79.