

文章编号: 1674-7054(2016)04-0489-08

番木瓜皮可溶性膳食纤维酸碱耦合法 提取工艺的优化

曾广琳, 张晶晶, 龚 烨, 张伟敏, 潘永贵, 陈文学, 白新鹏

(海南大学 食品学院 海口 570228)

摘 要: 采用单因素和正交试验对番木瓜可溶性膳食纤维(SDF)的酸碱耦合提取法进行了优化并初步评价其理化性质。结果表明: 酸法最优工艺为反应时间 90 min, pH1.0, 温度 80 °C, 料液比 1 : 25 (g : mL), 得率为 20.70%。酸法提取后的滤渣用碱法提取的最优工艺为 1.4% 质量分数的 NaOH, 温度 75 °C, 料液比为 1 : 20 (g : mL), 时间为 80 min, 得率为 9.17%。化学法提取番木瓜皮 SDF 的总得率为 29.87%。酸提法提取的可溶性膳食纤维的溶解度、持水力及阳离子交换能力均低于碱提法, 而持油力高于碱提法。2 种化学方法提取的番木瓜皮 SDF 各具应用价值, 对提高番木瓜深加工产品的附加值具有实际意义和应用价值。

关键词: 番木瓜皮; 可溶性膳食纤维; 提取; 理化特性

中图分类号: S 677.9 文献标志码: A DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2016.04.014

番木瓜(*Carica papaya* Linn.) 为番木瓜科番木瓜属植物的果实, 原产于地处热带和亚热带的美洲和非洲^[1-2]。‘Sekaki’ 番木瓜是海南的主栽品种, 果实呈圆柱形, 大而长, 单果可达 1.5~2.0 kg。目前, 番木瓜是世界上产量增幅最大的热带水果, 年增长率达 4%, 已成为第 4 大热带、亚热带畅销水果, 还被列为香蕉枯萎病产区的香蕉替代产业^[3]。据 FAO 统计, 全球番木瓜年产量超 1 000 万 t^[4]。2011 年海南番木瓜种植面积约为 4 960 hm², 产量到达 11.67 万 t, 且在逐年增长^[5]。作为番木瓜加工产品的副产物番木瓜皮约占番木瓜整果的 10%, 工厂往往将番木瓜皮作为垃圾扔掉。番木瓜皮中不仅含有大量膳食纤维, 还含有简单的糖类、矿物质和蛋白质, 具有高度的生物降解性^[6], 若得不到妥善处理, 极易发霉腐烂, 不仅造成巨大资源浪费, 更造成严重的环境污染^[7]。目前, 有关番木瓜皮的研究主要集中在果胶提取和作为饲料加工原料方面^[8-10], 而对其纤维素的提取及理化特性评价却鲜有报道, 特别是有关番木瓜皮中可溶性膳食纤维提取和理化性质的报道甚少。而可溶性膳食纤维因其能减少人体血液中的胆固醇、调节人体血糖水平从而降低心脏病的危险、改善糖尿病、预防结肠癌、清除自由基和控制体重等功能而受到人们的广泛关注^[11-14]。因此, 笔者对番木瓜可溶性膳食纤维(SDF)的 2 种化学提取法进行了优化并初步评价其理化性质, 旨在为提高番木瓜深加工产品的附加值提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器 番木瓜皮购于海南省海口市南北水果市场, 于热风干燥箱中烘干(60 °C), 粉碎机粉碎过 60 目筛收集备用。试剂: 分析纯级石油醚, 无水乙醇, HCl, NaOH, AgNO₃ 和食用级大豆油。仪器: PHS-3C 型 pH 计, BS124S 型电子天平, JKA/RV10 数显型旋转蒸发仪, LGJ-10D 型冷冻干燥机, XMTD-

收稿日期: 2016-05-11

基金项目: 国家级星火计划重点项目(2014GA800001); 海南省产学研一体化专项项目(cxy20150032)

作者简介: 曾广琳(1993-), 女, 海南大学食品学院 2015 级硕士研究生. E-mail: 1147839149@qq.com

通信作者: 张伟敏(1979-), 男, 副教授, 华中农业大学食品学院 2015 级博士研究生. 研究方向: 热带特色食物资源开发利用. E-mail: zhwm1979@163.com

8222 型恒温水浴锅, XFB-500 型电动粉碎机, 99-1 型磁力搅拌仪, SH2-D(III) 型水循环式真空泵, MULTI-FUGE X3R 台式高速冷冻离心机。

1.2 可溶性膳食纤维的酸法提取 取 5.000 g 干燥的番木瓜皮粉, 置于 30 mL 的预处理液($V_{\text{石油醚}} : V_{\text{乙醇}} = 1 : 1$) 中静置 2 h, 然后将溶剂蒸去。用 HCl 溶液在一定条件下水浴一定时间后取出, 得酸解液, 抽滤得滤液和滤饼, 滤饼待用。滤液经 4 倍体积乙醇静置沉淀 4 h 后, 在 $3\,500\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下离心 20 min, 将沉淀物进行冷冻干燥即制得可溶性膳食纤维 SDF^[15]。

1.3 可溶性膳食纤维的碱法提取 取 1.2 中的滤饼, 洗涤至中性, 用 NaOH 溶液在一定条件下水浴一定时间后取出, 得碱解液, 抽滤得滤液和滤饼, 滤饼弃用。滤液经 4 倍体积乙醇沉淀 4 h 后, 在 $3\,500\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下离心 20 min, 将沉淀物进行冷冻干燥即制得 SDF^[16]。SDF 得率按下式计算:

$$\text{SDF 得率}(\%) = \frac{\text{提取的 SDF 质量}}{\text{番木瓜皮粉末质量}} \times 100。$$

1.4 可溶性膳食纤维酸法提取的单因素实验 采用 1.2 的方法提取番木瓜皮可溶性膳食纤维, 固定反应条件为时间 60 min, pH1.0, 料液比 1 : 20(g : mL), 研究不同温度(70, 75, 80, 85, 90 $^{\circ}\text{C}$) 对 SDF 得率的影响; 固定反应条件为温度 80 $^{\circ}\text{C}$, 时间 60 min, 料液比 1 : 20(g : mL), 研究不同 pH(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5) 对 SDF 得率的影响; 固定反应条件为温度 80 $^{\circ}\text{C}$, pH1.0, 料液比 1 : 20(g : mL), 研究不同时间(50, 60, 70, 80, 90 min) 对 SDF 得率的影响; 固定反应条件为时间 60 min, pH1.0, 温度 80 $^{\circ}\text{C}$, 研究不同料液比(1 : 10, 1 : 15, 1 : 20, 1 : 25, 1 : 30) 对 SDF 得率的影响。

1.5 可溶性膳食纤维酸法提取的正交试验 在单因素实验的基础上, 选取温度、pH、时间和料液比等 4 个因素, 采用 $L_9(3^4)$ 进行正交试验, 各因素水平如表 3 所示。以得率为指标, 探索提取的最佳工艺条件。

表 1 可溶性膳食纤维酸法提取的正交试验表

Tab. 1 Factors and levels of orthogonal test of acid hydrolysis methanol extraction process of SDF

水平 Levels	因 素 Factors			
	A($T/^{\circ}\text{C}$)	B(pH)	C(t/min)	D(料液比) solid-to-liquid ratio
1	75	0.5	70	1 : 20
2	80	1.0	80	1 : 25
3	85	1.5	90	1 : 30

1.6 可溶性膳食纤维碱法提取的单因素实验 采用 1.3 的方法提取番木瓜皮可溶性膳食纤维, 固定反应条件为: 1% 质量分数的 NaOH, 料液比为 1 : 20(g : mL), 时间为 60 min, 研究不同温度(60, 65, 70, 75, 80 $^{\circ}\text{C}$) 对 SDF 得率的影响; 固定反应条件为: 温度 70 $^{\circ}\text{C}$, 料液比为 1 : 20(g : mL), 时间为 60 min, 研究不同氢氧化钠质量分数(0.6%, 0.8%, 1%, 1.2%, 1.4%) 对 SDF 得率的影响; 固定反应条件为: 1% 质量分数的 NaOH, 料液比为 1 : 20(g : mL), 温度 70 $^{\circ}\text{C}$, 研究不同时间(60, 70, 80, 90, 100 min) 对 SDF 得率的影响; 固定反应条件为: 1% 质量分数的 NaOH, 温度 70 $^{\circ}\text{C}$, 时间为 60 min, 研究不同料液比(1 : 10, 1 : 15, 1 : 20, 1 : 25, 1 : 30) 对 SDF 得率的影响。

1.7 可溶性膳食纤维碱法提取的正交试验 在单因素实验的基础上, 选取温度、NaOH 质量分数、时间和料液比等 4 个因素, 采用 $L_9(3^4)$ 进行正交试验, 各因素水平如表 4 所示。以得率为指标, 探索提取的最佳工艺条件。

1.8 溶解度的测定^[17] 准确称取 5 g 样品溶于 10 mL 去离子水中, 于室温 (25 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 下磁力搅拌 24 h, $3\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 15 min, 去除上清液, 干燥, 准确称得剩余固体质量。番木瓜皮可溶性膳食纤维溶解度按下式计算:

$$\text{溶解度} = (\text{原样品质量} - \text{剩余固体质量}) / \text{溶剂体积} \times 100。$$

表2 可溶性膳食纤维碱法提取的正交试验表

Tab.2 Factors and levels of orthogonal test of alkali hydrolysis method extration process of SDF

水平 Levels	因 素 Factors			
	A(T/℃)	B(NaOH/%)	C(t/min)	D(料液比) Solid-to-liquid ratio
1	70	1.0	70	1:10
2	75	1.2	80	1:15
3	80	1.4	90	1:20

1.9 持水力的测定^[18-19] 准确称取 500 mg 样品浸泡于 30 mL 的蒸馏水中,于室温下磁力搅拌过夜, 3 000 r · min⁻¹ 离心 15 min, 去除上清液, 用滤纸吸去残留水分, 称重。持水力按下式计算:

$$\text{持水力} = \frac{\text{样品湿质量} - \text{样品干质量}}{\text{样品干质量}}$$

1.10 持油力的测定^[20] 准确称取 500 mg 样品浸泡于 10 mL 的大豆油中,于室温下磁力搅拌 24 h, 10 000 r · min⁻¹ 离心 30 min, 去除上清液, 称重该残留物, 换算成每克干物质的持油力。持油力按下式计算:

$$\text{持油力} = \frac{\text{样品湿质量} - \text{样品干质量}}{\text{样品干质量}}$$

1.11 阳离子交换能力的测定^[21-22] 干样品浸入 100 mL 0.1 mol · L⁻¹ 的盐酸溶液中,于 4 ℃ 的冰箱中静置 48 h 后, 用去离子水洗涤去除过量的酸, 再用硝酸银溶液滴定至无沉淀生成为止, 离心留沉淀, 干燥。称取 1.000 g 样品, 将其分散于 100 mL 质量分数为 5 % 的 NaCl 溶液中, 以酚酞作为指示剂, 并在搅拌状态下用浓度为 0.01 mol · L⁻¹ NaOH 缓慢滴定, 振摇 5 min 后仍不褪色为滴定终点, 记录消耗的氢氧化钠的体积 V , 计算其阳离子交换能力:

$$\text{阳离子交换量} = \frac{C \times V \times 1\,000}{m}$$

式中: C 为 NaOH 浓度, mol · L⁻¹; V 为消耗 NaOH 的体积, mL; m 为样品质量, g; 阳离子交换量的单位为 mmol · g⁻¹。

1.12 统计学分析 每组试验均重复 3 次, 实验数据表示为平均值 ± 标准偏差。数据分析采用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件进行统计分析, 显著水平 $P < 0.05$ 。采用 GraphPad prism 5.0 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同因素对 SDF 提取率的影响 由图 1(A) 可知, 可溶性膳食纤维的得率随温度先增大后减小, 在约 80 ℃ 时达到峰值, 得率为 18.0%。由于温度的升高, 酸溶液中分子的运动加快, 细胞破坏完全, 使得 SDF 充分浸出。继续升高温度会使得率有所下降, 可能是继续升高温度使大分子的纤维素或半纤维素水解, 无法再被乙醇析出^[8]。因此, 选择提取温度为 80 ℃。由图 1(B) 可知, 番木瓜皮 SDF 的得率是随着 pH 值的升高呈现先升高后降低的趋势, pH 为 0.5 至 1.0 之间呈上升趋势, 逐渐增加 pH, 得率逐渐降低且趋于平缓, 其中 pH 值为 1 时, 得率最高为 17.1%。升高阶段, 主导原因是 pH 值的升高使番木瓜皮细胞破碎充分; 次要原因是一部分 IDF 转化为 SDF, 使得率增加。而得率下降可能是随着 pH 值的升高, 酸溶液破坏细胞壁结构能力下降, 使 SDF 溶出率下降; 也可能是 pH 高于 1.5 时 SDF 逐渐水解, 降低了乙醇的沉淀效率。故选取 pH 值为 1。由图 1(C) 可知, 时间对提取可溶性膳食纤维结果得率逐渐增大, 在 80 min 时得率最高, 在时间为 90 min 时得率有所下降, 总体上下降不显著。其原因可能是随着提取时间增大, 溶剂同物料更好的接触, 其酸解效应更好, 得率更高; 时间过长, 酸解反应处于平衡状态, 得率趋于稳定。因此, 酸法提取时间 80 min 较好。由图 1(D) 可知, 液料比 < 1 : 20 时, SDF 得率快速增长, 液料比 > 1 : 20 时, 增长趋势缓慢, 在 1 : 25 时, 得率达到峰值后下降。液料比主要影响固相与液相之间的浓度差, 从而影响 SDF 的提取。因此, 在料液比为 1 : 25 时, 固液浓度差为临界点, 能最大的溶出可溶性膳食纤维^[23]。同时料液比过高, 提取液浓度降低, 需更多更长的浓缩时间, 增加能耗^[24]。选取提取料液比为 1 : 25。

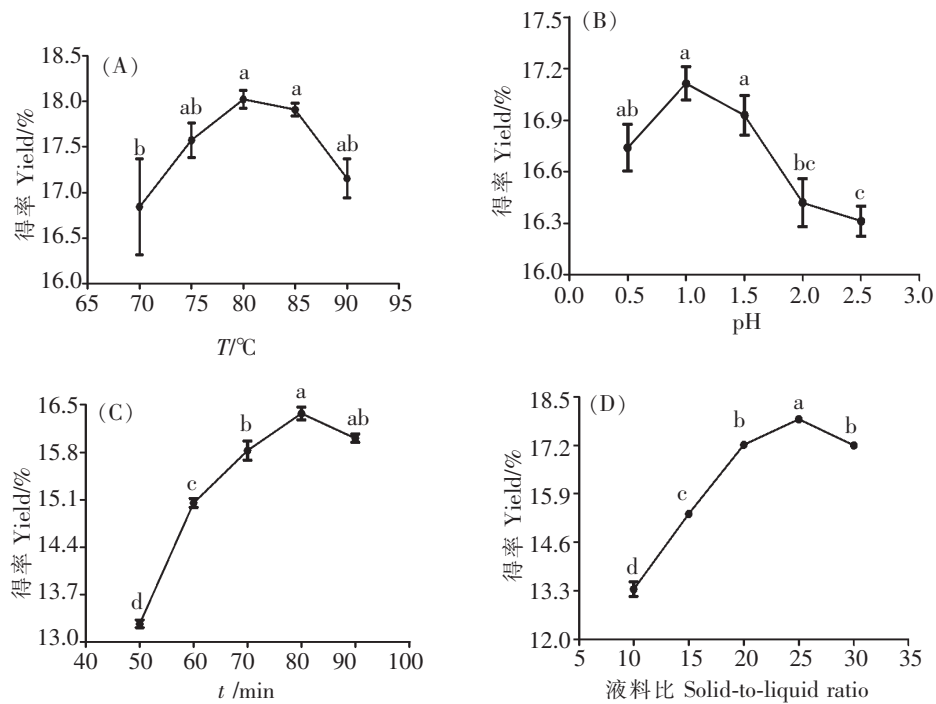


图 1 不同单因素对 SDF 提取得率的影响

Fig. 1 Effect of different extraction variables on the extraction yield of SDF

2.2 SDF 酸法提取工艺确定 从表 3 可知 ,各因素的最优水平组合是 A₂B₂C₃D₂ ,即酸法提取 SDF 的最佳提取条件为: 温度 80 ℃、pH1、时间 90 min、料液比 1 : 25。从极差 R 值可以看出 ,影响 SDF 得率的重要性次序为 C(时间) > B(pH) > A(温度) > D(料液比) 。由此可以看出 ,浸提时间是决定酸提 SDF 效果的关键因素 ,经正交试验得到的最佳工艺为: 反应时间 90 min、pH1、温度 80 ℃、料液比 1 : 25 ,验证试验得酸解 SDF 的得率为 20.7% 。

表 3 可溶性膳食纤维酸法提取的正交试验结果

Tab. 3 Result of orthogonal test on acid conditions of acid hydrolysis method extraction process of SDF

序号/No.	因 素 Factors				SDF 得率/% Yield
	A(T/℃)	B(Ph)	C(t/min)	D(料液比) Solid-to-liquid ratio	
1	1	1	1	1	16.53
2	1	2	2	2	18.21
3	1	3	3	3	17.55
4	2	1	2	3	17.07
5	2	2	3	1	19.24
6	2	3	1	2	16.57
7	3	1	3	2	17.73
8	3	2	1	3	16.51
9	3	3	2	1	16.43
K1	52.29	51.33	49.61	52.20	
K2	52.88	53.96	51.71	52.51	
K3	50.67	50.55	54.52	51.13	
k1	17.43	17.11	16.54	17.40	
k2	17.63	17.98	17.24	17.51	
k3	16.89	16.85	18.17	17.04	
R	0.737	1.137	1.636	0.228	

2.3 不同因素对 SDF 碱法提取得率的影响 从图 3(A) 可知, 随着温度的上升, SDF 得率逐渐升高, 在 75 ℃ 时, 得率最高, 为 6.89%, 继续提高水浴温度, 得率则有所下降。主要原因是高温会使部分纤维素或半纤维素水解, 比如处理温度过高, 会引起果胶结构破坏, 成为半乳糖醛酸损失掉, 从而使产率下降, 同时增加能耗^[25]。因此, 选取 75 ℃ 作为碱法提取温度。

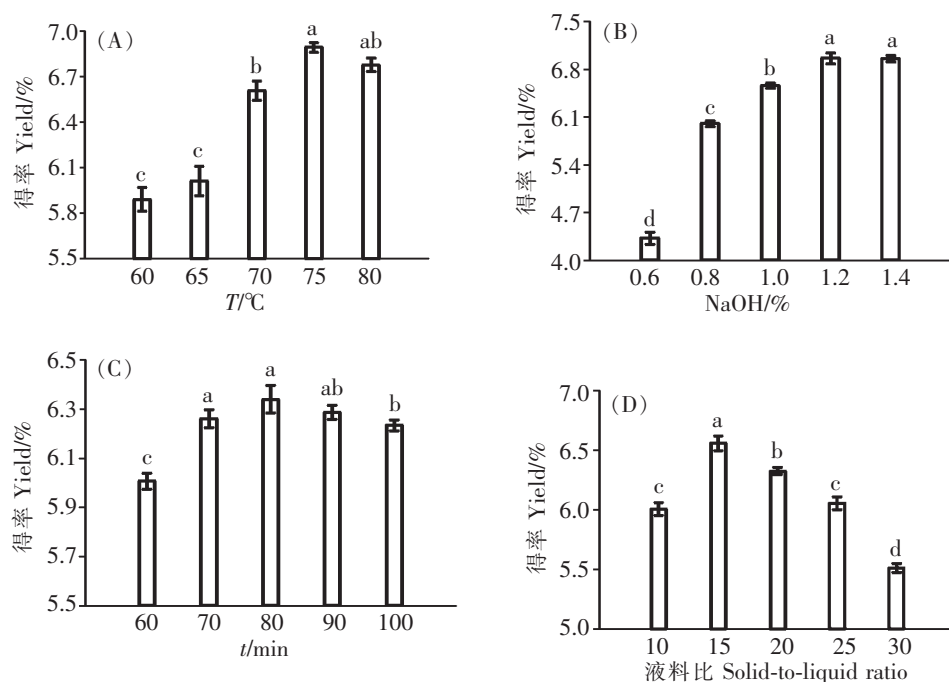


图2 不同单因素对 SDF 提取得率的影响

Fig. 2 Effect of different extraction variables on the extraction yield of SDF

从图 2(B) 可知, 总体上随着 NaOH 质量分数的增加, SDF 得率不断提高, 在 0.6% ~ 0.8% 时, 增长速率较快, 0.8% ~ 1.2% 时, 增长稳定, 当浓度大于 1.2% 时, 得率稳定在 7% 左右。主要原因是在 NaOH 质量分数为 0.6% 时, 溶剂浓度尚未能完全溶出 SDF, 因此, SDF 得率低; 在 NaOH 质量分数为 0.6% ~ 1.2% 范围内, 溶剂浓度的增加使溶出率增加, 因此得率增长明显; 在 NaOH 质量分数大于 1.2% 时, SDF 的溶出反应处于平衡状态, 得率稳定。因此, 选取 NaOH 质量分数为 1.2% 作为碱法提取条件。

从图 2(C) 可知, 随着时间的增长, 番木瓜皮 SDF 的得率先升高后降低, 在 80 min 得率最高, 为 6.34%。在 60 min ~ 80 min, 趋势升高的主要原因是随着碱提时间的增加, SDF 溶出率大于 SDF 水解, 因此得率不断升高; 在 80 min 时, SDF 的溶出与水解达到平衡状态, 因此, 得率最高; 在 80 min ~ 100 min 时, 趋势下降, 原因是随着碱提时间的增加, SDF 水解速率大于 SDF 溶出速率, 因此得率下降, 故选取得率较高的 80 min 作为碱法提取时间。

从图 2(D) 可知, 料液比的增加引起番木瓜皮 SDF 得率先升高后下降, 下降趋势明显。液料比为 1 : 10 时, 碱没有足够空间破坏细胞, 故溶出率较低; 液料比为 1 : 15 时, 得率最高为 6.56%; 在料液比高于 1 : 15 时, 得率逐渐下降, 主要原因影响固相与液相之间的浓度差, 从而使 SDF 不容易被析出; 也可能一部分 SDF 发生水解。选取的碱法提取的料液比为 1 : 15。

2.4 SDF 碱法提取工艺的确定 从表 4 可知, 各因素的最优水平组合是 $A_2B_3C_2D_3$, 即碱提 SDF 的最佳提取条件: 温度 75 ℃, NaOH 质量分数为 1.4%, 时间为 80 min, 料液比为 1 : 20。从极差 R 值可以看出, 影响 SDF 得率的重要性次序为 B (NaOH 质量分数) $> A$ (温度) $> D$ (料液比) $> C$ (时间)。由此可以看出, NaOH 质量分数是决定碱提 SDF 效果的关键因素, 经正交试验得到的最佳工艺为: NaOH 质量分数 1.4%, 温度 75 ℃, 料液比 1 : 20, 时间 80 min, 验证试验得碱法提取 SDF 的得率为 9.17%。

表4 可溶性膳食纤维碱法提取的正交试验结果

Tab.4 Results of orthogonal test on alkali conditions of alkali hydrolysis method extraction process of SDF

序号/No.	因 素 Factors				SDF 得率/% Yield
	A($T/^{\circ}\text{C}$)	B ($\text{NaOH}/\%$)	C(t/min)	D(料液比) Solid-to-liquid ratio	
1	1	1	1	1	6.01
2	1	2	2	2	7.62
3	1	3	3	3	7.90
4	2	1	2	3	7.28
5	2	2	3	1	8.11
6	2	3	1	2	8.83
7	3	1	3	2	6.46
8	3	2	1	3	8.14
9	3	3	2	1	8.27
K1	21.53	19.75	22.98	22.39	
K2	24.22	23.87	23.17	22.91	
K3	22.87	25.00	22.47	23.32	
k1	7.18	6.58	7.66	7.46	
k2	8.07	7.96	7.72	7.64	
k3	7.62	8.33	7.49	7.77	
R	0.89	1.75	0.23	0.31	

2.5 SDF 理化性质比较 从表5可知,碱法提取SDF溶解度为 $379\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,是酸法提取SDF的2.43倍;碱提SDF持水力为 $9.45\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,是酸法提取SDF的2.17倍;碱法提取SDF的阳离子交换能力与酸法差别不大,分别为 0.29 和 $0.22\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在持油力方面,酸法提取SDF为 $2.62\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,是碱法提取SDF的1.3倍。由于较高溶解度的水溶性纤维更易被肠道内的细菌所发酵^[26],结肠内的一些有益菌将膳食纤维降解产生短链脂肪酸,尤其是产生丁酸,调节肠道pH值,有效抑制了腐生菌的生长^[27];较高的持水性可增加人体排便的体积和速度,减轻直肠内的压力和泌尿系统的压力^[28];持油力和较强的阳离子交换能力减少胆固醇类脂质的扩散、吸收和利用,有效预防控制心脑血管疾病^[29],可见,酸碱结合提取SDF的物理性质不同,其生理作用上各具价值,一定程度上丰富了番木瓜皮SDF的实际应用。

表5 SDF 提取的理化性质测定结果

Tab.5 Physicochemical properties of soluble dietary fiber

	溶解度/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Solubility	持水力/($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) Water-holding power	持油力/($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) Oil-holding power	阳离子交换能力/ ($\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$) Cation exchange capacity
酸法提取 SDF Acid extraction	156 ± 6.2	4.36 ± 0.18	2.62 ± 0.02	0.22 ± 0.01
碱法提取 SDF Alkali extraction	379 ± 13.6	9.45 ± 0.28	2.02 ± 0.06	0.29 ± 0.02

3 结 论

笔者采用酸碱耦合法对番木瓜皮可溶性膳食纤维的工艺提取工艺进行了探究并且对酸法和碱法取得到的SDF理化性质进行了比较分析,结果表明,酸法制备的SDF的持油力高于碱法提取的SDF;而碱法制备的SDF的溶解度、持水力、阳离子交换能力均高于酸法提取的SDF,酸法、碱法提取番木瓜皮的SDF各具应用价值。目前,超声波辅助、微波辅助和离子液体法分别在火龙果皮、苹果渣和咖啡果皮中得

以应用^[30-32] 并取得了不错的效果,而有关它们在番木瓜皮可溶性膳食纤维提取和理化性质影响的研究未见报道,因此,今后还可以进一步加强这些新型提取方法在番木瓜皮可溶性膳食纤维提取上的应用。

参考文献:

- [1] Samaram S, Mirhosseini H, Tan C P, et al. Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seedoil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability [J]. *Industrial Crops and Products*, 2014(52): 702-708.
- [2] Yon R M. *Papaya: Fruit Development, Postharvest Physiology, Handling and Marketing in Asean* [M]. Kuala Lumpur: Asean Food Handling Bureau, 1994.
- [3] 杨培生, 钟思现, 杜中军, 等. 我国番木瓜产业发展现状和主要问题 [J]. *中国热带林业*, 2007(4): 8-9.
- [4] Malacrida C R, Kimura M, Jorge N. Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds [J]. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 2011, 31(31): 929-934.
- [5] 刘学文, 王圣俊. 海南番木瓜产业发展的优势及政策建议—兼谈世界番木瓜产业 [J]. *农业现代化研究*, 2013, 34(4): 451-455.
- [6] 唐传核. *植物功能性食品* [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [7] 乐胜峰. 苹果渣膳食纤维的制备及其性能表征 [D]. 北京: 北京工商大学, 2010.
- [8] 杨明, 刘晓辉, 何培仪. 微波法提取番木瓜皮果胶工艺研究 [J]. *农产品加工(学刊)*, 2012(8): 73-75.
- [9] 杨连珍. 干制番木瓜皮可作为仔鸡日食添加剂 [J]. *世界热带农业信息*, 2005(10): 25.
- [10] 顾焰波, 刘显明, 糕倩, 等. 离子交换法提取木瓜皮果胶工艺研究 [J]. *食品工业*, 2013(12): 19-21.
- [11] 宋国彬, 张弘, 郑华, 等. 玛咖可溶性膳食纤维的制备及其表征 [J]. *食品科学*, 2013(24): 11-18.
- [12] 李雪影, 徐辉, 张晶, 等. 紫萁干可溶性膳食纤维提取工艺优化 [J]. *食品科学技术学报*, 2016(2): 68-75.
- [13] Zacherl C, Eisner P, Engel K H. In vitro model to correlate viscosity and bile acid-binding capacity of digested water-soluble and insoluble dietary fibres [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(2): 423-428.
- [14] Park K H, Lee K Y, Lee H G. Chemical composition and physicochemical properties of barley dietary fiber by chemical modification [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 60(9): 360-365.
- [15] 谢碧霞, 李安平. *膳食纤维* [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [16] 乐胜峰. 苹果渣膳食纤维的制备及其性能表征 [D]. 北京: 北京工商大学, 2010.
- [17] Li W, Steve W, Cui a, et al. Yukio Kakuda b Extraction, Fractionation, Structural and Physical Characterization Of wheat β -D-glucans [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2006, 63: 408-416.
- [18] 王遂, 刘芳. 高活性玉米膳食纤维的制备、性质与应用 [J]. *食品科学*, 2000, 21(7): 22-24.
- [19] 林海萍, 赵洁, 毛胜凤. 3种竹笋膳食纤维制备工艺的比较 [J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(5): 119-121.
- [20] 李安平, 谢碧霞, 王俊, 等. 竹笋膳食纤维的制备及其功能结构比较 [J]. *中国食品学报*, 2010, 10(1): 86-92.
- [21] 高荫榆, 晁红娟, 丁红秀, 等. 毛竹叶特种膳食纤维制备及特性的研究 [J]. *食品科学*, 2007, 28(12): 200-204.
- [22] 陶颜娟, 钱海峰, 周惠明. 酶法制备小麦麸皮膳食纤维及其功能性质的研究 [J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(10): 40-45.
- [23] 郭孝武, 张福成, 林书玉. 超声提取对黄连素提出率的影响 [J]. *中国现代应用药学杂志*, 1995, 20(11): 673-675.
- [24] 朱海兰. 玉米种皮膳食纤维的提取及改性研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2010.
- [25] 魏丹. 荸荠果皮膳食纤维提取工艺的研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [26] 林德荣. 可溶性膳食纤维提取、理化性质及生理功能的研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [27] 韩冬. 膳食纤维与肠道健康 [J]. *中国微生态学杂志*, 2013, 25(10): 1225-1228.
- [28] 陈尔真, 曹伟新, 燕敏, 等. 丁酸对人结肠癌细胞株 SW1116 增殖及分化状态的影响 [J]. *外科理论与实践*, 2003(3): 11-22.
- [29] Eiji Y., Kazumi M., Osamu K. Easy Preparation of Dietary Fiber with the High Water-Holding Capacity from Food Sources [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2005, 60: 17-23.
- [30] 刘倩倩. 超声波辅助提取火龙果皮中水溶性膳食纤维工艺研究 [J]. *食品工业科技*, 2015(18): 257-260, 266.
- [31] 刘素稳, 郭朔, 刘畅, 等. 微波辅助提取苹果渣可溶性膳食纤维 [J]. *中国食品学报*, 2010(5): 152-159.
- [32] 胡荣锁, 周晶, 董文江, 等. 响应面法优化咖啡果皮可溶性膳食纤维提取工艺和功能特性研究 [J]. *热带农业科学*, 2015(9): 66-72.

Optimization of Extraction Process of Soluble Dietary Fiber from Papaya (*Carica papaya* Linn.) Peel from Hainan/Sekaki Variety and Evaluation of Physicochemical Properties

ZENG Guang Lin ZHANG Jingjing ,GONG Ye ,ZHANG Weimin ,PAN Yonggui ,CHEN Wenxue ,BAI Xinpeng
(Food College of Hainan University Haikou , Hainan 570228)

Abstract: The single factor experiments and orthogonal experiment was employed to optimize two kind of chemical extraction process of soluble dietary fiber from papaya peel and its physicochemical properties was primarily compared to obtain the functional fraction. The optimum extraction method were as follows: the optimal process of acid hydrolysis method is extraction time 90 min , pH1.0 ,extraction temperature 80 °C ,the ratio of water to raw material 1 : 25(g : mL) ,the extraction yield was 20.70% ,while the optimum process of alkali hydrolysis method is NaOH concentration 1.4% ,extraction temperature 75 °C ,the ratio of water to raw material 1 : 20 (g : mL) , extraction time 90 min , the extraction yield was 9.17% . The extraction yield through acid-alkali is 29.87% . The results of physicochemical property experiments showed that the solubility in water , water holding capacity and cation exchange capacity of the soluble dietary fiber extracted by the acid hydrolysis method were lower than that extracted by the alkali hydrolysis method. While the oil holding capacity was higher. In conclusion , the soluble dietary fiber extracted from papaya peel by the two hydrolysis method both showed their different practical application values , which makes sense to the further processing and practical application of papaya.

Keywords: Papaya peel; soluble dietary fiber; physico-chemical properties

(上接第 465)

Difference of the Nitrogen Contents among the Stylosanthes (*Stylosanthes guianensis* SW)

HUAN Hengfu¹ , WEN Xi^{1,2} , LIU Guodao , HUANG Dongfen , BAI Changjun¹ , YU Daogeng¹

(1. Tropical Crops Genetic Resources Institute , Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences /Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China , Ministry of Agriculture , P. R. China & Key Laboratory of Conservation and Utilization of Cassava Genetic Resources , Ministry of Agriculture , P. R. China , Danzhou , Hainan 571737 , China;

2. College of Agronomy , Hainan University , Danzhou , Hainan 571737 , China)

Abstract: *Stylosanthes* (*Stylosanthes guianensis* SW) is a leguminous crop used as green manure and forage in the tropics. Nitrogen content is one of the important index affecting the green manure quality for the leguminous green manure. The nitrogen contents of 134 accessions of *Stylosanthes* green manure germplasm were analyzed and evaluated. The result indicated that 35 accessions of the germplasm contained more than 2% of nitrogen , accounting for 26.1% of the total accessions of the germplasm; 98 germplasm accessions contained 1.5% -2.0% of nitrogen , 73.1% of the total germplasm accessions. All these accessions were grouped into class II. Only one germplasm accession contained nitrogen below 1.5% and were grouped into class III.

Keywords: *Stylosanthes*; green manure; nitrogen content

海南大学食品学院专家简介 | Brief |



申铨日（1968-），男，水产科学博士，归国留学人员，海南省第二层次515人才工程，2000年赴日留学，2003年获日本北海道大学大学院农学硕士学位，2006年获日本北海道大学水产科学研究院水产生命科学博士学位，经日本株式会社Nissei Bio北海道研究所研究员和日本学术振兴会(JSPS)外国人特别研究员，2008年7月以高层次人才引进到海南大学食品学院，现任海南大学食品学院教授，副院长，并兼任中国免疫学会海南省分会理事。研究方向与成果：近几年以罗非鱼加工废弃物的综合利用和海洋生物资源的开发利用为研究方向，开展了罗非鱼加工技术研发与产业化示范研究工作。申请了水产加工方面的发明专利6项，其中部分技术已转化为生产力应用在海南省罗非鱼的加工生产过程当中。另外，围绕海马、马鲛鱼、珍珠贝等南海水产资源为研究对象，开展多学科交叉研究，分别从上述原料中分离、纯化脑苷脂、抗氧化肽、ACE抑制肽等活性成分，解明了脑苷脂的抗炎、抗肿瘤、马鲛鱼鱼肉蛋白肽的抑制高血压、珍珠贝外套膜胶原蛋白肽的预防骨质疏松症等作用机制，为上述南海水产资源的高附加值化利用奠定了理论基础。近年来，在海洋鱼类活性成分的提取及评价，水产品的高附加值化利用等方面发表了30余篇论文，其中SCI期刊收录7篇，EI收录5篇。近几年主持国家十二五科技支撑计划子课题、国家自然科学基金和省部级项目等多项课题。



白新鹏博士（1963-），男，教授、博士研究生导师，河南南阳市人，毕业于江南大学食品学院粮食、油脂与蛋白质工程专业，工学博士。现为海南大学食品学院“海南热带特色食物资源开发团队”负责人，生物活性物质与功能食品重点实验室主任，并兼职海南省食品质量安全评审专家，海南省515工程建设专家，中国农业工程学会农产品加工与贮藏分会理事。主要研究方向：1.热带特色食物资源加工技术及理论；2.木本油料与蛋白质高值综合利用；3.天然活性物质与功能食品；4.食品化学与营养。近年来主要负责或主持的专业技术项目及转化项目20多项。主持省部级课题多项，其中863计划1项，国家自然科学基金1项，省重点项目1项，海南省自然科学基金2项，地方企业服务项目多项，科研经费300多万元，发表论文40多篇，其它SCI等三大索引收录10多篇，省级科技成果2项（国内领先），授权专利成果13项，获奖成果4项，教材与专著7部。白新鹏博士所带领的团队，经过多年对海南特色椰子产品加工研究，形成了多项专利，制备了椰子油系列产品：酶法制备纯天然椰子油、低温度压榨椰子油、结晶分提椰子油、椰乳面膜、椰乳卸妆油、椰乳芦荟消炎介质凝胶、椰乳唇膏、椰乳胶囊、美容美体胶囊等。高端旅游产品-液态富维椰子油，主要特征：低温保持液态，中碳链脂肪酸含量高达90%以上，且富含维生素VE、VA。具有抗菌、消炎、减肥功效，是防治各种流感以及治疗各种炎症的天然保健品，被誉为“瓶子里的药店”，“天然抗生素”。深受国外游客喜爱，已经在国家高新区海口植之素生物资源研究所有限公司进行批量生产，年产值可达1000万元。

