

番茄皮渣膳食纤维的理化性质及其结构表征

王庆玲, 朱莉, 孟春棉, 卢士玲

(新疆石河子大学食品学院, 新疆石河子 832003)

摘要: 番茄皮渣是番茄制品加工业的副产物, 其中富含对人体有益的膳食纤维, 但是目前对番茄皮渣的综合利用程度不高。本研究通过考察番茄皮渣膳食纤维的持水力、膨胀力、持油力、葡萄糖吸附值、葡萄糖延迟指数等指标评价其理化性质, 并借助红外光谱、扫描电镜、气质联用等技术设备分别对其官能团结构、微观结构及单糖组成进行表征。实验结果表明: 番茄皮渣膳食纤维的持水力、膨胀力、持油力和葡萄糖吸附值分别为 9.33 g/g、9.29 mL/g、9.84 g/g 和 19.206 mmol/g, 在透析 30 min 时 GRI 达到最高 36.78 mmol/g。可溶性膳食纤维的结构分析表明其具有明显的糖酯特征吸收峰; 组成该可溶性膳食纤维的单糖主要是半乳糖, 其次是阿拉伯糖和木糖; 超微结构分析表明番茄皮渣 SDF 为不规则片状结构, 且具有蜂窝状孔洞。番茄皮渣膳食纤维是一种高品质功能性食品原料或辅料。

关键词: 番茄皮渣; 膳食纤维; 理化性质; 结构

文章编号: 1673-9078(2014)11-60-64

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.11.012

Study on the Physiochemical Properties and Structural Characteristics of the Dietary Fiber in Tomato Pomace

WANG Qing-ling, ZHU Li, MENG Chun-mian, LU Shi-ling

(Food College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Tomato pomace is a byproduct in the tomato processing industry, and is rich in dietary fiber (DF) which is beneficial to humans. However, the degree of comprehensive utilization of tomato pomace is very low. The objective of this study was to evaluate the physiochemical properties of the DF in tomato pomace by measuring the water holding capacity (WHC), swelling capacity (SC), oil holding capacity (OHC), and glucose adsorption capacity (GAC). In addition, the structures of functional groups, microstructure, and monosaccharide composition were characterized by infrared spectroscopy (IR), scanning electron microscopy (SEM), and GC-MS, respectively. The WHC, SC, OHC, and GAC of the DF in tomato pomace were 9.33 g/g, 9.29 mL/g, 9.84 g/g, and 19.206 mmol/g, respectively. The glucose retardation index (GRI) reached 36.78 mmol/g after 30 min of dialysis. The analysis of the structure of soluble DF (SDF) in tomato pomace showed the characteristic absorption peak of glycolipids. The major monosaccharide in SDF was galactose, followed by arabinose and xylose. According to SEM results, SDF had an irregular sheet-like structure, with honeycomb-like holes. The DF in tomato pomace is a kind of raw or auxiliary material for high-quality functional foods.

Key words: tomato pomace; dietary fiber; physiochemical property; structure

膳食纤维被定义为植物可食部分的残渣, 它在人体小肠内不能被消化吸收而在大肠内能够部分发酵^[1]。膳食纤维主要包括多糖、低聚糖、木质素以及其它对人体有益的植物组织^[2]。根据其溶解性, 膳食纤维分为不溶性膳食纤维 (IDF) 及可溶性膳食纤维 (SDF)。已有研究表明: 膳食纤维中不溶性成分主要作用于肠道并产生机械蠕动效果, 而可溶性成分则更多地发挥代谢功能, 如影响碳水化合物和脂类的代谢。

收稿日期: 2014-04-24

基金项目: 石河子大学优秀青年科技人才培养计划 (2012ZRKYQ15)

作者简介: 王庆玲(1981-), 女, 在读博士, 讲师, 研究方向: 食品质量安全

通讯作者: 卢士玲(1976-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工

美国医学研究院建议成人每日的膳食纤维摄入量应为 25~38 g, 但是目前世界人均每日的摄入水平只有 15 g^[3]。大量研究证明膳食纤维能够预防冠心病 (CVD) 和肠道疾病^[4]。除了对健康有益, 膳食纤维的胶体性质对食品品质也会产生有利作用。在食品生产中, 通常以纤维素粉末作为一种膳食纤维的来源。

新疆是中国主要番茄种植加工基地, 全疆年生产番茄酱产品约 160 万 t, 按照通常的产出比 (每吨番茄约产生 40 kg 番茄皮渣), 消耗新鲜番茄约 1000 万 t, 同时产生番茄皮渣 40 万 t (干重)。数量巨大的皮渣废弃物处理问题一直困扰着番茄加工企业, 在一定程度上也影响了番茄产业的持续健康发展, 对产地环境造成巨大的压力^[5]。目前番茄皮渣综合利用水平较低,

主要用作动物饲料,少量用于番茄红素的提取。番茄皮渣是膳食纤维的可靠来源,研究显示番茄果皮中的膳食纤维含量高达69.79%,若能合理有效以番茄皮渣为原料生产膳食纤维,不仅能够提高番茄精深加工程度,增加其附加值,同时也可解决了废弃皮渣造成的环境污染问题。

本研究利用前期确立的实验条件进行番茄皮渣膳食纤维的制备,通过持水力、膨胀力、吸油力、葡萄糖吸附值(GAC)及葡萄糖阻滞能力(GRI)等指标表征膳食纤维的基本功能性质,借助红外光谱(IR)、扫描电镜(SEM)、气质联用(GC-MS)等仪器及技术表征其基本结构,本研究的成果将为开发利用番茄皮渣膳食纤维提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原料:番茄皮渣,由新疆屯河番茄制品有限公司提供;GC-MS,5975-7890,Agilent;红外光谱,Nexus 470,美国梅特勒;扫描电镜,JSM-6390LV,日本NTC;离心机,3~30 K, SIGMA;吡啶、无水醋酸酐、三氟乙酸、盐酸羟胺、无水乙醇等均为分析纯。

1.2 实验方法

1.2.1 番茄皮渣膳食纤维(DF)的制备

总膳食纤维(TDF)的制备参考农业部NY/T 1594-2008方法^[6]。干燥番茄皮渣,粉碎过100目筛,加入5倍体积78%乙醇浸提30 min,离心分离,沉淀再用78%乙醇浸提2次。继续用丙酮洗涤沉淀,挥发有机溶剂后在烘箱中低温(50℃)干燥,过100目筛即得TDF。准确称取2 g TDF,加入100 mL温水(60℃),磁力搅拌1 h,离心,重复1次,沉淀在烘箱中烘干即得IDF,上清液浓缩,加入4倍体积95%乙醇沉淀1 h,离心后沉淀分别用78%乙醇、95%乙醇、丙酮冲洗,烘干后即得SDF。

1.2.2 膳食纤维持水力的测定

准确称取TDF样品1 g于50 mL离心管中,加入25 mL蒸馏水,室温下搅打30 min,5000 g离心10 min,弃去上清液并用滤纸吸干离心管残留水分,称重后计算持水力:

$$\text{持水力}(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_0 - m_1}{m_1}$$

注: m_2 -样品湿重/g; m_1 -样品干重/g; m_0 -离心管重/g。

1.2.3 膳食纤维持油力的测定

准确称取0.5 g TDF样品于50 mL离心管中,加

入植物油10 mL,震荡摇匀,室温下放置1 h,5000 g离心20 min,小心除去上清液,称重后计算持油力:

$$\text{持油力}(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_0 - m_1}{m_1}$$

注: m_2 -样品吸油后重量/g; m_1 -样品干重/g; m_0 -离心管重/g。

1.2.4 膳食纤维膨胀力的测定

称取1 g TDF样品于10 mL量筒中,读取干基样品的体积,加蒸馏水(室温)至25 mL处,用玻璃棒将番茄皮渣膳食纤维搅匀,使其充分吸收水分,静置过夜,次日观察并读取饱胀的膳食纤维体积,计算膨胀力及膨胀率:

$$\text{膨胀力}/\% = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\%$$

注: V_1 -吸水前样品体积/g; V_2 -吸水后样品体积/g; m_1 -样品重量/g。

1.2.5 葡萄糖吸附值(GAC)的测定^[7]

0.5 g TDF样品与50 mL 200 mmol/L的葡萄糖溶液混合均匀,于37℃恒温培养6 h。当吸附达到平衡后,样品于4000 g离心20 min。540 nm下测定上清液的吸光值,计算GAC值:

$$\text{GAC}(\text{mmol/L}) = (C_i - C_s) / W_s \times V_i$$

注: C_i -原葡萄糖溶液浓度(mmol/L); C_s -吸附平衡后葡萄糖溶液浓度(mmol/L); W_s -膳食纤维样品的质量/g; V_i -葡萄糖溶液体积/L。

1.2.6 葡萄糖延迟指数(GRI)测定^[7]

GRI是用来预测纤维在肠道中延迟吸收葡萄糖的效果。0.5 g TDF样品加入葡萄糖溶液25 mL(50 mmol/L),将混合物加入到截留分子量为12000的透析袋中。每个透析袋用100 mL的蒸馏水在37℃120 r/min的摇床中不断搅拌。每隔30、60、120 min用分光光度计测定从纤维和对照样品扩散出的1 mL葡萄糖。空白对照组也用相同的方式测定,但不加膳食纤维。

$\text{GRI} = 100 - \{(\text{从纤维中扩散出的总的葡萄糖} / \text{从对照样品中扩散出的葡萄糖})\}$

1.3 番茄皮渣SDF结构表征

1.3.1 番茄皮渣SDF的红外光谱分析

称取试样样品2 mg于120℃干燥2 h,与KBr混合后研细压片,在400~4000 cm^{-1} 区间进行红外光谱扫描分析。

1.3.2 SDF超微结构观察

样品固定于样品台,采用溅射镀膜法对固定后的样品进行表面镀金,置于扫描电镜下观察。

1.3.3 SDF 单糖组成的分析

前处理方法参考黄鹏等^[7]方法略作改进。称取 50 mg 干燥后的 SDF 于试管中, 加入 2 mol/L 三氟乙酸 (2 mL) 封管, 置于 110 °C 烘箱中水解 2 h, 冷却至室温, 滤去残渣, 用少量水冲洗残渣 2 次, 合并滤液, 减压干燥, 再重复加入少量蒸馏水, 通过减压蒸发除去残存的 TFA。取上述干燥后的样品, 加入 10 mg 盐酸羟胺及 1 mL 无水吡啶, 振荡待其充分溶解后, 于 90 °C 水浴反应 30 min 1 mL 无水醋酸酐, 于 90 °C 水浴反应 30 min, 冷却后加入 1 mL 蒸馏水搅拌, 用 2 mL 三氯甲烷分别萃取 2 次, 合, 冷却至室温, 加入并萃取液, 烘干, 加入 1.0 mL 三氯甲烷充分溶解, 即可进行气相色谱测定, 条件如下:

GC-MS 检测方法: 安捷伦 GC-MS (5975-7890), HP-5 MS 柱(30 m×250 μm, 0.25 μm), 升温程序: 起始温度 50 °C, 保持 3 min, 以 50 °C/min 上升至 200 °C 保持 3 min, 再以 20 °C/min 上升至 300 °C 保持 3 min。进样量 1 μL, 分流比 100:1。

质谱条件: 离子源温度 250 °C, 电离方式 EI, 电子能量 70 eV, 扫描质量范围 30~450 u。

2 结果与讨论

2.1 膳食纤维基本功能指标

表 1 番茄皮渣膳食纤维基本理化指标

Table 1 Physicochemical indicators of the DF in tomato pomace

持水力/(g/g)	持油力/(g/g)	膨胀力/(mL/g)	GAC/(mmol/g)
9.33±0.04	9.29±0.03	9.84±0.04	19.21±0.01

表 1 为番茄皮渣膳食纤维的基本理化指标, 膳食纤维的持水力、持油力及膨胀力分别达到 9.33 g/g、9.29 mL/g 和 9.84 mmol/g。盖春慧等研究发现经过酶处理的马铃薯渣膳食纤维其持水力、持油力及膨胀力分别为 8.2 g/g、5.5 g/g、6.2 mL/g^[8], 此外, 与胡萝卜皮渣膳食纤维相比 (5.25 g/g 和 5.30 mL/g)^[9], 番茄皮渣 DF 具有更高的持水力和膨胀力。DF 持水总量包括结合水、流动水及物理吸附水, 一般认为 DF 持水力差异是由于纤维的表面积、多孔性及密度的不同所造成; DF 持油力取决于纤维的表面性质、电荷密度、厚度及颗粒的疏水性; 这些性质使得番茄皮渣膳食纤维更适用于作为功能性食品辅料。

实验通过系列浓度的葡萄糖溶液测定 DF 的葡萄糖吸附能力, 这一数值体现葡萄糖通过胃肠时 DF 对葡萄糖的吸附行为。膳食纤维的 GAC 实验说明浸入葡萄糖溶液的膳食纤维能够有效结合葡萄糖, 且葡萄糖结合的纤维与溶液浓度有关。作为一种功能性食品

辅料, DF 能够吸附葡萄糖从而减少或降低葡萄糖在体内的吸收速率, 因此, 番茄皮渣 DF 可以有效缓解糖尿病人对葡萄糖的吸收速率, 并控制血糖的上升。Peeraji 等研究发现柠檬渣 DF 在 200 mmol 葡萄糖溶液中 GAC 可达 18.069 mmol/g^[7], 番茄皮渣膳食纤维与其相比, 具有更好的葡萄糖吸附效果, 可能与番茄皮渣膳食纤维的结构上的多孔性及颗粒大小有关。

2.2 葡萄糖延迟指数测定

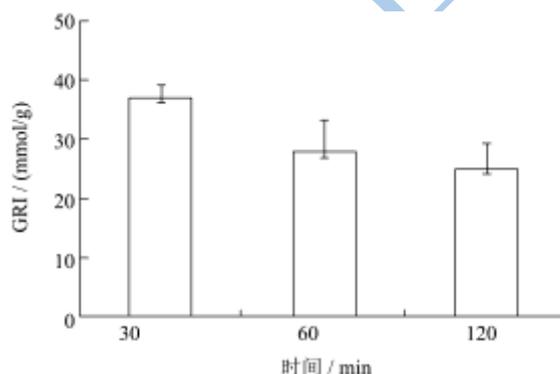


图 1 番茄皮渣膳食纤维胆汁酸吸附能力

Fig.1 GRI of DF in tomato pomace

图 1 为番茄皮渣 DF 葡萄糖延迟指数的测定结果。膳食纤维具有阻滞葡萄糖扩散的作用, SDF 和 IDF 都能够有效吸附葡萄糖, 并且增加溶液在小肠中的粘度。本实验发现最大 GRI 值出现在透析 30 min 后 (36.78 mmol/g), 并且继续延长透析时间 GRI 值会减小。Céspedes 等发现挤压柳橙果浆在透析 60 min 后可以获得最高 GRI 值^[10], 葡萄糖扩散速度与可溶性膳食纤维的含量及溶液的粘度直接相关。类似的研究结果在柑橘皮、芒果副产物中被发现。除了对葡萄糖的吸附作用, 番茄皮渣 DF 对葡萄糖扩散的阻滞主要是借助对葡萄糖分子的物理阻滞, 这种物理的阻碍作用通过不溶性纤维粒子及对纤维间的网络结构进行截留而实现^[10]。此外, 研究发现膳食纤维粉末的颗粒大小决定了它较高的 GRI 能力, 颗粒结构越小表面积越大, 能够加速网络结构对葡萄糖的截留^[7]。

2.3 红外光谱分析

从图 2 的红外吸收光谱可以看出, 膳食纤维样品具有糖酯的特征吸收峰。3442 cm⁻¹ 处出现的一个宽峰是 O-H 的伸缩振动, 说明番茄皮渣在制备 SDF 时长链变成短链, 导致糖苷键断裂, 形成氢键的-OH 增多。在 1736 cm⁻¹ 处出现吸收峰, 说明 SDF 制备过程总由于氧化作用形成羰基。2940 cm⁻¹ 处是糖类甲基和亚甲基上 C-H 的收缩振动, 1200~1400 cm⁻¹ 是 C-H 的变角振动, 在这些区域的吸收峰是糖类的特征吸收峰。在

1068 cm⁻¹ 存在较大吸收峰,是由 C- O-C 环内醚中 C-O 伸缩振动和 C-O-H 的 O-H 变角振动,也是多糖类的特征吸收峰^[11]。896 cm⁻¹ 处的吸收峰是 β 吡喃糖 C-H 变角振动的特征吸收峰^[12]。1635 cm⁻¹ 处是苯环的特征吸收峰,说明 SDF 中有阿魏酰基团存在^[13]; 600 cm⁻¹ 是糖分子中 β-型的 C-H 直立键的变角振动吸收。

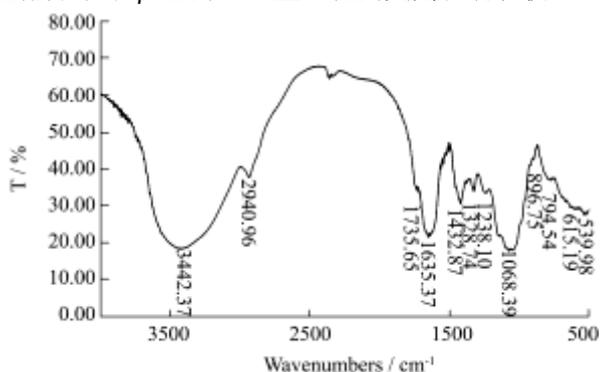


图 2 番茄皮渣膳食纤维红外光谱图

Fig.2 Infrared spectrum of DF in tomato pomace

2.4 DF 的超微结构

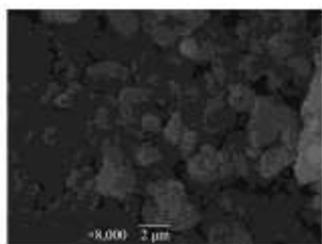


图 3 SDF 超微结构

Fig.3 Ultrastructure of SDF

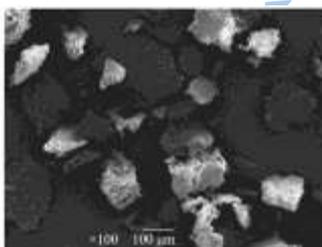


图 4 IDF 超微结构

Fig.4 Ultrastructure of IDF



图 5 TDF 超微结构

Fig.5 Ultrastructure of TDF

2.5 SDF 单糖组分分析

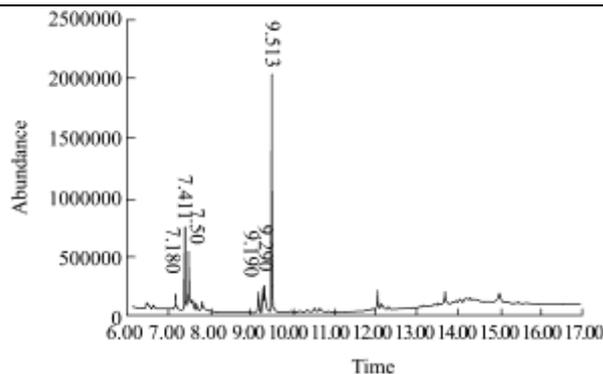


图 6 GC-MS 总离子流色谱图

Fig.6 Total Ion Chromatogram of GC-MS

GC-MS 测试结果结合参考文献, 得出番茄皮渣 SDF 中共有六种单糖组成, 分别为鼠李糖(7.182 min)、阿拉伯糖(7.411 min)、木糖(7.50 min)、甘露糖(9.190 min)、葡萄糖(9.290 min)及半乳糖(9.513 min), 其相对百分含量分别为 4.28%、14.54%、11.47%、6.43%、6.24% 和 57.03%。在番茄皮渣膳食纤维中含量最丰富的单糖为半乳糖, 而鼠李糖、甘露糖及葡萄糖含量较低。

3 结论

对番茄皮渣膳食纤维进行理化性质及结构分析, TDF 的持水力、膨胀力、持油力及葡萄糖吸附值分别为 9.33 g/g, 9.29 mL/g, 9.84 g/g 和 19.206 mmol/g, 显著优于胡萝卜皮渣及马铃薯渣膳食纤维 TDF; 番茄皮渣膳食纤维的葡萄糖延迟指数在反应 30 min 时最高 (36.78 mmol/g)。通过近红外光谱对 SDF 结构分析显示番茄皮渣可溶性膳食纤维具有糖酯的特征结构, 其超微结构为不规则片状结构, 具有蜂窝状孔洞及深沟, 通过 GC-MS 分析得出番茄皮渣膳食纤维主要由半乳糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖及鼠李糖共六种单糖组成。

参考文献

- [1] American Association of Cereal Chemists (AACC). AACC dietary fiber committee report: The definition of dietary fiber [J]. Cereal Foods World, 2001, 46(3): 112-126
- [2] Tarté R. Ingredients in meat products: properties, functionality and applications [M]. Springer, 2009
- [3] Dietary guidelines advisory committee. Report of the dietary guidelines advisory committee on the dietary guidelines for americans, 2010, to the secretary of agriculture and the secretary of health and human services. Washington, DC: Government printing office. Available from: <http://www.cnpp.usda.gov/Publications/DietaryGuidelines/20>

- 10/PolicyDoc/PolicyDoc.pdf Accessed 25.7.12.
- [4] Anderson J W, Baird P, Davis Jr R H, et al. Health benefits of dietary fiber [J]. Nutrition Reviews, 2009, 67(4): 188-205
- [5] 黄志莲. 番茄皮渣的保存[J]. 新疆畜牧业, 2013, 12: 40-41
HUANG Zhi-lian. Preserve of tomato pomace [J]. Xin Jiang Animal Husbandry, 2013, 12: 40-41
- [6] NY-T1594-2008. 水果中总膳食纤维的测定: 非酶-重量法
- [7] Peerajit P, Chiewchan N, Devahastin S. Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues [J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 1891-1898
- [8] 盖春慧, 林炜创, 钟振声. 粒度对马铃薯渣膳食纤维功能特性的影响[J]. 现代食品科技, 2009, 25(8): 896-899
GAI Chun-hui, LIN Wei-chuang, ZHONG Zhen-sheng. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from potato pulp [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(8): 896-899
- [9] 刘鹏超, 汤英春, 朱丽莉, 等. 酶法提取胡萝卜皮渣可溶性膳食纤维的工艺研究[J]. 食品工业, 2012, 33(4): 44-46
LIU Peng-chao, TANG Ying-chun, ZHU Li-li, et al. Enzymatic hydrolysis for preparing water soluble dietary fiber from carrot pomace [J]. Food Industry, 2012, 33(4): 44-46
- [10] Céspedes M A L, Bustos F M. The effect of extruded orange pulp on enzymatic hydrolysis of starch and glucose retardation index [J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(5): 684-692
- [11] 黄鹏, 刘畅, 王珏, 等. 沙棘水溶性膳食纤维的提取及结构分析[J]. 食品科技, 2011, 36(2): 203-206
HUANG Peng, LIU Chang, WANG Jue, et al. Extraction and structural analysis of sea buckthorn soluble dietary fiber [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(2): 203-206
- [12] 张惟杰. 糖复合物生化技术研究[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999
ZHANG Wei-jie. Biochemical techniques in complex carbohydrates [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1999
- [13] Dobhal M, Hasan A M, Sharma M, et al. Ferulic acid esters from *Plumeria bicolor* [J]. Phytochemistry, 1999, 51(2): 319-321