

富含膳食纤维的柚皮粉制备及其特性研究

王思远, 刘学铭, 陈智毅, 杨春英, 林耀盛, 唐秋实

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 为综合利用柚子资源, 本文以柚子皮为原料, 制备了一种富含膳食纤维的柚皮粉, 并对其理化特性、香气成分等进行了研究。结果表明: 所制柚皮粉中膳食纤维含量丰富, 可溶性膳食纤维、不溶性膳食纤维和总膳食纤维含量分别为 9.88%、59.49% 和 70.38%。柚皮粉的持水性、持油性和溶胀性等性能随着粒径的减小而提高, 超微粉碎的柚皮粉持水性可达到 12.41 g/g, 持油性可达到 4.47 g/g, 溶胀性可达到 21.0 mL/g, 均优于市售纤维素。柚皮粉中的柚皮苷含量在 1.64 mg/g 左右, 既保证了其味道不苦涩、可接受, 又具有一定的生物活性。同时, 柚皮粉还保留了新鲜柚子的独特香气和风味。综合考虑, 柚皮粉是一种丰富的膳食纤维来源, 性能良好, 可作为添加剂用于各类食品尤其是高纤低能的食物加工中, 改善产品品质。

关键词: 柚子皮; 膳食纤维; 水合性能; 香气成分

文章编号: 1673-9078(2014)11-170-174

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.11.030

Preparation and Characterization of Dietary Fiber-rich Powder from Pomelo Peel

WANG Si-yuan, LIU Xue-ming, CHEN Zhi-yi, YANG Chun-ying, LIN Yao-sheng, TANG Qiu-shi

(Sericulture & Farm Produce Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Key laboratory of Agricultural Product processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: To comprehensively use the resources of pomelos, a dietary fiber-rich powder from pomelo peel was prepared and evaluated for its physicochemical properties and aromatic compounds. The result showed that the powder from pomelo peels was rich in dietary fibers, where the percentages of soluble, insoluble, and total dietary fiber were 9.88%, 59.49%, and 70.38%, respectively. The water-holding capacity, oil-holding capacity, and swelling capacity increased with particle size reduction. The water-holding capacity, oil-holding capacity, and swelling capacity of the superfine powder were found to be 12.41 g/g, 4.47 g/g, and 21.0 mL/g, respectively. All of these values were better than those of commercial cellulose. The naringin content of the powder was approximately 1.64 mg/g. This ensured the powder was not bitter and had certain bio-active properties. In addition, the powder preserved the unique aroma and flavor of pomelo. These characteristics indicated that pomelo peel powder is a rich source of dietary fiber and has physicochemical properties that make it suitable as an additive in various food products, especially to enhance the quality of high-fiber and low-calorie foods.

Key words: pomelo peel; dietary fiber; hydration; aromatic compounds

膳食纤维在人体内具有重要的生理作用, 如促进胃肠蠕动、增加粪便体积、缩短排便时间, 预防和降低便秘、结肠癌、心血管疾病的发病率, 是维持人体健康必不可少的一类营养素。我国营养学会在 2000 年提出, 成年人适宜摄取的膳食纤维为 30 克/日, 而目前我国国民从日常食物中摄入量只能达到 8~12 克/日, 此外针对“富贵病”患者在此基础上应增加 10~15 克/日, 2~20 岁的幼童、青少年, 其摄入量推荐为年

收稿日期: 2014-05-08

基金项目: 广东省科技计划项目(2012B090700007)

作者简介: 王思远(1987-), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 农产品加工

通讯作者: 刘学铭(1967-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工

龄数加 5~10 克/日。在国内外已研究的膳食纤维包括: 谷物纤维、豆类种子与种皮纤维、水果蔬菜纤维、微生物多糖、其它天然纤维、合成半合成纤维等六大类共 30 余种, 其中有实际生产和应用的大约十几种^[1]。目前, 以果蔬类为原料提取膳食纤维的研究也较多, 主要利用制糖业、果蔬加工业的副产物, 品种较多, 如橙皮纤维^[2]、苹果渣纤维^[3]、火龙果皮膳食纤维^[4]、芒果渣纤维^[5]等。膳食纤维由于其自身独特的理化特性, 可以改善食品的风味与质构, 如膳食纤维具有良好的乳化性、悬浮性及增稠性, 将其添加到食品中还能提高食品的保水性及保形性, 提高冷冻——融化稳定性等^[6]。膳食纤维已经在如面条、馒头、面包、饼干、糕点及一些休闲食品中广泛应用, 美国、欧洲、

日本、台湾等富含膳食纤维的饮料也正风靡盛行。

柚子是我国主要的水果资源之一,其外果皮约占整个柚子总量的30~40%,生产果汁、果酱、水果罐头、蜜饯等的过程中会产生大量的皮、渣等废弃物,而这些副产物没有得到增值利用,都作为垃圾废弃,不仅浪费资源,而且污染环境。柚皮中富含水分、纤维素、木质素和多种生理活性成分,如果能作为功能原料被综合利用,那么既可以减少资源浪费,也可以保护环境^[1]。目前我国对柚子研究相对较多的是其加工副产物,如柚皮中果胶、总黄酮和精油^[8]等。本研究以柚子皮为原料,在前期试验确定柚皮粉制备方法的基础上,探讨了柚皮粉的化学组成、理化性质及香气成分,以期对柚子皮的综合开发和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 试验材料

沙田柚,购自广东梅龙柚果发展有限公司;柚皮苷标准品,购自美国Sigma公司。

1.1.2 主要仪器设备

6890N/5975B气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;固相微萃取手动进样器、纤维头、萃取瓶,美国SUPELCO公司;LC1200高效液相色谱仪,美国Agilent公司;CHRH-20热泵干燥机,广东省农业机械研究所;DH6-9240A电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;中药粉碎机,浙江永康市红太阳机械有限公司;XDW-681振动式细胞级超微粉碎机,济南达微机械有限公司;LDB-1000A离心机,长沙湘智离心机仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 柚皮粉的制作

新鲜柚子清洗后收集果皮,将柚子皮切成小块,在沸水中热烫1 min,在冷水中漂洗数次,拧干后60℃热泵干燥,粉碎,分别过60、120、200目筛和超微粉碎。

1.2.2 柚皮粉的基本成分测定

分别采用GB 5009.3-2010《食品中水分的测定》、GB 5009.6-2003《食品中脂肪的测定》、GB 5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》和GB 5009.4-2010《食品中灰分的测定》测定柚皮粉中水分、脂肪、蛋白质和灰分含量。

1.2.3 柚皮粉中膳食纤维的测定

采用GB/T 22224-2008《食品中膳食纤维的测定》

测定柚皮粉中的总膳食纤维、可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维含量。

1.2.4 柚皮粉的理化性能测定

持水性(WHC)和持油性(OHC)测定

称取柚皮粉5 g记M₁于烧杯中,加适量的水/油至柚皮粉成糊状溶液,静置一段时间使其充分吸收,然后转移到已称重的离心管记M₂,在转速为4000 r/min下离心15 min,取出离心管,倒掉上清液,用纸吸干残余的水/油后称重记M₃。计算持水/油率:

$$\text{持水/油率}(g/g) = \frac{M_3 - M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%$$

式中:M₁-柚皮粉质量;M₂-离心管质量;M₃-离心管+吸水/油后柚皮粉质量;溶胀性(SC)测定。

准确称量1 g柚皮粉于带刻度试管中,加入过量的水,用玻璃棒搅拌使其均匀吸水,静置24 h后用记录溶胀后的固体体积。SC以每克柚皮粉所溶胀的体积计,单位为mL/g。

1.2.5 柚皮粉中柚皮苷含量的测定

称取柚皮粉1 g置于250 mL锥形瓶中,加入约100 mL甲醇后超声(功率200 W,频率40 kHz)30 min,然后过滤,提取液定容于100 mL容量瓶中,以微孔滤膜(0.22 μm)过滤,滤液用高效液相色谱测定柚皮苷含量,每份样品重复3次。测试条件为:色谱柱为C18柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm);流动相:甲醇+2%醋酸=65+35;流速0.8 mL/min;检测波长:283 nm;进样量:5 μL;柱温:30℃。

柚皮苷标准曲线的绘制:准确称取柚皮苷标准品10 mg,置于100 mL容量瓶中,加甲醇定容,摇匀后得到柚皮苷标准储备液。分别取适量标准储备液,用甲醇稀释配成1.0 mg/L、5.0 mg/L、10.0 mg/L、20.0 mg/L、40 mg/L、80.0 mg/L和100 mg/L的标准溶液,以柚皮苷质量浓度为横坐标,相应的积分峰面积为纵坐标,计算标准曲线。

1.2.6 GC-MS 测定柚皮粉在制备过程中的风味变化

样品制备:称取柚皮粉3 g/新鲜柚皮10 g,移入20 mL钳口样品瓶中,加入5 mL饱和NaCl水溶液,促进香气成分的挥发,用聚四氟乙烯隔垫密封,于磁力搅拌器上在40℃加热平衡15 min后,通过隔垫插入已活化好的SPME萃取头(270℃活化30 min)推出纤维头,顶空吸附40 min后,插入GC进样口解析5 min

气相色谱条件:色谱柱为DB-5MS,30 m×0.25 mm D×0.25 μm;载气:氮气;柱流量:1 mL/min;进样口温度:250℃,不分流进样;起始温度35℃,保持5

min, 以 3 °C/min 升至 180 °C, 保持 2 min, 再以 5 °C/min 升至 240 °C, 保持 1 min。

质谱条件: 接口温度 280 °C, 离子源温度 230 °C, 四级杆温度为 150 °C, 离子化方式: EI 电子能量 70 eV, 质量范围 35~350 AMU/s

采用保留时间和质谱库检索 (NIST05a.L), 并与文献值相比较共同定性, 采用峰面积归一化法进行相对定量。

1.2.7 数据处理分析

采用软件 Excel 2007 进行数据处理, 采用软件 SPSS 19.0 进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 柚皮粉的主要成分及组成

表 1 柚皮粉的主要成分及组成

Table 1 Composition of pomelo peel powder

成分	含量
水/%	8.26±0.33
脂肪/%	1.57±0.22
蛋白质/%	5.38±0.13
灰分/%	3.24±0.55
总膳食纤维 TDF/%	70.38±2.17
可溶性膳食纤维 SDF/%	9.88±0.67
不溶性膳食纤维 IDF/%	59.49±1.29
柚皮苷/(mg/g)	1.64±0.13

表 1 为所制柚皮粉的主要化学成分及组成, 其脂肪、蛋白质、灰分、总膳食纤维等含量与同属的柑橘、柠檬的果皮成分研究结果相近^[9], 其中总膳食纤维达 70.38%, 高于人们所熟知的高膳食纤维材料 (如麦麸 44.46%、米糠 27.04%、胡萝卜 26.0%、葡萄皮 53.4%、桃子 30.7% 等^[9]), 略低于相关报道的苹果 78.2%^[5]、火龙果皮 77.57%^[4]、芒果皮 72.3%^[5]。由此可见, 柚皮粉富含膳食纤维, 是一种可利用碳水化合物低的可食资源。所制柚皮粉中可溶性膳食纤维含量为 9.88%, 不溶性膳食纤维含量为 59.49%, SDF/IDF 约为 1:6, 与同属的柑橘皮 (1:4)、柠檬皮 (1:1.3) 有所差异^[9], 也与制作柚皮粉时多次漂洗去苦过程中有一部分可溶性膳食纤维损失有关。

柚皮苷是柚子的主要苦味物质, 也构成了柚子独有的风味, 可作为天然色素、风味改良剂用于食品、饮料的生产。近年来的研究表明, 柚皮苷具有降血脂、镇静、抗氧化、抗炎、抗动脉粥样硬化等方面的生物活性, 在医药工业上可用于生产防治心血管等疾病的各种药物。在柚子及柑桔类水果制品中, 含有一定的

苦味是保持产品特有风味必不可少的, 但苦味过强会影响产品的口感, 因此脱苦是柚子、柑桔类水果深加工的关键技术。新鲜柚皮中的柚皮苷含量约为 60~100 mg/g (干基), 本文前期研究工作表明, 经过 24 h 浸泡, 4 次漂洗, 可使制得的柚皮粉柚皮苷含量控制在 1~3 mg/g 左右, 味道微苦, 易被接受。

2.2 不同粒径柚皮粉的理化性能

膳食纤维分子表面的亲水性基团和蜂窝状多空结构使其具有较高的水合能力, 膳食纤维进入消化道内, 在胃中吸水膨胀, 并形成高粘度的溶胶或凝胶, 增加了食物的体积, 从而刺激胃肠道的蠕动, 增加排便速度和排便次数, 降低了肠内压, 产生通便作用。膳食纤维的水合性与其本身结构和组成有关, 同时受外界的环境如 pH、浓度、温度等影响^[10]。分别比较了不同粒径的柚皮粉的持水性、持油性和溶胀性, 结果如表 2 所示。

表 2 不同粒径柚皮粉的理化性能

Table 2 Physicochemical properties of pomelo peel powder for various particle sizes

理化性能	WHC/(g/g)	OHC/(g/g)	SC/(mL/g)
60 目	8.40±0.17 ^d	3.51±0.08 ^e	16.1±0.6 ^c
120 目	8.81±0.18 ^c	3.63±0.03 ^e	16.8±1.0 ^c
200 目	9.22±0.24 ^b	4.31±0.08 ^b	18.1±0.8 ^b
超微粉碎	12.41±0.56 ^a	4.47±0.04 ^a	21.0±1.3 ^a

注: 同列不同字母表示差异显著 (P<0.05)。

超微粉碎的柚皮粉持水性为 12.41 g/g, 与商业纤维素 (12.42 g/g) 相同, 溶胀性为 21.0 mL/g, 略高于商业纤维素 (19.16 mL/g), 但持油性为 4.47 g/g, 是商业纤维素 (0.98 g/g)^[11] 的 4.5 倍。随着颗粒粒度的减小, 柚皮粉的持水性、持油性及溶胀性均增加了, 与相关研究结果一致^[12], 这主要是因为随着粒径的变小, 颗粒比表面积增大, 纤维网状结构增强, 颗粒亲水性增强。柚皮粉良好的水合性能主要是因为其中膳食纤维含量高, 其良好的水合性能可用于食品工业中, 改进食品品质, 例如持水性好可用于改善食品粘度与质构特性, 持油性好有利于改善食品的乳化性能, 提高高脂肪产品的稳定性^[13]。

2.3 柚皮粉的挥发性成分分析

所制柚皮粉中共检测出 63 种主要挥发性物质, 其中相对含量 1% 以上的有 17 种, 如图 2 及表 4 所示, 占整个挥发性物质的 77.0%, 主要是萜烯类化合物和高级醇类、醛类、酮类、酯类等物质。而新鲜柚子果皮中检测到 55 种挥发性物质, 主要是柠檬烯

(74.58%)、 β -月桂烯 (11.11%)、 α -蒎烯 (2.14%)、 β -蒎烯 (2%)、乙酸香叶酯 (1.31%)，如图 1 及表 3 所示。新鲜柚子果皮的香气与经过加工得到的柚皮粉有所不同，主体香气还是一致的，主要都是柠檬烯等萜类化合物。但制作柚皮粉的烘干过程使更多香气成分从果皮中挥发出来并发生氧化等变化，也可能导致一些痕量成分损失。柚皮粉保留了柚子特有的香味，清香怡人，可作为食品的配料使用。

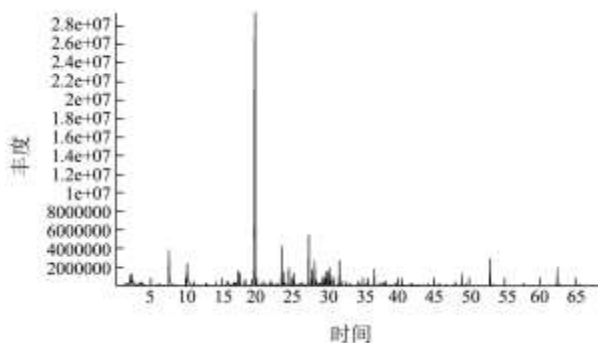


图 1 新鲜柚皮 GC-MS 分析总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of fresh pomelo peel by GC-MS

表 3 GC-MS 鉴定的新鲜柚皮香气成分及相对含量 (相对含量 1% 以上组分)

Table 3 Aromatic compounds and their relative amounts in fresh pomelo peel, identified by GC-MS (the relative contents of compounds present at >1%)

序号	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%	相似度
1	14.415	α -蒎烯	2.14	96
2	16.8441	β -蒎烯	2.00	91
3	17.7251	β -月桂烯	11.11	91
4	20.2929	柠檬烯	74.58	95
5	36.7794	乙酸香叶酯	1.31	91

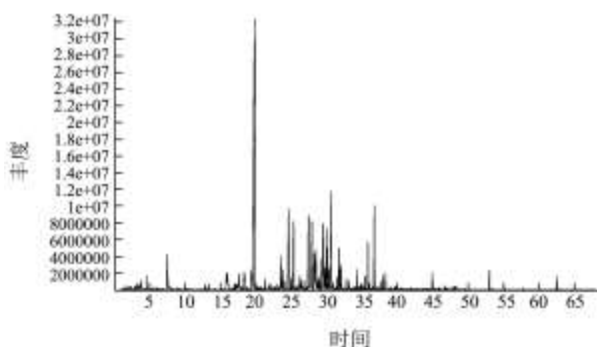


图 2 柚皮粉 GC-MS 分析总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram of pomelo peel powder by GC-MS

3 结论

上述研究表明，柚皮粉含有 70% 以上的膳食纤维，

SDF/IDF 比例适中，理化性能好，是一种值得开发的膳食纤维资源。而加工工艺（粉碎粒径）对产品的品质和理化性能有显著影响，超微粉碎的柚皮粉持水性可达到 12.41 g/g，持油性可达到 4.47 g/g，溶胀性可达到 21.0 mL/g，可媲美目前市售膳食纤维粉。此外，柚皮粉风味及色泽等易被接受、成本低且具有一定生理化性，可作为食品配料用于面包、饼干等烘焙食品中及其它高纤维/低热量食品中，既能补充产品中膳食纤维含量的不足，降低产品热量，又能改善产品结构及风味。同时，柚皮粉的开发应用将有助于实现柚子皮的综合加工与利用，促进柚子精深加工与产业链的延长。

表 4 GC-MS 鉴定的柚皮粉香气成分及相对含量 (相对含量 1% 以上组分)

Table 4 Aromatic compounds and their relative amounts in pomelo peel powder, identified by GC-MS (the relative contents of compounds present at >1%)

序号	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%	相似度
1	7.5587	己醛	2.46	94
2	15.9894	安息香醛	1.61	96
3	17.6238	β -月桂烯	1.11	87
4	18.366	2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	1.46	90
6	19.8655	柠檬烯	30.15	94
7	23.5617	芳樟醇	1.82	94
8	24.66	1-甲基-4-甲基乙基环己烯-1-醇	7.77	93
9	27.4752	异胡薄荷醇	3.80	91
10	27.9738	2-亚甲基-5-(1-甲基乙基)-环己醇	3.95	83
11	28.2887	α -松油醇	2.19	89
12	29.5257	香芹醇	5.75	98
14	30.4066	香叶醛	2.95	95
15	30.6691	香芹酮	5.36	96
16	32.0523	4-(1-甲基乙基)-1-环己烯-1-甲醛	1.16	98
17	36.7456	乙酸香叶酯	5.42	91

参考文献

[1] 陈燕卉,陈敏,张绍英,等.膳食纤维在食品加工中的应用与研究进展[J].食品科学,2004,25(Z1):251-255
CHEN Yan-hui, CHEN Min, ZHANG Shao-ying, et al. Application and researches of dietary fiber on food processing [J]. Food Science, 2004, 25(Z1): 251-255

[2] Chau C, Huang Y. Comparison of the chemical composition

- and physicochemical properties of different fibre prepared from de peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng [J]. Agricultural and Food Chemistry. 2003, 51, 2615-2618
- [3] Figuerola F, Hurtado M, Estevez A, et al. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment [J]. Food Chemistry. 2005, 91, 395-401
- [4] 张玉锋,孙丽平,庄永亮,等.火龙果皮中膳食纤维含量及其物理化学特性[J].食品科学,2012,33(19):164-167
ZHANG Yu-feng, SUN Li-ping, ZHUANG Yong-liang. Dietary fiber contents and physicochemical characteristics of fiber-rich powder from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel [J]. Food Science, 2012, 33(19): 164-167
- [5] Hassan F A, Ismail A, Abdul H A, et al. Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K. fruit peels. [J]. Food Chemistry. 2011, 126, 283-288
- [6] 肖安红.常见膳食纤维微粉的研究[D].武汉:华中科技大学,2008
XIAO An-hong. Study on common dietary fibers super-tiny powder [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2008
- [7] 刘玉梅.胡柚皮膳食纤维的提取及理化性质的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013
LIU Yu-mei. The study on the extraction and physicochemical properties of dietary fiber from huyou peel [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013
- [8] 李脉,杨继国,宁正祥,等.亚临界流体提取梅州金柚柚皮精油的研究[J].现代食品科技,2013,29(5):1068-1071
LI Mai, YANG Ji-guo, NING Zheng-xiang, et al. Extraction of essential oil from meizhou shatian shaddock peel by subcritical fluid [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1068-1071
- [9] Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, et al. Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review [J]. Food Chemistry, 2011, 124 (2): 411-421
- [10] 卓秀英,齐军茹,杨晓泉.豆渣的功能性研究[J].食品工业科技,2010,31(10):75-77
ZHUO Xiu-ying, QI Jun-ru, YANG Xiao-quan. Study on functional properties of soybean residue [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(10): 75-77
- [11] Al-Sheraji S H, Ismail A, Manap M Y, et al. Functional properties and characterization of dietary fiber from *Mangifera pajang* Kort. fruit pulp [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2011, 59(8): 3980-3985
- [12] Kethireddipalli P, Hung Y C, Phillips R O, et al. Evaluating the role of cell material and soluble protein in the functionality of cowpea (*Vigna unguiculata*) pastes [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(1): 53-59
- [13] O'Shea N, Arendt E K, Gallagher E. D. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 16: 1-10