

# 不同脱糖方式下荔枝果渣膳食纤维的理化特性比较

李依娜<sup>1,2</sup>, 余元善<sup>2\*</sup>, 李璐<sup>2</sup>, 吴继军<sup>2</sup>, 肖更生<sup>3</sup>, 邹波<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)(2. 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)

(3. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510631)

**摘要:** 该研究探讨了三种不同预处理(醇洗、水洗和酵母发酵)对荔枝果渣的脱糖效果及其膳食纤维理化特性的影响。结果表明:荔枝果渣中的总糖含量达到 11.13%, 果糖和葡萄糖的含量分别为 4.89%和 4.33% (*m/m*); 三种脱糖方式均可有效脱除荔枝果渣的还原糖, 其中, 醇洗组和水洗组的荔枝果渣损失率超过 60%, 进而降低了可溶性膳食纤维(SDF)和不溶性膳食纤维(IDF)的得率, 当酵母发酵组脱糖率达到 91.24%时, 其果渣损失率仅为 36.07%, IDF 得率下降了 3.34%, SDF 得率略有增加但差异不显著( $p>0.05$ ); 与未脱糖相比, 醇洗组总膳食纤维(TDF)的持水力、结合水力和膨胀性分别提高了 1.53 g/g、1.19 g/g 和 0.70 g/g, 水洗组和发酵组的水合性质则有所下降( $p>0.05$ ); 三种脱糖方式均显著提高了 TDF 的压缩指数和阳离子交换能力(CEC), 其中发酵组 TDF 的 CEC 最高, 为 0.67 mmol/g。综上所述, 酵母发酵法可以作为荔枝果渣膳食纤维提取前的合适脱糖方式。

**关键词:** 荔枝果渣; 脱糖; 膳食纤维; 理化性质

文章编号: 1673-9078(2022)02-94-103

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0439

## Comparison of the Physicochemical Properties of Dietary Fiber from Lychee Pomace Treated with Different Desugarization Methods

LI Yina<sup>1,2</sup>, YU Yuanshan<sup>2\*</sup>, LI Lu<sup>2</sup>, WU Jijun<sup>2</sup>, XIAO Gengsheng<sup>3</sup>, ZOU Bo<sup>2</sup>

(1. College of Food Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China) (2. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (3. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** This study investigated the effects of three different pretreatments (alcohol wash, water wash and fermentation with yeast) on the desugarization of lychee pomace and the physicochemical properties of dietary fiber. The results showed that the contents of total sugar, fructose, and glucose in the lychee pomace were 11.13%, 4.89% and 4.33% (*m/m*), respectively. All the three desugarization methods could effectively remove the reducing sugar from the lychee pomace. Among them, the loss rate of lychee pomace in the alcohol-washing group and water-washing group exceeded 60%, which in turn decreased the yields of soluble dietary fiber (SDF) and insoluble dietary fiber (IDF). When the desugarization rate of lychee pomace of the yeast-fermentation group reached 91.24%, with the loss rate of lychee pomace being only 36.07%, the IDF yield decreasing by 3.34%, and the SDF yield increasing slightly (the difference was insignificant,  $p>0.05$ ). Compared with the undesugarized, the water-holding capacity, water-binding capacity and swelling capacity of the total dietary fiber (TDF) in the alcohol-washing group increased by 1.53 g/g, 1.19 g/g and 0.70 g/g, respectively, whilst the hydration properties of the water-washing group and

引文格式:

李依娜,余元善,李璐,等.不同脱糖方式下荔枝果渣膳食纤维的理化特性比较[J].现代食品科技,2022,38(2):94-103

LI Yina, YU Yuanshan, LI Lu, et al. Comparison of the physicochemical properties of dietary fiber from lychee pomace treated with different desugarization methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 94-103

收稿日期: 2021-04-22

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2020B020226010); 广东省现代农业产业技术体系创新团队荔枝加工岗位专家项目(2020KJ107-3); 广东省农业科学院团队建设和人才培养专项(202109TD; R2020PY-JG009)

作者简介: 李依娜(1996-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: yina5262@qq.com

通讯作者: 余元善(1983-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: yuyuanshan2016@qq.com

yeast-fermentation group decreased ( $p>0.05$ ). The three desugarization methods all significantly improved the compression index and cation exchange capacity (CEC) of TDF, and the CEC of the TDF in the yeast-fermentation was the highest (0.67 mmol/g). In summary, the fermentation with yeast can be used as a suitable desugarization method used before the extraction of dietary fiber from lychee pomace.

**Key words:** lychee pomace; desugarization; dietary fiber; physicochemical properties

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 是无患子科荔枝属常绿乔木<sup>[1]</sup>, 产于我国南方地区, 与龙眼、菠萝、香蕉并称“南国四大果品”。广东荔枝种植面积至今稳定在  $2.73 \times 10^5$   $\text{hm}^2$  左右, 总产量保持在  $1.0 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6$  t, 种植面积和产量分别占全国的 46% 和 60% 以上<sup>[2]</sup>。荔枝中熟品种占比大, 采收季节集中, 但由于荔枝营养丰富且果壳不易保水, 采后易褐变和腐烂, 保鲜难度大, 影响了荔枝的鲜销。目前荔枝的加工产品以荔枝干、荔枝汁、荔枝酒与荔枝罐头为主<sup>[3]</sup>, 加工过程产生的大量荔枝壳、荔枝核、荔枝渣等副产物尚未得到一个合理的重视与利用<sup>[4]</sup>, 这造成了资源浪费及环境污染。加工中荔枝鲜果渣产率为 40%~50%, 荔枝果渣具有水果特有的香气, 适口性好, 富含糖类、粗纤维、氨基酸、矿物质等多种营养成分, 是理想的膳食纤维来源, 具有很高的利用开发价值<sup>[5]</sup>。

膳食纤维 (DF) 由非淀粉多糖组成, 被营养学家称为“第七大营养素”, 对人体具有重要的生理功能<sup>[6]</sup>, 如改善肠道吸收功能、增加饱腹感、促进通便、降低心血管疾病、清除体内有害物质、增强免疫功能和促进结肠健康等, DF 根据溶解度分为水溶性膳食纤维 (SDF) 和水不溶性膳食纤维 (IDF)<sup>[7]</sup>。SDF 是指不能被人体消化水解的一类物质, 但是可以溶于温水和热水中, 主要包括戊聚糖、 $\beta$ -葡聚糖、甘露聚糖和果胶等组分, IDF 是指不能被消化系统分解且在热水中不溶的膳食纤维, 是细胞壁的组成成分, 主要包括纤维素、部分半纤维素和木质素等组分。

据 Zhao 等<sup>[8]</sup>的报道, 糖是荔枝果肉中的主要营养素, 其含量高达 10%~19.2% ( $m/m$ )。龚小洁<sup>[9]</sup>的研究表明, 荔枝果渣约占荔枝果肉含量的 20%, 怀枝果渣的水分含量为 73.07%、灰分为 0.64%、蛋白质含量为 2.93%、总膳食纤维含量为 10.08%、葡萄糖含量为 5.34%、果糖含量为 5.81%。可见除水分外, 荔枝果渣中含量最高的是糖和膳食纤维, 从荔枝果渣中提取膳食纤维, 可使其营养成分为人所用, 但含糖分较多不利于储存, 在粉碎加工过程中容易产生团聚现象而发生黏结, 这很大程度上影响了荔枝果渣进一步的加工与应用, 需进一步去除糖分。目前糖分去除方式的研究及其对纤维损失率和品质影响的研究不多, 基于此, 本研究主要探讨了荔枝果渣制备膳食纤维前的脱糖工艺, 比较不同脱糖处理对荔枝果渣膳食纤维提取与性

质的影响, 旨在为荔枝果渣的开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

荔枝果渣: 荔枝 (品种为怀枝) 去皮去核榨汁后产生的果渣, 由广州顺昌源绿色食品有限公司提供, 储存于  $-20$   $^{\circ}\text{C}$  备用。

酿酒酵母 RV002, 购于安琪酵母股份有限公司; 酿酒酵母 FX10、BO213, 购于法国 Laffort 公司; 高温  $\alpha$ -淀粉酶 (2000 U/mL)、中性蛋白酶 (100 U/mg), 购于上海源叶生物科技有限公司; 大豆油 (食品级)、猪油 (食品级), 购于市场; 石油醚 (沸程:  $30 \sim 60$   $^{\circ}\text{C}$ )、氢氧化钠、盐酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氯化钠、乙酸铅、硫酸钠、硝酸银、果糖、葡萄糖、蔗糖、95% 乙醇、3-5-二硝基水杨酸等试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

WF-A2000 榨汁机, 美的有限公司; BJ-200 高速多功能粉碎机, 德清拜杰电器有限公司; DHG-9240 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学有限公司; ALC-210.4 电子分析天平, 德国 ACCULAB 公司; PB-10 型 pH 计, 赛多利斯公司; HWS24 电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; SHA-C 水浴恒温振荡器, 常州润华电器有限公司; JW-1042 低速离心机, 安徽嘉文仪器装备有限公司; SX2-5-12N 箱式电阻炉, 上海一恒科学仪器有限公司; KjeltecTM8400 自动凯氏定氮仪, 瑞典福斯仪器公司; SOX416 索氏提取仪, 德国; UV1800 紫外分光光度计, 日本岛津公司; PX-250B-Z 型生化培养箱, 上海博讯实业有限公司; Agilent 1200 series 高效液相色谱仪, 美国 Agilent 公司; Infinite M200PRO 酶标仪, 瑞士 TECAN 公司; ST85B3-1 真空冷冻干燥机, 美国 Milirock 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 荔枝果渣基本成分测定

水分参照 GB 5009.3-2016 直接干燥法《食品中水分的测定》; 灰分参照 GB 5009.4-2016 灼烧称重法《食品中灰分的测定》; 蛋白质参照 GB 5009.5-2016 凯氏

定氮法《食品中蛋白质的测定》；脂肪参照 GB 5009.6-2016 索氏提取法《食品中脂肪的测定》；淀粉参照 GB 5009.9-2016 酸水解法《食品中淀粉的测定》；总糖和还原糖的含量测定参考何珺珺<sup>[10]</sup>的方法进行，糖组分的测定采用 HPLC 法<sup>[11,12]</sup>。

### 1.3.2 荔枝果渣脱糖处理

荔枝果渣解冻后用榨汁机进一步破碎，采用不同方式进行脱糖处理。

**醇洗法：**称取 10 g 荔枝果渣于锥形瓶中，加入一定量（2 倍量、4 倍量、6 倍量、8 倍量、10 倍量）体积分数为 80% 的乙醇，在 160 r/min 的室温条件下振荡一段时间（10、20、40、60、80、100 min），滤去乙醇，重复洗涤（1 次、2 次、3 次）。

**水洗法：**称取 10 g 荔枝果渣于锥形瓶中，加入一定量（2 倍量、4 倍量、6 倍量、8 倍量、10 倍量）的蒸馏水，于室温下 160 r/min 振荡一段时间（5、10、20、30、40、50 min），滤去蒸馏水，重复洗涤（1 次、2 次、3 次）。

**酵母发酵法：**称取 10 g 荔枝果渣于锥形瓶中，85 °C 水浴热杀菌 10 min，冷却至室温后接入一定量已活化（0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%）的酿酒酵母（RV002、FX10、B0213），在 28 °C 条件下发酵一段时间（8、12、16、20、24、28、32 h）。

### 1.3.3 脱糖效果测定

将未处理和脱糖后的荔枝果渣置于 60 °C 电热恒温鼓风干燥箱烘干 18 h，考察加醇量、加水量、脱糖时间、脱糖次数、酵母种类、酵母量及发酵时间对荔枝果渣还原糖脱除率及荔枝果渣得率的影响。脱除率和果渣损失率按照下式进行计算。

$$\text{脱糖率}/\% = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

式中：

A——未去糖果渣中还原糖含量，mg/g；

B——去糖后果渣中还原糖含量，mg/g。

$$\text{损失率}/\% = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100\%$$

式中：

$M_1$ ——脱糖前质量，g；

$M_2$ ——脱糖后质量，g；

$M_0$ ——原料质量，g。

### 1.3.4 膳食纤维的提取

称取一定量荔枝果渣，采用醇洗（6 倍醇、脱糖 10 min、重复 3 次）、水洗（6 倍水、脱糖 10 min、重复 3 次）和酵母发酵（RV002 酿酒酵母、0.015% 接种量、发酵 24 h）三种方法进行脱糖处理、烘干、打粉、

过 60 目筛。按 1:25 ( $m/V$ ) 的比例加蒸馏水，搅拌至完全分散在水中，调节 pH 为 6.5，置于 95 °C 恒温水浴锅糊化 15 min，加入 100 U/g  $\alpha$ -高温淀粉酶 95 °C 酶解 30 min，待冷却后，加入 1% ( $m/m$ ) 中性蛋白酶，55 °C 酶解 1.5 h，沸水浴灭酶 10 min，离心，沉淀即为 IDF，上清液与 4 倍体积 95% 乙醇混合，室温静置过夜，离心得到 SDF；酶解后不离心直接加入 4 倍体积 95% 乙醇静置过夜，再离心，收集沉淀得到总膳食纤维（TDF）。将所得的 SDF、IDF 和 TDF 各自冷冻干燥，粉碎过 60 目筛，均以干重计算得率。

$$\text{SDF}/\% = \frac{\text{提取SDF质量}}{\text{原料质量}} \times 100\%$$

$$\text{IDF}/\% = \frac{\text{提取IDF质量}}{\text{原料质量}} \times 100\%$$

$$\text{TDF}/\% = \frac{\text{提取TDF质量}}{\text{原料质量}} \times 100\%$$

### 1.3.5 总膳食纤维性质比较

#### 1.3.5.1 水合性质

**持水力（Water Holding Capacity, WHC）的测定：**参考胡筱等<sup>[13]</sup>的方法并有所改动，称取一定量干燥样品，以 1:25 ( $m/V$ ) 比例与蒸馏水混合，在室温下震荡 3 h，6000 r/min 离心 15 min，倾去上清液，称其质量，根据重量差算出每克样品持水的重量。

$$\text{WHC}/(\text{g/g}) = \frac{\text{样品湿重}(\text{g}) - \text{样品干重}(\text{g})}{\text{样品干重}(\text{g})}$$

**结合水力（Water Binding Capacity, WBC）的测定：**参考胡筱等<sup>[13]</sup>的方法，样品与水以 1:40 ( $m/V$ ) 混合，室温震荡 6 h，6000 r/min 离心 15 min，弃去上清液，将沉淀物全部转移至干燥皿，记录样品湿重，然后置于 60 °C 干燥，冷却至室温后称其干重，根据重量差算出每克样品结合水的重量

$$\text{WBC}/(\text{g/g}) = \frac{\text{样品湿重}(\text{g}) - \text{样品干重}(\text{g})}{\text{样品原重}(\text{g})}$$

**膨胀性（Swelling Capacity, SC）的测定：**参考张丽媛等<sup>[14]</sup>的方法并有所改动，称取一定量干燥样品于带刻度的试管中，铺平，记录干物料的体积，加入 25 倍体积的蒸馏水，室温下静置 24 h 使样品充分溶胀，读取试管中样品膨胀后的体积。

$$\text{SC}/(\text{mL/g}) = \frac{\text{膨胀后的体积}(\text{mL}) - \text{干燥样品体积}(\text{mL})}{\text{样品干重}(\text{g})}$$

**溶解性（Water Solubility, WS）的测定：**参考 Zhang 等<sup>[15]</sup>的方法测定，称取一定量干燥样品于离心管中，加入 50 倍体积的水，混合均匀后置于 80 °C 水浴振荡 30 min，取出冷却至室温，6000 r/min 离心 15 min，收集上清液于预先称重的干燥皿中，在 103±2 °C 下烘干，

残留物和干燥皿一起称重。

$$WS/\% = \frac{\text{残留物和干燥皿重量(g)} - \text{干燥皿重量(g)}}{\text{样品原重(g)}} \times 100\%$$

### 1.3.5.2 粉体流动性

参考 Muttakin<sup>[16]</sup>的方法测定, 稍作修改, 将样品松散地填充进预先称重的 10 mL 量筒中, 添加样品至 10 mL 刻度线后称重; 将样品加入预先称重的 10 mL 量筒至 10 mL 刻度线后, 置于涡旋振荡器上振荡以排除样品颗粒间的间隙, 补充样品再次振荡, 并将量筒底部在实验台面上轻敲几下, 直至刻度水平不再减小, 测定此时重量。松装密度 (Bulk density)、振实密度 (Tap density) 和压缩指数 (Carr Index) 按下式计算:

$$\text{松装密度} / (\text{g} / \text{mL}) = \frac{\text{松装样品的重量(g)}}{\text{样品体积(mL)}}$$

$$\text{振实密度} / (\text{g} / \text{mL}) = \frac{\text{振实样品的重量(g)}}{\text{样品体积(mL)}}$$

$$\text{压缩指数} / \% = \frac{\text{振实密度} - \text{松装密度}}{\text{松装密度}} \times 100\%$$

### 1.3.5.3 油脂吸附能力

油脂吸附能力 (Oil adsorption capacity, OAC) 的测定参考 Wu 等<sup>[17]</sup>的方法, 称取一定量样品于离心管中, 将大豆油 (不饱和脂肪酸)、猪油 (饱和脂肪酸) 分别以 1:20 的比例加入离心管中, 37 °C 水浴振荡 3 h, 6000 r/min 离心 15 min, 倾去上层油, 用滤纸吸干残液, 称重, 根据重量差算出每克样品所吸附的油脂重量。

$$\text{OAC} / (\text{g} / \text{g}) = \frac{\text{样品湿重(g)} - \text{样品干重(g)}}{\text{样品干重(g)}}$$

### 1.3.5.4 阳离子交换能力

阳离子交换能力 (Cation exchange capacity, CEC) 的测定参考 He 等<sup>[18]</sup>的方法, 称取 0.50 g 样品于 50 mL 锥形瓶中, 加入 50 mL 0.1 mol/L 的盐酸溶液, 充分搅拌后于室温静置 24 h。滤纸过滤, 用蒸馏水反复洗涤滤渣 (用质量分数 10% 的硝酸银溶液鉴定, 至不含 Cl<sup>-</sup>为止<sup>[19]</sup>), 转移残渣到三角瓶中, 加入 100 mL 15% (m/V) 氯化钠溶液, 磁力搅拌 30 min, 以质量分数

为 0.5% 的酚酞-乙醇溶液作为反应指示剂, 用 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液进行滴定, 记录对应的 pH 值, 直到 pH 值变化很小为止, 同时做空白实验。根据得到的数据作 V (NaOH) 与 pH 值关系图, 以试验液变色后保持 3 min 不褪色时, 每克样品所消耗 0.1 mol/L 氢氧化钠的物质的量来衡量阳离子交换能力。CEC 表示为:

$$\text{CEC} / (\text{mmol} / \text{g}) = \frac{0.1 \times (V_1 - V_0)}{m}$$

式中:

0.1——滴定所用氢氧化钠溶液浓度, mol/L;

V<sub>1</sub>——样品消耗氢氧化钠溶液体积, mL;

V<sub>0</sub>——空白消耗的氢氧化钠溶液体积, mL;

m——样品的干重, g。

### 1.3.6 数据处理

利用 SPSS 23 和 Origin 2018 软件对实验数据进行统计分析和图形绘制, 采用 Duncan 法检验差异显著性, 以  $p < 0.05$  表示差异显著, 实验结果表示为平均值 ± 标准偏差 (n=3)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 荔枝果渣基本成分分析

由表 1 可知, 荔枝果渣的主要成分是水, 含水量达到 79.05%, 其蛋白质和淀粉的含量分别为 1.39% 和 1.34%, 荔枝果渣中测出的淀粉含量较高可能是榨汁过程中部分荔枝核被搅碎后混入果渣中所致<sup>[20]</sup>。此外荔枝果渣中还含有大量的糖分, 总糖含量达到 11.13%, 还原糖含量为 10.51%, 主要为果糖和葡萄糖, 两者含量大致相当 (分别为 4.89% 和 4.33%), 并未检测出蔗糖, 这与龚小洁<sup>[9]</sup>的研究结果一致。高含量的糖容易被微生物利用而导致果渣变质发酸, 再者糖分具有吸湿性, 易粘结, 不利于后续的干燥与保存, 要制得荔枝果渣膳食纤维就有必要先对原料进行脱糖预处理。

表 1 荔枝果渣的基本组分

Table 1 The basic components of litchi pomace

成分	水分	粗脂肪	粗灰分	蛋白质	淀粉	总糖	还原糖	果糖	葡萄糖
含量/%	79.05±0.07	0.05±0.02	0.80±0.09	1.39±0.01	1.34±0.02	11.13±0.09	10.51±0.37	4.89±0.17	4.33±0.12

## 2.2 不同脱糖方法的脱糖效果分析

### 2.2.1 还原糖的变化

图 1、图 2 和图 3 分别显示了荔枝果渣经不同处理后的还原糖脱除情况。其中醇洗法和水洗法是利用

单糖和多糖在乙醇溶液及水溶液中的溶解度不同而进行脱糖, 酵母发酵法是通过糖酵解途径将葡萄糖转化为酒精以达到除糖目的。

由图 1a、图 2a 可知, 当乙醇和水的添加量为 6 倍体积时, 还原糖脱除率分别为 58.96% 和 62.24%,

在低于此添加量的范围内,随着溶剂用量的增加,荔枝果渣的脱糖率不断增加,且增加幅度比较明显,当添加量大于6倍时,随着溶剂用量的增加,还原糖脱除率趋于平缓,这可能是当料液比较小时,荔枝果渣中的糖不能充分分散到溶液中,导致脱糖率低,随着溶剂用量的增多,荔枝果渣中的糖与溶液完全接触,糖类物质得以充分转移,并达到溶解的一个饱和状态。由图 1b、图 2b 可看出,延长脱糖时间并不能显著提高荔枝果渣的脱糖率,脱糖时间为 10 min 时就可达到一个较好的脱糖效果,这说明当液固两相得以充分混合后,荔枝果渣中的糖能较快扩散并转移到溶液中。由图 1c 和图 2c 所示,荔枝果渣脱糖率随着脱糖次数的增加而升高,荔枝果渣分别经醇洗 3 次、水洗三次后还原糖脱除率可达到 88.52%、94.76%。

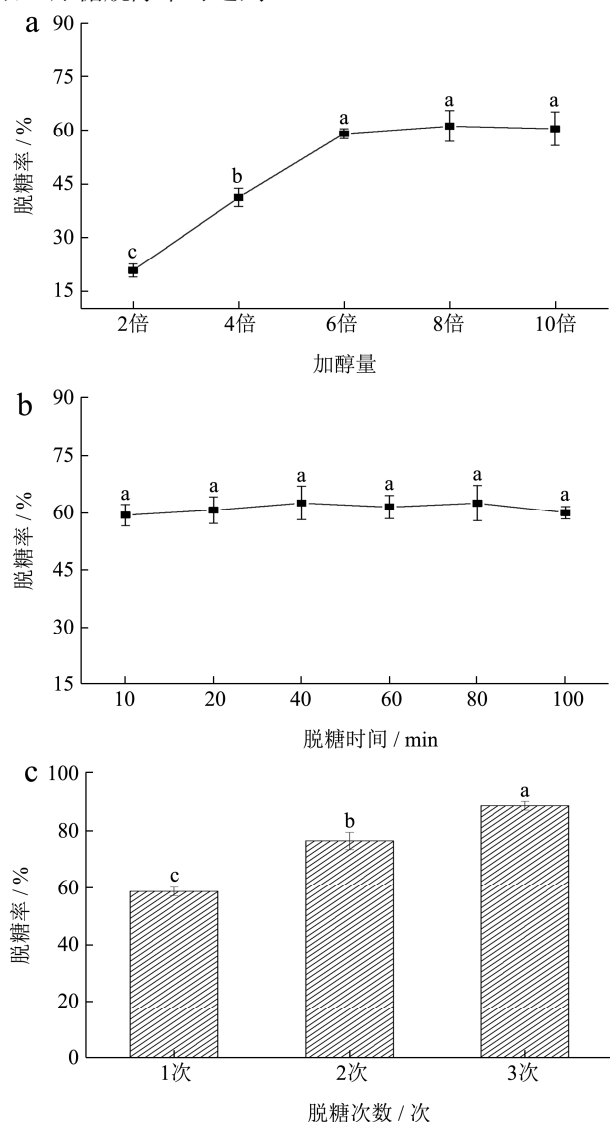


图 1 醇洗法的脱糖率

Fig.1 The rate of sugar removal by alcohol washing

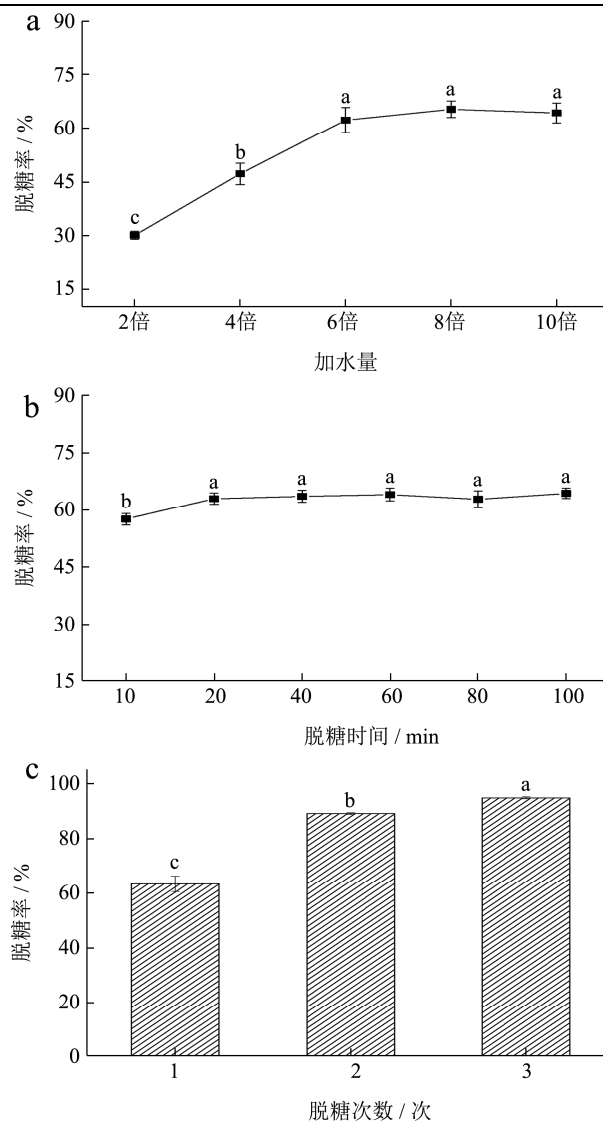


图 2 水洗法的脱糖率

Fig.2 The rate of sugar removal by water washing

由图 3a 可知,发酵法处理后,三种酿酒酵母的脱糖效果有所差异,其中 *RV002* 的脱糖率最高,说明其在荔枝果渣中的生长适应性比其他两种酵母好,能更快地利用荔枝果渣中的糖进行生长繁殖。由图 3b 可看出,增加酵母接种量,荔枝果渣的还原糖脱糖率随之增加,当 *RV002* 接种量为 0.15%,脱糖率趋于稳定,可达到 93.83%。由图 3c 所示,随着发酵时间的增加,脱糖率显著增加,在 24 h 时脱糖率达到最高值。据崔淑芳等<sup>[21]</sup>的研究,酿酒酵母的对数生长期为 10~18 h,此时酵母生长迅速,细胞密度增加很快,在无氧条件下通过不断消耗糖产生二氧化碳和酒精以达到脱糖的目的。郭小宇等<sup>[22]</sup>研究发现酿酒酵母 *L610* 能够发酵菊糖生产乙醇,该酵母对菊芋总糖的利用率最高可达 86%,说明通过酵母转化脱糖具有可观效果。

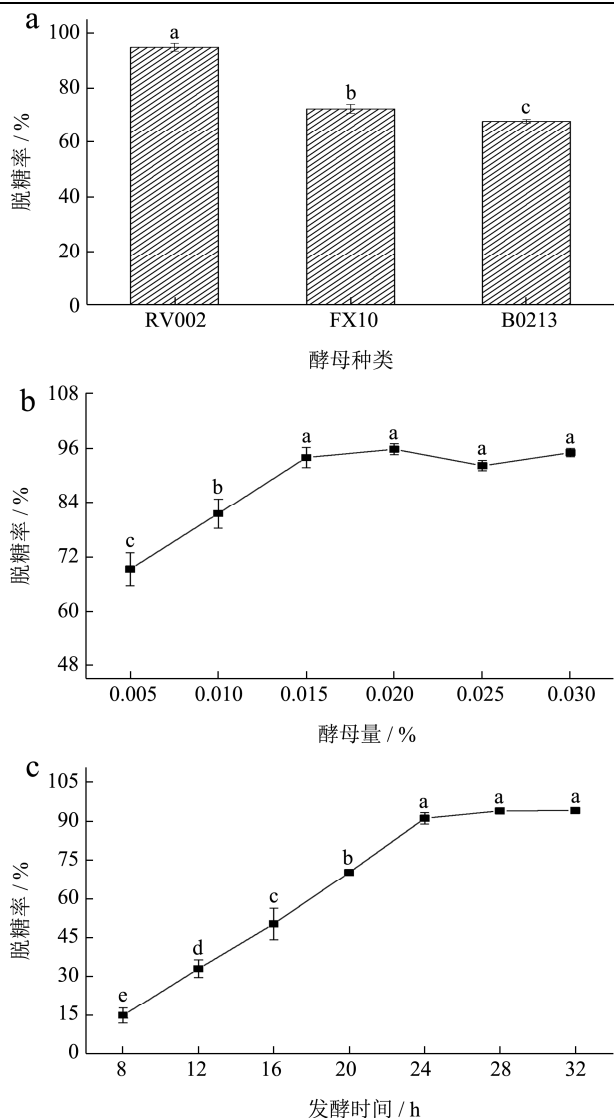


图3 发酵法的脱糖率

Fig.3 The rate of sugar removal by fermentation

### 2.2.2 果渣损失率比较

三种脱糖处理后对荔枝果渣损失率的影响如图 4 所示, 由图 4a、图 4b 可看出, 随着脱糖次数的增加, 荔枝果渣的损失率也在不断增大。第 1 次脱糖后, 醇洗组和水洗组果渣损失率分别为 46.12%、48.18%, 第 2 次脱糖后, 其果渣损失率均显著增加 ( $p < 0.05$ ), 分别达到 59.19% 和 62.75%, 第 3 次脱糖后, 其果渣损失率虽有增加但差异不显著 ( $p > 0.05$ )。荔枝果渣质量损失一部分是由于可溶性糖被脱除, 在将乙醇或水与果渣分离时也会引起原料的流失。王强<sup>[23]</sup>利用体积分数为 85% 的乙醇对脐橙粉末进行脱糖处理, 发现脱糖次数为 1 时, 脐橙粉末损失率达到 40% 左右, 进行 3 次乙醇脱糖处理所得的脐橙 SDF 纯度较高, 得率较好, 损失率也达到稳定。可见增加脱糖次数, 一方面会降低荔枝果渣的得率, 另一方面能提高脱糖率和提取得到的 SDF 纯度。

由图 4c 可知, 酵母发酵法对荔枝果渣质量的影响比其它两种方式小, 发酵时间由 12 h 提高到 24 h, 果渣损失率由 27.64% 升高到 36.07%, 再延长发酵时间至 36 h, 损失率虽有增加但差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 表明荔枝果渣中的还原糖已被消耗得比较完全。

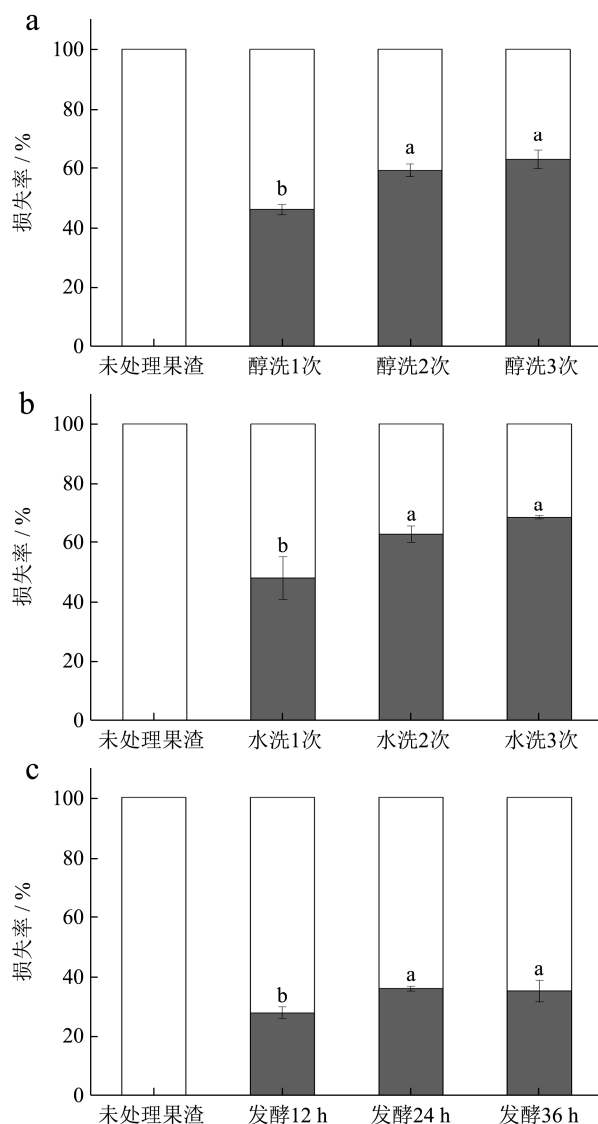


图4 不同脱糖处理的荔枝果渣损失率

Fig.4 Loss rate of litchi fruit dreg under different desaccharification treatments

### 2.3 不同脱糖方式对 DF 得率的影响

图 5 显示了荔枝果渣经过不同脱糖处理后 DF 的得率, 由图可看出, 酵母发酵法能最大程度保留 SDF 和 IDF, 醇洗法和水洗法均会造成 SDF 和 IDF 不同程度的损失。与未脱糖相比, 酵母发酵组 IDF 得率下降了 3.34%, SDF 得率增加 0.09% 但差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 这可能是酵母菌含各种酶如分泌淀粉酶使荔枝果渣中的淀粉等成分被分解, 便于 SDF 更好地被分离提取, 由于杂质含量相对降低, IDF 得率虽有所

下降,但其纯度得以升高。醇洗组和水洗组 IDF 得率分别下降了 15.79%和 19.87%, SDF 得率分别下降了 2.83%和 3.58%,可见醇洗脱糖和水洗脱糖过程中虽然大部分可溶性单糖被脱除,但也带走了部分其它可溶性物质,加之原料损耗较大,就造成了 SDF 和 IDF 的流失。

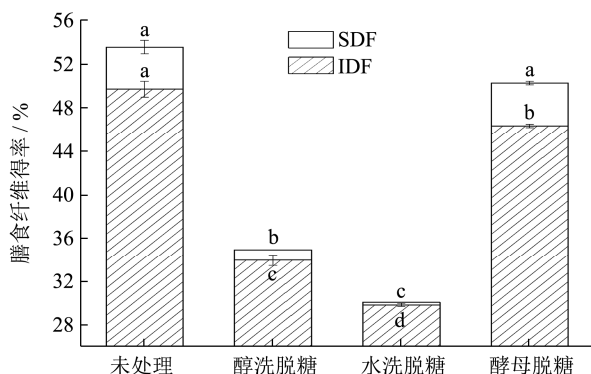


图5 不同脱糖处理后荔枝果渣 SDF、IDF 的得率

Fig.5 The yield of SDF and IDF of litchi pomace after different desaccharification treatments

## 2.4 不同脱糖方式对 TDF 水合性质的影响

表2 四种 TDF 水合性质的比较

Table 2 Comparison of hydration properties of four kinds of TDF

样品	WHC/(g/g)	WRC/(g/g)	SC/(mL/g)	WS/%
TDF1	9.80±0.23 <sup>b</sup>	10.20±0.56 <sup>b</sup>	9.60±0.50 <sup>b</sup>	8.53±0.10 <sup>a</sup>
TDF2	11.33±0.37 <sup>a</sup>	11.39±0.06 <sup>a</sup>	10.30±0.26 <sup>a</sup>	4.73±0.59 <sup>b</sup>
TDF3	5.84±0.11 <sup>d</sup>	6.38±0.43 <sup>d</sup>	5.97±0.15 <sup>d</sup>	2.80±0.74 <sup>c</sup>
TDF4	7.55±0.09 <sup>c</sup>	8.88±0.46 <sup>c</sup>	7.93±0.12 <sup>c</sup>	8.38±0.68 <sup>a</sup>

荔枝果渣分别经未脱糖、醇洗脱糖、水洗脱糖和发酵脱糖处理后,采用双酶法除去淀粉和蛋白质,冻干得到总膳食纤维 TDF1、TDF2、TDF3 和 TDF4。由表 2 可看出,经醇洗脱糖后, TDF 的持水力、结合水力和膨胀性分别提高了 1.53 g/g、1.19 g/g 和 0.7 g/g,水洗组 and 发酵组的水合性质则有所下降,与 TDF1 相比, TDF3 的持水力、结合水力和膨胀性分别下降了 3.96 g/g、3.82 g/g 和 3.63 g/g,而 TDF4 则是下降了 2.25 g/g、1.32 g/g 和 1.67 g/g。醇洗脱糖和水洗脱糖得到的 TDF 有着更低的溶解性,酵母发酵脱糖能保持其溶解性 ( $p>0.05$ ),这可能是 SDF 所占的比例不同所致。膳食纤维的水合能力与其来源、自身化学结构、SDF 与 IDF 比例、颗粒大小、孔隙度、pH 值等密切相关<sup>[24]</sup>,膳食纤维呈多孔结构,含有很多亲水基团,这些特性使得膳食纤维具有良好的水合性质,研究显示膳食纤维吸水膨胀可增加人体饱腹感,促进胃肠道的蠕动,与此同时使其更快通过肠道,增加人体排便的频率。

## 2.5 不同脱糖方式对 TDF 粉体流动性的影响

荔枝果渣 TDF 粉体流动性的测定结果见表 3。膳食纤维的堆积密度是指重量与体积的比率,分为松装密度和振实密度,能够反映粉体的填充性。根据堆积密度计算出的 Carr's 压缩指数 (CI) 可作为一种间接衡量物质流动性的指标,其值越高,物质的凝聚力越强。一般来说,CI 高达 16%的材料具有良好的流动性能,而高于 28%的材料则表明具有粘性或粉末流动较差<sup>[25]</sup>。由表 3 所示,经过醇洗、水洗和发酵脱糖处理后堆积密度下降显著,松装密度分别由 0.63 g/mL 变为 0.25 g/mL、0.42 g/mL 和 0.45 g/mL,振实密度分别由 0.78 g/mL 变为 0.34 g/mL、0.54 g/mL 和 0.59 g/mL,CI 则由 24.62%分别上升到 35.10%、32.79%和 35.39%,显著增大,说明脱糖处理后的 TDF 密度降低而更为疏松,更有凝聚力(更高的 CI),不易分散。据 Koç 等<sup>[26]</sup>的研究,粉体的堆积密度及流动性受多种因素影响,取决于粉体的物化特性和材料中空气体积的比例,与颗粒孔隙率、比表面积、形状分布及干燥程度等相关,分析脱糖处理后的 TDF 堆积密度下降,CI 增加可能是经不同脱糖处理后 TDF 杂质含量较低,经冷冻干燥后具有有限的体积收缩,因而具有更低的堆积密度,此外脱糖处理后的 TDF 更易被粉碎,颗粒粒径减小,更小的粒子由于其电子云靠近表面而倾向于施加更强的静电力,使得颗粒间的引力和粘着力增大,不会被轻易分散,因而流动性变差。

表3 四种 TDF 水合性质的比较

Table 3 Comparison of fluidity of four kinds of TDF powders

样品	松装密度/(g/mL)	振实密度/(g/mL)	压缩指数/%
TDF1	0.63±0.04 <sup>a</sup>	0.78±0.06 <sup>a</sup>	24.62±0.54 <sup>b</sup>
TDF2	0.25±0.01 <sup>d</sup>	0.34±0.00 <sup>d</sup>	35.10±2.31 <sup>a</sup>
TDF3	0.42±0.01 <sup>c</sup>	0.54±0.01 <sup>c</sup>	32.79±1.46 <sup>a</sup>
TDF4	0.45±0.01 <sup>b</sup>	0.59±0.01 <sup>b</sup>	35.39±2.29 <sup>a</sup>

## 2.6 不同脱糖方式对 TDF 油脂吸附能力的影响

由图 6 可知,不同脱糖方式得到的荔枝总膳食纤维对油脂的吸附能力各有不同。TDF1 对大豆油和猪油的吸附能力分别为 2.02 g/g 和 2.73 g/g, TDF2 对大豆油和猪油的吸附能力分别为 3.30 g/g 和 3.23 g/g,经醇洗脱糖后荔枝果渣总膳食纤维的油脂吸附能力有所提高,其他两种脱糖方式对其油脂吸附能力影响不显著。在油脂种类方面,从整体上看,几种荔枝果渣总膳食纤维吸附猪油的能力要好于大豆油,这可能与膳食纤维的结构和比例有关,有研究表明油脂结合能力取决于膳食纤维的表面性能和纤维颗粒的疏水性,猪油的



结合力优于大豆油的结合力,由此推断大豆油中可能含有较多的不饱和脂肪酸,容易被氧化,从而暴露出更多的疏水性基团,导致了样品对大豆油的吸附能力有所下降<sup>[27,28]</sup>。

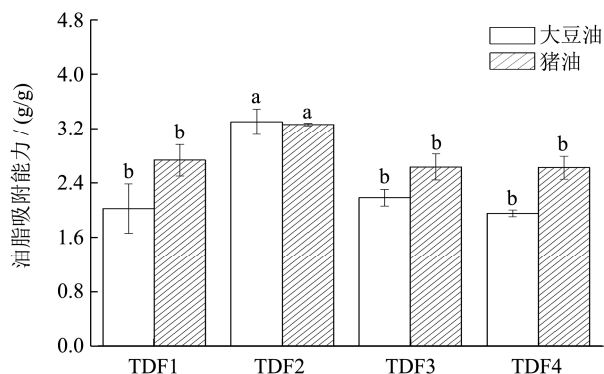


图6 四种 TDF 的油脂吸附能力

Fig.6 Oil adsorption capacity of four types of TDF

### 2.7 不同脱糖方式对 TDF 阳离子交换能力的

影响

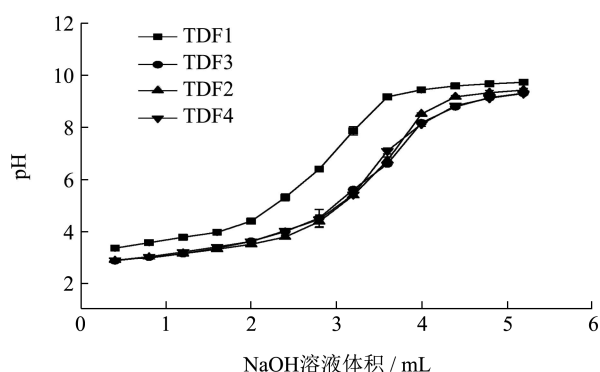


图7  $V_{NaOH}$ -pH 关系曲线

Fig.7  $V_{NaOH}$ -pH Relation curve

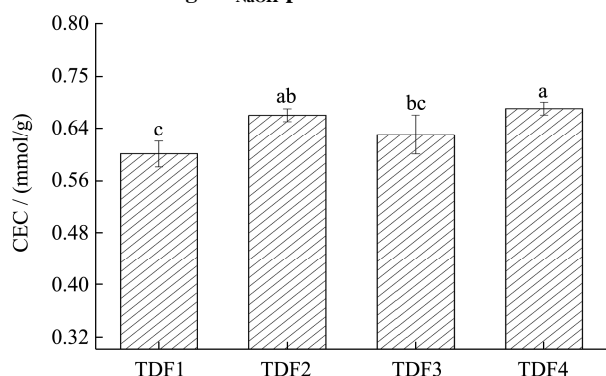


图8 四种 TDF 的阳离子交换能力

Fig.8 The cation exchange capacity of the four TDFs

图7为NaOH滴定四种TDF的 $V_{NaOH}$ -pH关系曲线图,从图中可看出,四种不同TDF的曲线相似,但达到相同pH所需的NaOH体积不同。荔枝果渣膳食纤维悬浮液在由酸性变为中性的前半段时间所需的

NaOH 体积较多,当悬浮液溶液接近中性时 NaOH 溶液的消耗量开始减少,之后再增加 NaOH 溶液的用量, pH 趋于稳定。由图8可知,荔枝果渣总膳食纤维具有较高的阳离子交换能力, TDF1、TDF2、TDF3、TDF4 的 CEC 分别为 0.60、0.66、0.63、0.67 mmol/g,与玫瑰果渣 IDF 的 CEC (0.62 mmol/g) 相差不大<sup>[18]</sup>。不同脱糖处理后提取的 TDF 的 CEC 均有所提高,这可能是脱糖后 TDF 暴露出更多能进行弱酸性阳离子交换的侧链基团(如苯酚基、羧基和氨基等)<sup>[29]</sup>,因而表现出更强的吸附和交换溶液中原有钠离子的能力,呈现出一种能维持 pH 值稳定和离子浓度平衡的作用。

### 3 结论

荔枝果渣中含有大量的糖分,总糖含量达到 11.13%,还原糖含量占总糖含量的 94.43%,采用醇洗、水洗和酵母发酵均能有效脱除荔枝果渣的还原糖,当其还原糖脱除率各达到 88.52%、94.76%、91.24%时,荔枝果渣损失率分别为 62.86%、68.38%、36.07%。脱糖处理后,醇洗组和水洗组 IDF 得率分别下降了 15.79%和 19.87%,SDF 得率分别下降了 2.83%和 3.58%,而酵母发酵组能最大程度保留 SDF 和 IDF, IDF 得率仅下降了 3.34%,SDF 得率略有增加但差异不显著 ( $p>0.05$ );与未脱糖相比,醇洗组 TDF 的持水力、结合水力和膨胀性分别提高了 1.53 g/g、1.19 g/g 和 0.70 g/g,水洗组和发酵组的水合性质则有所下降;三种脱糖处理均显著提高了 TDF 的压缩指数和阳离子交换能力,脱糖后得到的 TDF 更为疏松,粉体凝聚力变强,三者间无显著性差异 ( $p>0.05$ ),发酵组 TDF 的 CEC 比其他两组高,为 0.67 mmol/g。本试验研究结果对荔枝果渣提取膳食纤维前的预处理具有一定的参考价值,使用酵母发酵法可有效脱除荔枝果渣中的糖类物质,为荔枝加工副产物的高值化利用提供理论依据。

### 参考文献

[1] 曹颖,郜海燕,陈杭君,等.荔枝加工品质评价研究进展[J].中国食品学报,2011,11(8):126-132  
CAO Ying, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, et al. Progress in research on measurements of processing quality in litchi [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(8): 126-132

[2] 向旭.广东荔枝产业发展瓶颈与产业技术研发进展[J].广东农业科学,2020,47(12):32-41  
XIANG Xu. Bottleneck of litchi industry development in Guangdong and progress of technology research and development [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020,



- 47(12): 32-41
- [3] 周秋艳,唐方华,饶日昌,等.荔枝及荔枝多酚物质的研究进展[J].安徽农业科学,2017,45(29):77-79  
ZHOU Qiuyan, TANG Fanghua, RAO Richang, et al. Research advance of litchi and litchi polyphenols [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(29): 77-79
- [4] 刘学铭,廖森泰,张名位.荔枝加工副产物研究进展[J].食品研究与开发,2012,33(1):201-204  
LIU Xueming, LIAO Sentai, ZHANG Mingwei. Advances in research of by-products of litchi processing [J]. Food Research and Development, 2012, 33(1): 201-204
- [5] 刘莹,郭宏伟,蓝毓莹,等.荔枝核抗肿瘤活性成分及作用机制的研究进展[J].中南药学,2020,18(11):1874-1878  
LIU Ying, GUO Hongwei, LAN Yuying, et al. Research progress of antitumor active components and mechanism of action in litchi nucleus [J]. Central South Pharmacy, 2020, 18(11): 1874-1878
- [6] Jiapan G, Ziyang H, Qiang Y, et al. Microwave assisted extraction with three modifications on structural and functional properties of soluble dietary fibers from grapefruit peel [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101
- [7] Bader U A H, Saeed F, Khan M A, et al. Comparative study of chemical treatments in combination with extrusion for the partial conversion of wheat and sorghum insoluble fiber into soluble [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(6)
- [8] Lei Z, Kun W, Kai W, et al. Nutrient components, health benefits, and safety of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.): a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(4)
- [9] 龚小洁.荔枝果渣的乳酸菌发酵特性及其功能性果粉的加工工艺研究[D].南昌:江西农业大学,2015  
GONG Xiaojie. Study on fermentation characteristics of lactic acid bacteria in litchi pulp pomace and processing technology of its functional fruit powder [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015
- [10] 何珺珺.荔枝渣制备燃料酒精的工艺研究[D].镇江:江苏科技大学,2011  
HE Junjun. Study on the technology of producing fuel alcohol from litch residues [D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2011
- [11] Yu Y, Xiao G, Xu Y, 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)
- [12] 龚小洁,余元善,徐玉娟,等.乳酸菌发酵对荔枝果渣理化性质的影响[J].现代食品科技,2015,31(10):257-262  
GONG Xiaojie, YU Yuanshan, XU Yujuan, et al. Effect of fermentation with lactic acid bacteria on the physicochemical properties of litchi pomace [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(10): 257-262
- [13] 胡筱,潘浪,朱平平,等.超声波改性对葵花粕膳食纤维性质与结构的影响[J].中国食品学报,2019,19(11):88-99  
HU Xiao, PAN Lang, ZHU Pingping, et al. Effects of ultrasonic modification on the properties and structure of dietary fiber in sunflower meal [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(11): 88-99
- [14] 张丽媛,陈如,田昊,等.超微粉碎对苹果膳食纤维理化性质及羟自由基清除能力的影响[J].食品科学,2018,39(15):139-144  
ZHANG Liyuan, CHEN Ru, TIAN Hao, et al. Effect of superfine grinding on physicochemical properties and hydroxyl radical scavenging capacity of apple dietary fiber [J]. Food Science, 2018, 39(15): 139-144
- [15] Zipei Z, Huige S, Zhen P, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3)
- [16] Syahrizal M, Min S K, Dong-un L. Tailoring physicochemical and sensorial properties of defatted soybean flour using jet-milling technology [J]. Food Chemistry, 2015, 187
- [17] Weijie W, Jie H, Haiyan G, et al. The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics [J]. Food Chemistry, 2020, 332
- [18] Yuanyuan H, Wen L, Xiaoyu Z, et al. Physicochemical, functional, and microstructural properties of modified insoluble dietary fiber extracted from rose pomace [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(3)
- [19] 杨晓宽,李汉臣,张建才,等.芦笋膳食纤维品质分析及抗氧化性研究[J].中国食品学报,2013,13(10):205-212  
YANG Xiaokuan, LI Hanchen, ZHANG Jiancai, et al. Quality analysis and antioxidant research of dietary fiber from asparagus [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(10): 205-212
- [20] Xiang-rong Z, Hui W, Jian S, et al. Pericarp and seed of litchi and longan fruits: constituent, extraction, bioactive activity, and potential utilization [J]. Journal of Zhejiang University - Science B, 2019, 20(6)

- [21] 崔淑芬,黄伟红,孙鲁,等.酿酒酵母脱木糖母液葡萄糖发酵条件优化[J].中国食品添加剂,2012,1:82-86  
CUI Shufen, HUANG Weihong, SUN Lu, et al. Optimization of fermentation conditions to remove glucose in xylose mother liquid by *Saccharomyces cerevisiae* [J]. China Food Additives, 2012, 1: 82-86
- [22] 郭小宇,刘志成,杨帆,等.酿酒酵母 L610 利用菊糖生产乙醇发酵条件的研究[J].微生物学杂志,2018,38(4):41-47  
GUO Xiaoyu, LIU Zhicheng, YANG Fan, et al. Fermentation conditions of ethanol production using inulin by *Saccharomyces cerevisiae* L610 [J]. Journal of Microbiology, 2018, 38(4): 41-47
- [23] 王强.赣南脐橙加工适性及患黄龙病脐橙可溶性膳食纤维提取、纯化、改性研究[D].南昌:江西农业大学,2019  
WANG qiang. Study on processing adaptability in Gannan navel oranges and extraction, purification and modification of soluble dietary fiber in navel orange suffering huanglongbing [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2019
- [24] Anna T, Christof V P, Bart V D. Upcycling of Belgian endive (*Cichorium intybus* var. *foliosum*) by-products. Chemical composition and functional properties of dietary fibre root powders [J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127444
- [25] Cliff K R, Sarafadeen A A. A comparative investigation of the packing and flow properties of sweet potato (*Ipomoea batatas*) starches and their potential use in solid dosage formulations [J]. Starch-Stärke, 2010, 62(6): 285-293
- [26] Banu K, İsmail E, Figen K E. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: the effect of drying method [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 85(3)
- [27] Dingwei Z, Chenxi G, Xuebo L, et al. Effects of insoluble dietary fiber from kiwi fruit pomace on the physicochemical properties and sensory characteristics of low-fat pork meatballs [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 58(4): 1524-1537
- [28] 施慧,张玉,陈磊,等.龙眼壳/核膳食纤维对油脂、胆固醇和胆酸钠的吸附作用[J].食品工业,2015,36(3):103-107  
SHI Hui, ZHANG Yu, CHEN Lei, et al. Adsorption for oil and fat, cholesterol and sodium cholate of dietary fiber from longan shell and longan core [J]. The Food Industry, 2015, 36(3): 103-107
- [29] D G E L S, W J, et al. Composition of fractional and functional properties of dietary fiber of lupines (*L. luteus* and *L. albus*) [J]. John Wiley & Sons, Ltd, 2000, 44(4):229-232

---

(上接第 45 页)

- [46] 陈华敏,赖富饶,孙崇臻,等.高粱糠不同存在形态酚类物质的AB-8大孔树脂纯化及对红细胞氧化溶血的保护作用[J].现代食品科技,2017,33(9):63-70  
CHEN Huamin, LAI Furao, SUN Chongzhen, et al. Purification of different phenolic compounds from sorghum bran on AB-8 macroporous resin and protective effects against oxidative-stress-induced erythrocyte hemolysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(9): 63-70
- [47] 贺萍,王倩,张猛猛,等.东革阿里多糖对红细胞氧化溶血的保护作用[J].现代食品科技,2019,238(6):36-44  
HE Ping, WANG Qian, ZHANG Mengmeng, et al. Protective effects of a polysaccharide from *Eurycoma longifolia* against oxidative stress-induced erythrocyte hemolysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 238(6): 36-44
- [48] 罗洁莹.超声波微波协同提取金柚幼果黄酮及其抗氧化机理[D].广州:仲恺农业工程学院,2019  
LUO Jieying. Ultrasonic microwave assisted extraction of flavonoids from pomelo fruit and its antioxidant mechanism [D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2019
- [49] Musa Y, Günealime, Cihangir U, et al. Effects of astaxanthin on antioxidant parameters in ARPE-19 cells on oxidative stress model [J]. International Eye Science, 2019, 6: 930-935
- [50] 王荣,杨宽,陈春妮,等.亚麻木酚素对 AAPH 诱导的红细胞和肝组织氧化应激的保护作用[J].中国油脂,2019,44(7):98-102  
WANG Rong, YANG Kuan, CHEN Chunni, et al. Protection effect of flax lignan on AAPH - induced oxidative stress in erythrocytes and liver tissue [J]. Chinese Grease, 2019, 44(7): 98-102
- [51] 林恋竹,朱启源,赵谋明.辣木籽抗氧化肽的制备及其对氧化损伤红细胞的保护作用[J].食品科学,2019,40(7):40-46  
LIN Lianzhu, ZHU Qiyuan, ZHAO Mouming. Preparation of antioxidant peptide from *Moringa oleifera* seeds and its protective effects on oxidatively damaged erythrocytes [J]. Food Science, 2019, 40(7): 40-46
- [52] Lin QI, Wen-qian WU, Chen SH, et al. Protective effect of antioxidation of flavonoids of *Astragali complanali* against radiation damage [J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2011, 45(5): 73-77