

# 油橄榄果肉和核壳中膳食纤维的功能特性分析

池玉闽, 董怡, 何强, 张文学, 向燕, 何培君, 邓莎, 何贵萍, 贾利蓉\*

(四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 610065)

**摘要:**以油橄榄的果肉和核壳为原料,分别制备其水溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fiber, SDF)、不溶性膳食纤维(Insoluble Dietary Fiber, IDF)和总膳食纤维(Total Dietary Fiber, TDF),并探究其功能特性及微观结构。结果表明:油橄榄果肉和核壳中TDF含量分别达79.28 g/100 g和86.13 g/100 g,其中以IDF为主。在两种原料中,果肉膳食纤维的功能特性整体强于核壳膳食纤维。其中以果肉SDF的功能特性最优,其持水力为5.15 g/g,膨胀力为5.78 mL/g,持油力为2.45 g/g,葡萄糖吸附能力为21.11 mg/g,胆酸盐吸附能力为84.81 mg/g,胆固醇吸附能力为34.10 mg/g,亚硝酸盐吸附能力为834.57  $\mu$ g/g,扫描电镜显示其颗粒小而疏松,比表面积大。综上,油橄榄的果肉和核壳是良好的膳食纤维来源,其膳食纤维具有一定的辅助减肥、稳定餐后血糖和吸附胆固醇等生理保健作用,可为油橄榄果深加工产业提供一定理论基础。

**关键词:**油橄榄果; 膳食纤维; 功能特性; 吸附能力

文章编号: 1673-9078(2023)05-157-163

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.5.1194

## Analysis of the Functional Properties of Dietary Fibers from Olive Pulp and Kernel Shell

CHI Yumin, DONG Yi, HE Qiang, ZHANG Wenxue, XIANG Yan, HE Peijun, DENG Sha, HE Guiping, JIA Lirong\*

(College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Using olive pulp and kernel shell as raw materials, soluble dietary fibers (SDFs), insoluble dietary fibers (IDFs), and total dietary fibers (TDF) were extracted and their functional properties and microstructures were explored. The mass fractions of TDF in olive pulp and kernel shell reached 79.28 g/100 g and 86.13 g/100 g, respectively, with IDF being the dominant fraction. Overall, the functional properties of pulp dietary fibers were superior to those of kernel shell dietary fibers. The functional properties of SDF in olive pulp were the best, with the water holding capacity of 5.15 g/g, swelling capacity of 5.78 mL/g, oil holding capacity of 2.45 g/g, glucose adsorption capacity of 21.11 mg/g, cholate adsorption capacity of 84.81 mg/g, cholesterol adsorption capacity of 34.10 mg/g, and nitrite adsorption capacity of 834.57  $\mu$ g/g. Scanning electron microscopy revealed that SDF particles in olive pulp were small and loose, with a large specific surface area. In conclusion, olive pulp and kernel shell are excellent sources of dietary fibers with certain physiological functions, such as assisting weight loss, stabilizing postprandial blood glucose, and adsorbing cholesterol. These findings provide a theoretical basis for the deep processing industry of olives.

**Key words:** olives; dietary fibers; functional properties; adsorption capacity

引文格式:

池玉闽,董怡,何强,等.油橄榄果肉和核壳中膳食纤维的功能特性分析[J].现代食品科技,2023,39(5):157-163.

CHI Yumin, DONG Yi, HE Qiang, et al. Analysis of the functional properties of dietary fibers from olive pulp and kernel shell [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(5): 157-163.

膳食纤维(Dietary Fiber, DF)是一类聚合度大

收稿日期: 2022-09-20

基金项目: 四川省科技厅项目-国际合作计划项目(2021YFH0043); 国家自然科学基金青年基金项目(32102039)

作者简介: 池玉闽(1998-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学与营养健康, E-mail: chiyumin@foxmail.com

通讯作者: 贾利蓉(1972-),女,博士,教授,研究方向:农产品加工储藏, E-mail: jialirong@scu.edu.cn

于3的碳水化合物,在消化道内不易被人体消化吸收,且可以作为一种益生元被肠道内微生物群落所利用,具有多种重要的生理功能<sup>[1]</sup>。膳食纤维主要分为水溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fiber, SDF)和不溶性膳食纤维(Insoluble Dietary Fiber, IDF)。其中,水溶性膳食纤维的特点是具有更好的持水力、更高的黏度,具有较好的降低餐后血糖水平以及吸附胆固醇的能力,但过量食用容易导致腹泻<sup>[2]</sup>。植物来源的膳食纤维以

IDF 为主, IDF 对吸附肠道内有害物质、减小结肠癌发病几率、抑制胰脂肪酶活性、预防便秘有较好的效果<sup>[3]</sup>。

油橄榄 (*Olea europaea* L.) 是一种重要的油料作物, 其果实生产出的橄榄油具有多种生理活性功能<sup>[4]</sup>。据不完全统计, 我国目前已有油橄榄种植基地 800 km<sup>2</sup>, 植株 3 600 万株, 2017 年全国油橄榄鲜果总产量突破 47 000 t, 初榨橄榄油的总产量达到 6 000 t, 产值将达到 13.35 亿元<sup>[5]</sup>。在橄榄油产业飞速发展的同时, 也产生了大量的油橄榄废弃物, 据统计, 100 kg 油橄榄果进行初榨后可产生 35%~40% 的果渣<sup>[4]</sup>。油橄榄产业亟需发展除榨油以外的高价值开发方式, 以避免大量的资源浪费和环境污染。油橄榄果主要分为果肉 (外果皮及中果皮)、果核外壳 (内果皮, 下简称油橄榄核壳) 和果仁 (种子) 三部分, 每部分的外观、质地和营养成分有较大差异, 在本研究的前期探索中发现油橄榄果肉和核壳中糖类和粗纤维含量较高, 适合作为制备膳食纤维的原料。橄榄果肉中的膳食纤维主要包括果胶、半纤维素、纤维素和木质素, 而橄榄核壳的木质化程度很高, 主要成分是纤维状木质素, 也富含纤维素和半纤维素<sup>[6]</sup>。有研究表明, 油橄榄 SDF 主要来自木聚糖类半纤维素, IDF 主要由纤维素、半纤维素和木质素组成, 呈纤维素 I 晶型<sup>[7,8]</sup>, 通过粒度分馏和微粉化可以提高橄榄果渣中可溶性膳食纤维含量并改善其功能特性<sup>[9]</sup>。但目前鲜有分别对于油橄榄果肉和核壳膳食纤维功能特性的相关研究。

本研究将油橄榄果肉和核壳分别测定其总膳食纤维 (Total Dietary Fiber, TDF)、SDF 和 IDF 含量, 并分别分析其功能特性, 包括持水力、持油力、膨胀力, 以及几种膳食纤维对葡萄糖、胆酸盐、亚硝酸盐和胆固醇的体外吸附特性, 从而为开发应用油橄榄果膳食纤维产品提供科学依据, 为油橄榄果深加工产业提供一定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

油橄榄果, 由四川橄榄枝农业科技有限公司责任公司提供, 为油橄榄 (*Olea europaea* L.) 的新鲜果实。

蛋白酶、 $\alpha$ -淀粉酶, 阿达玛斯试剂有限公司; 胆固醇, 北京索莱宝科技有限公司;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶, 上海源叶生物公司; DNS 试剂, 厦门海标科技有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

SCIENTZ-10N 冷冻干燥机, 宁波新芝生物科技股

份有限公司; 1736R 高速冷冻离心机, LaboGene 公司; Synergy H1 多功能微孔板检测仪, BioTek Instruments, Inc; 400A 多功能粉碎机, 永康市红太阳机电有限公司; DWKW-4 电子恒温水浴锅, 北京中兴伟业仪器有限公司; THZ-100 恒温培养摇床、电热鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; SHB-III A 循环水式多用真空泵, 上海豫康科教仪器设备有限公司; SU5000 钨灯丝扫描电子显微镜, 日立公司。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 原料预处理

新鲜油橄榄果手动分离其结构, 得到油橄榄果肉和油橄榄核壳, 冷冻干燥后进行粉碎。得到原料冻干粉后用石油醚浸提过夜, 得到脱水脱脂油橄榄果肉、核壳粉。两种粉末分别过 80 目筛后置于阴凉干燥处储存备用。

### 1.3.2 膳食纤维含量的测定

依据 GB 5009.88-2014 测定油橄榄果肉和油橄榄核壳样品中的膳食纤维含量。

### 1.3.3 膳食纤维的制备

采用碱提法对油橄榄果肉和油橄榄核壳中的膳食纤维进行粗提取<sup>[10]</sup>。同时按式 1 计算其得率。

$$Y = \frac{m_0}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$Y$ —粗提物得率, %;

$m_0$ —粗提物质量, g;

$m$ —原料质量, g。

### 1.3.4 持水/油力和膨胀力的测定

参考 Jiang 等<sup>[11]</sup>的方法分别测定样品的持水力、持油力和膨胀力。

### 1.3.5 膳食纤维吸附能力的测定

#### 1.3.5.1 葡萄糖吸附能力的测定

参考 Ninomiya 等<sup>[12]</sup>的方法并作适当调整。使用 0.10 g 的膳食纤维样品和 10 mL 葡萄糖溶液 (1 mg/mL) 进行吸附实验。同时使用 DNS 法测定并绘制葡萄糖质量浓度标准曲线:  $y=0.3575x-0.0053$ ,  $R^2=0.9966$ 。

#### 1.3.5.2 胆固醇吸附能力的测定

参考 Zheng 等<sup>[13]</sup>的方法, 其中胆固醇质量浓度标准曲线为:  $y=2.5459x+0.0967$ ,  $R^2=0.997$ 。

#### 1.3.5.3 胆酸盐吸附能力的测定

参考胡国华等<sup>[14]</sup>的方法并作适当调整。使用 0.1 g 的膳食纤维样品和 10 mL 胆酸钠溶液 (3 mg/mL) 进行吸附实验, 其中胆酸钠质量浓度标准曲线为:  $y=0.3249x+0.0611$ ,  $R^2=0.9965$ 。

### 1.3.5.4 亚硝酸盐吸附能力的测定

参考 Zheng 等<sup>[15]</sup>的方法并作适当调整。使用 0.1 g 的膳食纤维样品和 10 mL 亚硝酸钠溶液 (10 μg/mL) 进行吸附实验, 其中亚硝酸盐质量浓度标准曲线为:  $y=0.009x+0.0439$ ,  $R^2=0.997$ 。

### 1.3.5.5 吸附能力的计算

以上四种物质的吸附能力均按式 2 计算:

$$C = \frac{(C_0 + C_2 - C_1) \times V}{m} \quad (2)$$

式中:

$C$ —吸附能力, mg/g;

$C_0$ —空白组溶液质量浓度, mg/mL;

$C_1$ —样品组溶液质量浓度, mg/mL;

$C_2$ —对照组溶液质量浓度, mg/mL;

$V$ —加入的溶液体积, mL;

$m$ —膳食纤维样品质量, g。

### 1.3.6 微观结构分析

将样品进行粘台、喷金处理后, 置于扫描电镜下观察其微观结构。

## 1.4 数据处理

所有实验结果以三次平行结果的算数平均值±标准差表示。数据结果采用 Origin 2019 软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 膳食纤维的含量及得率

由表 1 可见, 油橄榄果肉和油橄榄核壳两种原料中的 TDF 含量均较高, 其中油橄榄核壳中的总膳食纤维质量分数高达 86.13%, 说明两者都含有丰富的膳食纤维。而油橄榄核壳中的膳食纤维绝大多数为 IDF, SDF 比例较低; 相较于核壳, 油橄榄果肉中的 SDF 占比更高, 两类膳食纤维的占比更平衡。

原料经碱液提取后, 由于氢氧化钠的作用, 将部分 IDF 水解成为了 SDF, 而部分分子量较小的 SDF 可能被水解成为低聚糖、单糖等不易被乙醇沉淀物质<sup>[16]</sup>, 这可能是导致以 IDF 为主的核壳膳食纤维中 SDF 得率升高和果肉膳食纤维中 SDF 得率下降的原因。

表 1 油橄榄果肉和油橄榄核壳中的膳食纤维含量及其提取得率

Table 1 Dietary fiber content and extraction in olive pulp and olive core-shell

样品	膳食纤维质量分数/%			膳食纤维提取得率/%		
	SDF	IDF	TDF	SDF	IDF	TDF
果肉	30.94±0.24	48.33±0.29	79.28±1.10	28.74±0.10	52.39±0.22	81.13±1.32
核壳	1.31±0.03	84.82±2.01	86.13±1.51	15.97±0.06	74.21±0.93	90.17±1.48

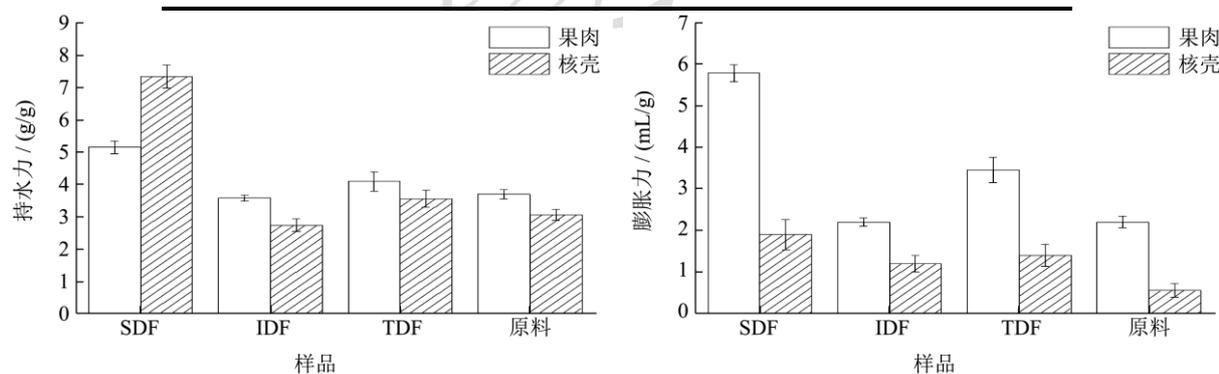


图 1 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维的持水力、膨胀力

Fig.1 Water holding capacity and water swelling capacity of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

### 2.2 膳食纤维的持水力和膨胀力

膳食纤维的功能容易受到 pH 值、提取方法、干燥方式、溶液浓度等多因素影响<sup>[17]</sup>。膳食纤维中自带的亲水基团, 以及多糖链形成的多孔基质结构有助于保持大量水<sup>[18]</sup>, 良好的持水性和膨胀性表明膳食纤维的比表面积较大, 吸附性能较好, 可能具有更好的生理功能<sup>[10]</sup>, 且膳食纤维的重量和体积增大可以增加饱腹感, 促进肠道蠕动, 对身体健康有积极作用。

由图 1 可知, 本实验中的所有膳食纤维都具有一定的持水力和膨胀力。其中, 核壳 SDF 的持水力最佳, 达到 7.33 g/g, 果肉 SDF 的膨胀力最佳, 达到 5.78 g/g, 均优于常见的小麦麸皮膳食纤维 (持水力为 4.21 g/g, 膨胀力为 3.25 mL/g)<sup>[19]</sup>。且来自油橄榄果肉的三种膳食纤维的膨胀力均优于来自油橄榄核壳的同类样品。两种 TDF 均比其原料的持水力和膨胀力更优, 同组的 SDF 均优于 IDF 的持水力和膨胀力, 说明膳食纤维是油橄榄果中起到持水和膨胀的主要物质, 而 TDF 中又

是以 SDF 起主要的持水和膨胀作用。

### 2.3 持油力

膳食纤维在一定程度上可以吸附食物和肠道内的油脂，从而减少人体对脂肪的吸收，起到辅助减肥的作用<sup>[20]</sup>。由图 2 可知，本实验中的所有膳食纤维均具有一定的持油力，果肉膳食纤维的持油力整体高于核壳膳食纤维，并优于常见的大豆膳食纤维<sup>[2]</sup>。持油力最强的为油橄榄果肉 SDF，持油力达到 2.45 g/g，高于柠檬皮渣纤维（2.35 g/g，酶法提取）<sup>[21]</sup>；核壳中各类膳食纤维的持油力接近香橙渣膳食纤维（1.34 g/g，微粉化工艺制备）<sup>[22]</sup>。两种 TDF 均比其原料的持油力更优，说明膳食纤维是油橄榄中起到持油作用的主要物质。在果肉 TDF 中，SDF 对持油力的贡献更大；在核壳 TDF 中，SDF 与 IDF 的持油力较为接近。

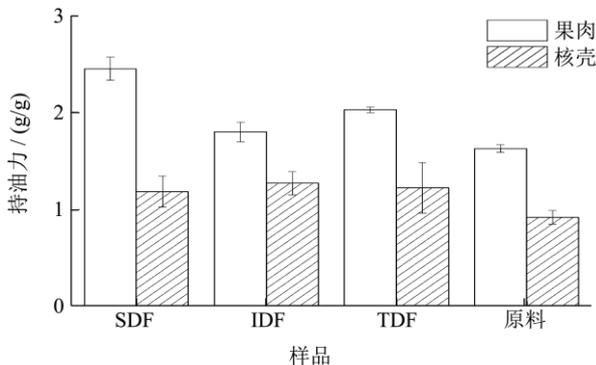


图 2 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维的持油力

Fig.2 Oil holding capacity of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

### 2.4 膳食纤维的体外吸附特性

#### 2.4.1 葡萄糖吸附能力

膳食纤维尤其是水溶性膳食纤维可以延迟进餐后葡萄糖的扩散，有效降低餐后血糖水平<sup>[12]</sup>。通常 SDF 比 IDF 具有更强的葡萄糖吸附能力，可能是由于 SDF 粘度更高造成的<sup>[23]</sup>。由图 3 可知，葡萄糖吸附能力最强的是油橄榄果肉 SDF，达到 21.11 mg/g，吸附量是油橄榄核壳 SDF 和油茶粕膳食纤维（11.49 mg/g，酶法提取）<sup>[12]</sup>的两倍左右；其次是油橄榄果肉 TDF，最弱的是油橄榄核壳 IDF。几种膳食纤维样品的葡萄糖吸附能力均高于竹笋壳 TDF（4.46 mg/g，酶法提取）<sup>[24]</sup>。两种 SDF 的葡萄糖吸附能力高于同组 IDF，说明 TDF 对葡萄糖的吸附能力主要来源于 SDF；核壳 TDF 的葡萄糖吸附能力优于其原料，说明膳食纤维是核壳中吸附葡萄糖的主要物质；果肉原料的葡萄糖吸附能力优于其 TDF，接近于其 SDF，这可能是由于干燥方式差异导致的表面微观结构不同，具体情况将在 2.4.5 中详

细讨论。

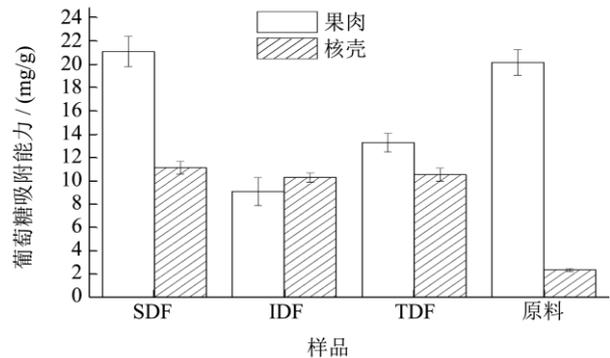


图 3 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维对葡萄糖的吸附能力  
Fig.3 Glucose adsorption capacity of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

#### 2.4.2 胆酸盐吸附能力

膳食纤维能部分吸附肠道内的胆汁酸，同时阻碍胆固醇的肝肠循环，使体内分解胆固醇的速度加快，辅助降低血液中胆固醇的含量，同时预防结肠癌<sup>[14]</sup>。研究表明，膳食纤维多糖能通过氢键和疏水作用与胆汁酸的相互作用，且相互作用力氢键为主<sup>[25]</sup>。由图 4 可知，胆酸盐吸附能力最强的是油橄榄果肉 SDF，达到 84.81 mg/g，高于金针菇膳食纤维（20.1 mg/g，单螺杆挤压改性工艺制备）<sup>[26]</sup>，其次是油橄榄核壳 IDF，最弱的是油橄榄果肉 IDF。除 SDF 外，其余两种油橄榄核壳膳食纤维及原料的胆酸盐吸附性能均强于油橄榄果肉组。两种 TDF 的胆酸盐吸附能力均强于其原料，说明膳食纤维是原料中吸附胆酸盐的主要物质；果肉 TDF 中以 SDF 起主要的胆酸盐吸附作用；核壳 TDF 中以 IDF 起主要的胆酸盐吸附作用。

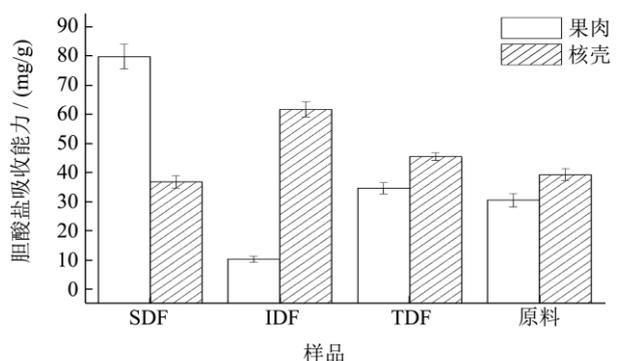


图 4 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维对胆酸盐的吸附能力  
Fig.4 Cholate adsorption capacity of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

#### 2.4.3 胆固醇吸附能力

饮食中摄入过多的胆固醇，可能导致血液中的低密度脂蛋白胆固醇含量增加，增加多种心脑血管疾病患病的风险，而膳食纤维能够很好地吸附体系内的胆固醇延缓其在肠道内的扩散转移<sup>[27]</sup>。由图 5 可知，油

橄榄果肉 3 种膳食纤维和原料的吸附特性明显强于油橄榄核壳中同类样品。其中胆固醇吸附能力最强的是油橄榄果肉 SDF, 达到 34.10 mg/g, 其次是油橄榄果肉 TDF, 均高于柑橘皮膳食纤维 (24.29 mg/g, 酶法制备)<sup>[28]</sup>, 最弱的是油橄榄核壳 IDF, 接近于小麦纤维 (3.48 mg/g, 商用)<sup>[2]</sup>。两种原料的 TDF 中主要起到胆固醇吸附作用的都是 SDF; 油橄榄核壳 TDF 的胆固醇吸附能力略高于其原料, 说明膳食纤维是油橄榄核壳原料中吸附胆固醇的主要物质之一; 油橄榄果肉原料的葡萄糖吸附能力优于其 TDF, 接近于其 SDF。

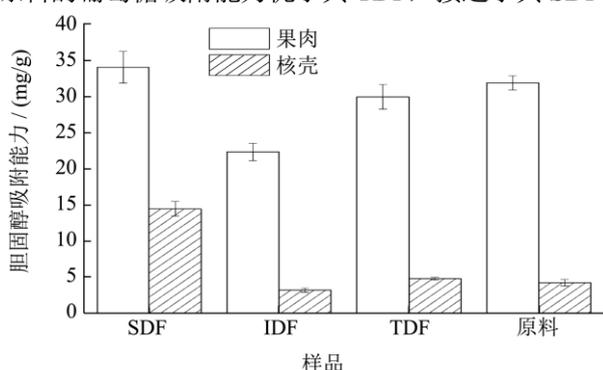


图 5 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维对胆固醇的吸附能力

Fig.5 Cholesterol adsorption capacity of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

#### 2.4.4 亚硝酸盐吸附能力

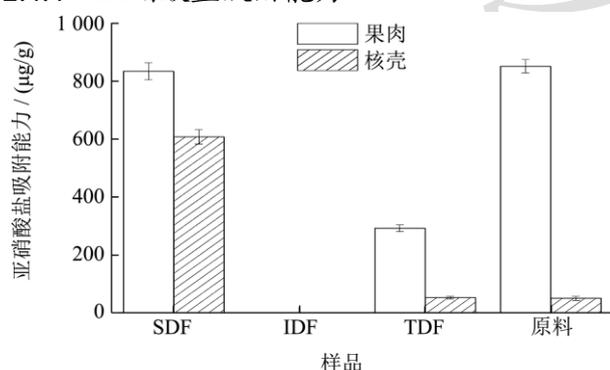


图 6 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维对亚硝酸盐的吸附能力

Fig.6 Nitrite adsorption capacity of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

膳食纤维可以吸附食品中的亚硝酸盐, 从而降低亚硝酸盐带来的健康风险<sup>[29]</sup>。由图 6 可知, 油橄榄果肉和核壳提取的 IDF 均没有亚硝酸盐吸附能力, 由此推断油橄榄膳食纤维能够吸附亚硝酸盐主要是其中的 SDF 的作用。油橄榄果肉膳食纤维对亚硝酸盐的吸附特性强于油橄榄核壳膳食纤维, 其中吸附能力最强的是油橄榄果肉 SDF, 达到 834.57 μg/g, 高于枣中膳食纤维 (约 517 μg/g, 碱法提取)<sup>[30]</sup>。油橄榄核壳 TDF 的亚硝酸盐吸附能力略高于其原料, 说明膳食纤维是

油橄榄核壳原料中吸附亚硝酸盐的主要物质之一。油橄榄果肉原料的亚硝酸盐吸附能力优于其它三类膳食纤维, 达到最高 (851.85 μg/g)。前期探索实验中发现油橄榄果肉原料中具有含量丰富的多酚 (32.77 mg/g), 而植物多酚通常具有良好的亚硝酸盐清除效果<sup>[31]</sup>, 这也可以作为后续利用油橄榄多酚和油橄榄膳食纤维联合作用清除亚硝酸盐提供研究思路。

#### 2.5 膳食纤维的微观结构分析

微观结构的差异是导致不同膳食纤维之间功能特性的不同的重要原因, 一般情况下材料的比表面积越大, 越有利于吸附和截留其他物质。从图 7 中可以直观地发现, 在相同的放大倍数 (1 000 倍) 下, 核壳原料的微观结构致密平滑, 有明显的条状纤维结构, 表面较为完整, 未大量暴露出内部结构; 核壳 TDF 相较于其原料, 质地更加蓬松多孔, 表面出现更多的褶皱, 说明核壳膳食纤维比其原料在微观结构上更具有吸附优势。果肉 TDF 具有较小的片状结构, 表面较为光滑; 果肉原料更加蓬松, 空间折叠度大, 褶皱和空腔更多, 与果肉 TDF 相比在吸附能力上更具有结构优势。

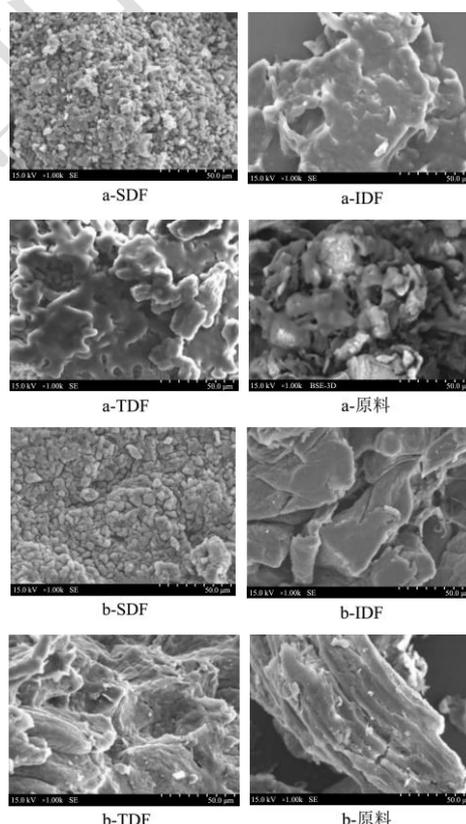


图 7 油橄榄果肉和油橄榄核壳中膳食纤维的微观结构

Fig.7 Scanning electron microscope images of dietary fiber in olive pulp and olive core-shell

注: a 为油橄榄果肉; b 为油橄榄核壳。

在前述实验结果中, 果肉原料对于葡萄糖、胆固

醇和亚硝酸盐的吸附能力优于果肉 TDF, 与微观结构分析结果符合, 干燥方式可能是造成该现象的重要原因。鲜油橄榄果肉水分含量较高, 在原料干燥处理时使用的是冷冻干燥, 能更好地保留油橄榄果肉原有的结构, 制得的粉末失水后质地蓬松多孔, 而制备膳食纤维粗提物时使用的是真空干燥, 使得微观结构较于油橄榄果肉原料更加致密、平整。油橄榄果肉原料这种蓬松多孔的结构可以更好地吸附和结合其他物质。Liu 等<sup>[32]</sup>的研究结果也认为, 不同干燥方式对柑橘膳食纤维的吸附性能有影响, 其中冻干处理的膳食纤维其吸附性最强。而油橄榄核壳本身水分含量较低, 采用冷冻干燥或真空干燥对其空间结构影响不大, 所以没有表现出类似油橄榄果肉原料吸附性能高于其膳食纤维提取物的情况。这也为不同膳食纤维原料如何选取合适的干燥方式提供了参考。

在同一原料的 SDF 与 IDF 之间, SDF 的表面颗粒感强, 表面凹凸不平, 有较多的孔洞、褶皱和空腔, 分布非常密集; IDF 分子比较大, 多呈片状结构, 表面较为平滑, 空腔和褶皱较大较少, 比表面积较于 SDF 更小, 这可能是油橄榄果中 SDF 比 IDF 的功能特性更强的原因之一。

### 3 结论

脱水脱脂后的油橄榄果肉和核壳中含有丰富的膳食纤维, 质量分数分别达到 79.28 g/100 g 和 86.13 g/100 g, 其中油橄榄核壳膳食纤维绝大多数为 IDF。两种原料经碱液提取总膳食纤维得率也较高, 分别达到 81.13% 和 90.17%。

通过对提取得到的六种膳食纤维样品和两种原料的功能特性进行研究, 6 种膳食纤维样品的功能特性差异显著。整体而言, 果肉 SDF 的功能特性最优。果肉膳食纤维的功能特性整体强于核壳膳食纤维; SDF 整体强于 IDF; 核壳 TDF 相较其原料更优; 果肉原料相较其 TDF 更优。

扫描电镜结果显示, SDF 颗粒小, 褶皱和空腔多, IDF 较为平滑致密; 核壳原料处理成 TDF 后更加粗糙, 而果肉原料较于果肉 TDF 更加蓬松多孔, 而这可能是原料性质和干燥方式不同造成的。油橄榄膳食纤维微观结构与其对葡萄糖、胆固醇和亚硝酸盐的吸附能力基本吻合。

综上所述, 油橄榄果肉和油橄榄核壳是较为优质的膳食纤维来源, 并且具有良好的功能特性。本研究可为油橄榄果的精细化分类利用、油橄榄膳食纤维的应用、相关保健食品开发以及油橄榄资源综合利用奠定理论基础。

### 参考文献

- [1] Mudgil D, Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 61: 1-6.
- [2] 陈亚非, 赵谋明. 水溶性与水不溶性膳食纤维对油脂、胆固醇和胆酸钠吸附作用研究[J]. *现代食品科技*, 2005, 3: 58-60.
- [3] Meng X, Liu F, Xiao Y, et al. Alterations in physicochemical and functional properties of buckwheat straw insoluble dietary fiber by alkaline hydrogen peroxide treatment [J]. *Food Chemistry: X*, 2019, 3: 100029.
- [4] 郝琴. 油橄榄果渣综合利用及减量化的实验研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2020.
- [5] 邓煜. 中国油橄榄产业创新驱动发展的现状、趋势和对策[J]. *经济林研究*, 2018, 36(2): 1-6.
- [6] Charis M G. Olive fruit dietary fiber: components, recovery and applications [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2010, 22(4): 175-184.
- [7] 丁莎莎, 黄立新, 张彩虹, 等. 油橄榄果渣水溶性膳食纤维的组成成分和功能特性分析[J]. *林产化学与工业*, 2017, 37(6): 110-116.
- [8] 丁莎莎, 黄立新, 张彩虹, 等. 油橄榄果渣水不溶性膳食纤维结构表征及体外吸附性能研究[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(3): 108-112.
- [9] Speroni C S, Bender A B B, Stiebe J, et al. Granulometric fractionation and micronization: A process for increasing soluble dietary fiber content and improving technological and functional properties of olive pomace [J]. *LWT*, 2020, 130: 109526.
- [10] 丁莎莎, 黄立新, 张彩虹, 等. 油橄榄果渣膳食纤维碱法提取工艺优化及其理化性质研究[J]. *林产化学与工业*, 2017, 37(1): 116-122.
- [11] Jiang G, Bai X, Wu Z, et al. Modification of ginseng insoluble dietary fiber through alkaline hydrogen peroxide treatment and its impact on structure, physicochemical and functional properties [J]. *LWT*, 2021, 150: 111956.
- [12] Ninomiya K, Ina S, Nakamura H, et al. Evaluation of the amount of glucose adsorbed on water-soluble dietary fibres by the analysis of its diffusion rate through a dialysis membrane [J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 129: 107626.
- [13] Zheng Y, Xu B, Shi P, et al. The influences of acetylation, hydroxypropylation, enzymatic hydrolysis and crosslinking on improved adsorption capacities and *in vitro* hypoglycemic properties of millet bran dietary fibre [J]. *Food Chemistry*,

- 2022, 368: 130883.
- [14] 胡国华,黄绍华.米糠膳食纤维对胆酸钠吸附作用的研究[J].中国食品添加剂,2001,2:10-12.
- [15] Zheng Y, Wang X, Tian H, et al. Effect of four modification methods on adsorption capacities and *in vitro* hypoglycemic properties of millet bran dietary fibre [J]. Food Research International, 2021, 147: 110565.
- [16] 张智,宋伟,闫建英,等.油茶粕膳食纤维的超声辅助酶法提取工艺优化及理化性质分析[J].食品工业科技,2022,43(18): 162-169.
- [17] 李杨,胡淼,孙禹凡,等.提取方式对大豆膳食纤维理化及功能特性的影响[J].食品科学,2018,39(21):18-24.
- [18] Li M, Liu Y, Yang G, et al. Microstructure, physicochemical properties, and adsorption capacity of deoiled red raspberry pomace and its total dietary fiber [J]. LWT, 2022, 153: 112478.
- [19] 李丽,李庆龙,常宪辉.小麦膳食纤维持水/膨胀力及吸附特性的研究[J].粮食加工,2008,5:14-16.
- [20] 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.
- [21] Song L, Qi J, Liao J, et al. Enzymatic and enzyme-physical modification of citrus fiber by xylanase and planetary ball milling treatment [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 121: 107015.
- [22] Ye F, Tao B, Liu J, et al. Effect of micronization on the physicochemical properties of insoluble dietary fiber from citrus (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) pomace [J]. Food Science and Technology International, 2016, 22(3): 246-255.
- [23] Yafeng Z, Qi W, Juqing H, et al. Hypoglycemic effect of dietary fibers from bamboo shoot shell: An *in vitro* and *in vivo* study [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 127: 120-126.
- [24] 林良美.笋壳活性膳食纤维的提取及降糖降脂功能特性研究[D].福州:福建农林大学,2016.
- [25] 王子义,薛森,杨立娜.大豆种皮多糖对胆汁酸吸附作用的分子对接和动力学研究[C]//中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集,2022:196.DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.001882.
- [26] 王红,刘婷婷,樊红秀,等.挤压改性对金针菇膳食纤维理化性质及微观结构的影响[J].中国食品学报,2021,21(8):166-174.
- [27] Wu W, Hu J, Gao H, et al. The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics [J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127372.
- [28] 陈贵婷,胡坦,徐阳,等.柑橘膳食纤维理化性质、生理功能及其在食品中的应用[J].食品科学,2022,43(23):336-345.
- [29] Song P, Wu L, Guan W. Dietary nitrates, nitrites, and nitrosamines intake and the risk of gastric cancer: A meta-analysis [J]. Nutrients, 2015, 7(12): 9872-9895.
- [30] 梁志宏,尹蓉,张倩茹,等.提取方式对枣膳食纤维理化及功能特性的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(19):132-137.
- [31] Difonzo G, Totaro M P, Caponio F, et al. Olive leaf extract (OLE) addition as tool to reduce nitrate and nitrite in ripened sausages [J]. Foods, 2022, 11(3): 451.
- [32] Liu Y, Fan C, Tian M, et al. Effect of drying methods on physicochemical properties and *in vitro* hypoglycemic effects of orange peel dietary fiber [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(6): e13292.