

荔枝果渣不溶性膳食纤维的结构、体外抗氧化及降血糖活性评价

李依娜^{1,2}, 余元善^{1*}, 胡腾根¹, 李璐¹, 吴继军¹, 肖更生³, 邹波¹, 卜智斌¹

(¹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 广州 510610

²华南农业大学食品学院 广州 510642

³仲恺农业工程学院轻工食品学院 广州 510631)

摘要 为研究不同提取方法对荔枝果渣不溶性膳食纤维(IDF)的理化、结构及功能特性的影响,通过酶解、超声波、高压热水和高静水压 4 种方法制备荔枝果渣 IDF,利用激光粒度仪、高效液相色谱等仪器分析荔枝果渣 IDF 的粒径、单糖组成等理化结构特性,并探究荔枝果渣 IDF 体外抗氧化和降血糖能力。结果表明:酶法提取的荔枝果渣 IDF 平均粒径最小为(11.88±1.19) μm,酶法和超声波法提取的荔枝果渣 IDF 含有更多的鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖。各纤维样品均存在典型的纤维素多糖特征吸收峰和纤维素 I 型结构,其微观结构存在差异。功能性质表明,高压热水法提取的荔枝果渣 IDF 总酚含量高达(13.23±0.32) mg GAE/g,对 DPPH 和 ABTS 自由基清除效果最为显著。高压热水法和高静水压法提取的荔枝果渣 IDF 表现出最强的 α-葡萄糖苷酶抑制活性。超声波法提取的荔枝果渣 IDF 的葡萄糖束缚能力和葡萄糖透析延迟能力均显著高于其它样品。结论:荔枝果渣 IDF 具有潜在的抗氧化和降血糖活性,可作为功能性产品的良好来源。
关键词 荔枝果渣; 不溶性膳食纤维; 单糖组成; 抗氧化; 降血糖

文章编号 1009-7848(2023)10-0195-11 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.10.020

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)为热带亚热带常绿乔木植物的果实,含有多种营养和促进健康的生物活性成分,如多酚、膳食纤维、有机酸、氨基酸和维生素等,具有抗氧化、抗肿瘤、降血脂和免疫调节等功效^[1]。据报道,荔枝加工过程中产生的皮渣副产物占全果的 40%~50%^[2],这些加工副产物比整个果实含有更高的膳食纤维含量和酚类含量,具有广泛的生理活性和潜在应用价值^[3-4]。荔枝果渣在实际生产中的利用程度不高,常被直接丢弃或填埋,少部分用作饲料或堆肥^[5]。

膳食纤维(Dietary fiber, DF)是指天然存在于食物中的可食用碳水化合物或人造碳水化合物的聚合物,能抗人体小肠消化吸收,在大肠中可以部分或全部发酵^[6]。根据其溶解性可分为可溶性膳食纤维(Soluble dietary fiber, SDF)和不溶性膳食纤维

(Insoluble dietary fiber, IDF),其中 IDF 在天然纤维中占比约为 2/3~3/4^[7]。进入食品市场的膳食纤维主要来自水果、蔬菜、坚果和谷物,可通过物理、酶和化学法从食物原料中获得^[8]。相关研究发现,膳食纤维可通过降低餐后血糖水平和餐前胆固醇水平,运输酚类化合物,促进结肠发酵,增加粪便量等机制显著改善人体健康,其独特的生理作用在很大程度上取决于食物来源、提取方法、化学成分和结构,不同的提取方法会影响膳食纤维的理化性质、结构组成,进而对其功能特性产生影响^[9-10]。

目前对于荔枝果渣膳食纤维的研究主要是提取工艺及理化性质的测定^[11],而不同提取方法制备的荔枝果渣膳食纤维的结构组成及功能性质差异鲜有报道。鉴于此,本试验采用纤维素酶、超声波、高压热水、高静水压 4 种方法制备荔枝果渣 IDF,比较不同提取方法对荔枝果渣 IDF 的单糖组成、结构性质及体外功能特性的影响,为评估荔枝果渣 IDF 作为功能性食品原料提供理论依据,从而实现荔枝加工副产物的高值化利用。

收稿日期: 2022-10-22

基金项目: 岭南现代农业科学与技术广东省实验室茂名分中心专项(2011ZD008);广东省农业科学院团队建设和人才培养专项(202109TD, R2020PY-JG009)

第一作者: 李依娜,女,硕士生

通信作者: 余元善 E-mail: yuyuanshan2016@qq.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

荔枝(怀枝)果渣,由广州顺昌源绿色食品有限公司提供,采用发酵法进行脱糖预处理^[12]。 α -淀粉酶(2 000 U/mL)、2,2'-联氮-双(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(DPPH)、1-苯基-3-甲基-5-吡啶啉酮(PMP),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;中性蛋白酶(100 U/mg)、单糖标准品(色谱纯),上海源叶生物科技有限公司;纤维素酶(700 EGU/g),诺维信(中国)生物技术有限公司;其它试剂均为国产分析纯级。

1.2 仪器与设备

FDU-2110型冷冻干燥机,上海爱朗仪器有限公司;Infinite M200pro型酶标仪,奥地利TECAN公司;LC-20A型高效液相色谱(HPLC),日本岛津公司;D3024R型高速离心机,美国赛洛捷克公司;YXQ-LS-50S型立式蒸汽灭菌锅,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;JY88-II型超声波细胞粉碎机,宁波新芝生物科技股份有限公司;SHPP-57DZM-600型高静压设备,山西力德福科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 荔枝果渣 IDF 的提取 脱糖荔枝果渣与水以1:20(m/V)的料液比混合,调节pH值为6.0,在95℃下加入100 U/g α -高温淀粉酶反应30 min,冷却后调节pH值至7.0,加入500 U/g中性蛋白酶,于55℃酶解1.5 h,反应结束后沸水浴灭酶10 min。纤维素酶提取法是在50℃下加入50 μ L/g纤维素酶水浴振荡3 h,煮沸10 min灭酶;超声波提取法是在超声波细胞粉碎机中以250 W处理20 min;高压热水提取法是在高压蒸汽灭菌锅内(121℃,0.2 MPa)高温、高压处理30 min;高静水压提取法是在超高压容腔内以400 MPa压力条件保压处理15 min。将经过纤维素酶、超声波、高压热水和高静水压处理的混合物离心,收集沉淀,冷冻干燥,所得荔枝果渣 IDF 分别命名为 EIDF、UIDF、HIDF 和 PIDF。

1.3.2 色差的测定 采用色差仪(反射模式)对4个荔枝果渣 IDF_s 样品的色泽进行标度(L^* =暗/光, a^* =红/绿, b^* =黄/蓝),色彩饱和度 C^* 按式(1)计算。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

1.3.3 粒径分布的测定 采用激光粒度仪测定样品的粒度分布情况,通过软件分析得到累计粒度分布百分数分别达到10%、50%、90%时所对应的粒径参数(D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90}),以及粒度分布的平均粒径 D_{av} 和比表面积(S/V),粉体粒径 R 按式(2)计算。

$$R = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (2)$$

1.3.4 单糖组成分析 参考周廖强等^[13]的方法,使用PMP柱前衍生化HPLC法分析4个荔枝果渣 IDF_s 的单糖组成。色谱分离条件:以磷酸钠缓冲液(0.05 mol/L, pH 6.85)-乙腈(87:17, V:V)为流动相,流速1 mL/min,等度洗脱60 min,紫外检测波长250 nm。

1.3.5 结构特性分析

1.3.5.1 傅里叶红外光谱(FTIR)分析 称取5 mg待测样品与100 mg溴化钾在研磨钵中充分研磨混合,置于压片机中进行压片处理,用傅里叶红外光谱仪于4 000~400 cm^{-1} 范围扫描,分辨率4 cm^{-1} 。

1.3.5.2 X射线衍射(XRD)分析 将待测样品压片后采用X射线衍射仪测定。检测条件:靶型Cu靶,电压40 kV,电流30 mA,扫描区域(2θ) $5^\circ \sim 50^\circ$,扫描速度 $4^\circ/\text{min}$ 。

1.3.5.3 扫描电子显微镜(SEM)分析 将待测样品置于双面胶带上并喷涂薄金层,在20 kV电压下通过扫描电镜进行微观结构观察。

1.3.6 体外抗氧化活性测定 参考钟俸亭等^[14]的方法并稍作修改。样品处理:称取1.0 g待测样品,加入30 mL 70%乙醇溶液,混合后置于超声波清洗槽中超声处理30 min,离心,收集上清液,沉淀在相同条件下重复提取至上清液基本无色,合并所有上清液,旋干乙醇,定容50 mL,备用。

1.3.6.1 总酚含量测定 采用福林酚法,以没食子酸为标准品绘制标准曲线,样品的总多酚含量以每克干基中所含没食子酸(GAE)的质量(mg GAE/g)表示。

1.3.6.2 DPPH 自由基清除率测定 配制1,2,4,6,8,10 mg/mL的样品稀释液。参照Zhang等^[15]方法并稍作修改。取50 μ L待测样品溶液与150 μ L 0.2 mmol/L DPPH溶液混合后,室温避光反应

30 min,同时以 VC 为阳性对照,在波长 517 nm 处用酶标仪测定吸光度。DPPH 自由基清除率按式 (3) 计算,当清除率达 50%所对应的样品浓度用 EC_{50} 值表示(mg/mL)。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = \left(\frac{\text{空白对照的吸光值} - \text{样品的吸光值}}{\text{空白对照的吸光值}} \right) \times 100 \quad (3)$$

1.3.6.3 ABTS 自由基清除率测定 参照 Garzón 等^[16]方法并稍作修改,取 20 μL 不同浓度的待测样品溶液加入 200 μL ABTS 溶液,室温避光反应 10 min,在波长 734 nm 处用酶标仪测定吸光度,VC 为阳性对照,ABTS 自由基清除率按式 (4) 计算,当清除率达到 50%所对应的样品浓度用 EC_{50} 值表示(mg/mL)。

$$\text{ABTS 自由基清除率}(\%) = \left(\frac{\text{空白对照的吸光值} - \text{样品的吸光值}}{\text{空白对照的吸光值}} \right) \times 100 \quad (4)$$

1.3.7 体外降血糖活性测定

1.3.7.1 α -葡萄糖苷酶抑制率测定 样品处理同 1.3.6 节,配制 0.25,0.5,1,2,4,6 mg/mL 的样品稀释液,参照 Apostolidis 等^[17]的方法测定 α -葡萄糖苷酶的抑制率,以阿卡波糖为阳性对照,结果用抑制率(%)表示,当抑制率达到 50%时所对应的浓度用 IC_{50} 值(mg/mL)表示。

1.3.7.2 葡萄糖束缚能力测定 参考官印珑等^[18]的方法并稍作修改,称取 0.5 g 待测样品加到 25 mL 100 mmol/L 葡萄糖溶液中,混匀后置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴振荡 3 h,离心,取上清用 DNS 法测定其中的葡萄糖含量。葡萄糖束缚能力以每克膳食纤维样品吸收的葡萄糖物质的量($\mu\text{mol/g}$)来表示。

1.3.7.3 葡萄糖透析延迟指数测定 参考官印珑等^[18]的方法,称取 0.2 g 待测样品加入 10 mL 100 mmol/L 的葡萄糖溶液中,将混合物装入透析袋中,置于盛有 100 mL 蒸馏水的烧杯中,37 $^{\circ}\text{C}$ 振荡透析,分别在 30,60,90 min 时用 DNS 法测定透析液中的葡萄糖含量。葡萄糖透析延迟指数按式 (5) 计算。

$$\text{葡萄糖透析延迟指数}(\%) = \left(1 - \frac{\text{样品组透析液中的葡萄糖含量}}{\text{对照组透析液中的葡萄糖含量}} \right) \times 100 \quad (5)$$

1.4 数据统计与分析

所有试验均重复 3 次,使用 Excel 2010 软件

和 SPSS 23.0 软件进行数据统计分析,结果以“平均值 \pm 标准偏差”表示。采用单因素 ANOVA 方差分析进行 Duncan's 检验, $P < 0.05$ 表示差异显著,使用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 荔枝果渣 IDF 的理化性质

2.1.1 荔枝果渣 IDF 的色泽 在食品加工中,物料的色泽会显著影响成品的物化指标,进而影响消费者对产品的接受度。由图 1 可看出,纤维素酶提取、超声波提取、高静水压提取的荔枝果渣 IDF 样品为浅褐色、褐色粉末颗粒,而高压热水提取的荔枝果渣 IDF 为红褐色粉末颗粒。由表 1 可看出,不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 样品间色差值均有不同程度的变化,其中 EIDF 的亮度最高 (63.26 ± 0.75),UIDF 和 EIDF 的色彩饱和度无显著性差异,PIDF 的黄度最高 (12.50 ± 0.33),而 HIDF 的亮度最低 (52.50 ± 0.85),红度 (8.24 ± 0.28) 显著高于其它样品。不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 色度有显著性差异,说明不同加工处理条件影响荔枝果渣 IDF 的色泽。色泽加深可能是高温、高压以及荔枝果渣本身特有性质造成的。

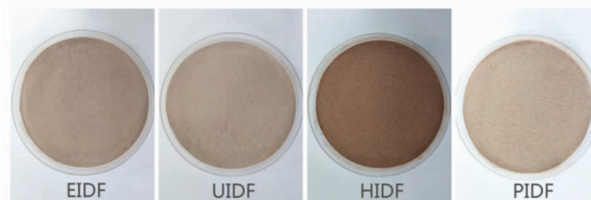


图 1 不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 外观形态
Fig.1 Appearance of litchi pomace IDF prepared by different extraction methods

2.1.2 荔枝果渣 IDF 的粒径分布比较 粒径大小和比表面积在一定程度上反映粉粒在食品体系中的分散性和溶解性,并影响其内部活性基团的暴露和营养活性成分的释放^[19]。由表 2 可知,各荔枝果渣纤维样品的平均粒径在 (11.88~55.14) μm ,各样品的粒径分布存在显著性差异,这可能是不同提取方法导致纤维物料颗粒的内部结构发生程度不一的破裂和膨化。EIDF 的平均粒径 [(11.88 \pm 1.19) μm] 显著小于其它样品,比表面积最大 (0.61 ± 0.06) m^2/cm^3 ;UIDF 的平均粒径 [(36.63 \pm

0.33) μm]和比表面积[(0.20 \pm 0.01) m^2/cm^3]次之。UIDF的径距显著高于另外3个样品,为(2.61 \pm 0.04) μm ,说明超声波细胞粉碎法制备的荔枝果渣IDF的粒径分布最宽。类似的研究显示,米糠IDF^[20]和胡萝卜渣IDF^[21]分别经超微粉碎后,其粒径相应减小,径距有所增加。4个荔枝果渣纤维样

品的径距分布范围1.69~2.61 μm ,径距均大于1,表明不同提取方法制备的荔枝果渣IDFs粉粒为非对称分布,大颗粒的数量多于小颗粒的数量。膳食纤维的粒径越小,比表面积越大,有利于增加其内部活性基团的暴露,提高其水合性质及吸附能力^[22]。

表1 EIDF、UIDF、HIDF和PIDF的色差比较

Table 1 Comparison of colour differences between EIDF, UIDF, HIDF and PIDF

样品	亮度 L^*	红度 a^*	黄度 b^*	色彩饱和度 C^*
EIDF	63.26 \pm 0.75 ^a	5.69 \pm 0.26 ^c	11.46 \pm 0.52 ^b	12.79 \pm 0.58 ^b
UIDF	59.27 \pm 0.77 ^c	5.54 \pm 0.33 ^c	10.95 \pm 0.08 ^b	12.28 \pm 0.20 ^b
HIDF	52.50 \pm 0.85 ^d	8.24 \pm 0.28 ^a	11.15 \pm 0.53 ^b	13.87 \pm 0.57 ^a
PIDF	61.44 \pm 0.47 ^b	6.37 \pm 0.24 ^b	12.50 \pm 0.33 ^a	14.03 \pm 0.41 ^a

注:同一列不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

表2 EIDF、UIDF、HIDF和PIDF的粒径分布

Table 2 Particle size distribution of IDF, UIDF, HIDF and PIDF

样品	$D_{10}/\mu\text{m}$	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$	$D_{av}/\mu\text{m}$	$S/V/\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$	$R/\mu\text{m}$
EIDF	3.71 \pm 0.33 ^d	9.97 \pm 1.11 ^d	22.61 \pm 2.18 ^d	11.88 \pm 1.19 ^d	0.61 \pm 0.06 ^a	1.90 \pm 0.03 ^b
UIDF	7.08 \pm 0.10 ^c	27.96 \pm 0.47 ^c	80.16 \pm 0.27 ^c	36.63 \pm 0.33 ^c	0.20 \pm 0.01 ^b	2.61 \pm 0.04 ^a
HIDF	15.04 \pm 0.23 ^a	46.18 \pm 0.57 ^b	93.03 \pm 0.70 ^b	50.84 \pm 0.51 ^b	0.14 \pm 0.01 ^c	1.69 \pm 0.01 ^d
PIDF	13.18 \pm 0.30 ^b	51.07 \pm 0.41 ^a	102.38 \pm 0.75 ^a	55.14 \pm 0.32 ^a	0.13 \pm 0.02 ^c	1.75 \pm 0.01 ^c

注:同一列不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

2.1.3 荔枝果渣IDF的单糖组成 从表3可以看出,不同提取方法制备的荔枝果渣IDF均检出甘露糖、核糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和岩藻糖共9种单糖组成,各纤维样品单糖组成类型相同,含量存在差异。阿拉伯

糖、葡萄糖、甘露糖、木糖和半乳糖是荔枝果渣IDF的主要中性单糖,其中EIDF和UIDF的鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖含量显著高于其它两种IDF样品,其原因可能是在酶和超声的作用下,荔枝果渣细胞壁中的纤维素水

表3 EIDF、UIDF、HIDF和PIDF的单糖组成及含量

Table 3 Monosaccharide composition and content of EIDF, UIDF, HIDF and PIDF

单糖组成	不同提取方法制备的荔枝果渣IDFs单糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$			
	EIDF	UIDF	HIDF	PIDF
甘露糖	35.82 \pm 1.58 ^{Bab}	38.61 \pm 0.29 ^{Ba}	24.88 \pm 2.45 ^{Bc}	33.38 \pm 3.55 ^{Bb}
核糖	2.03 \pm 0.02 ^{Ea}	2.21 \pm 0.15 ^{Fa}	1.21 \pm 0.09 ^{Ec}	1.63 \pm 0.13 ^{Eb}
鼠李糖	14.66 \pm 0.56 ^{Da}	15.61 \pm 1.17 ^{Ea}	7.04 \pm 0.45 ^{Dc}	12.28 \pm 0.53 ^{Db}
半乳糖醛酸	18.94 \pm 0.62 ^{Ca}	16.81 \pm 0.98 ^{Ea}	9.35 \pm 0.88 ^{Dc}	10.36 \pm 2.39 ^{Dc}
葡萄糖	35.49 \pm 1.17 ^{Ba}	36.89 \pm 0.66 ^{Ba}	27.71 \pm 2.01 ^{Bc}	31.45 \pm 0.60 ^{Bb}
半乳糖	21.98 \pm 0.57 ^{Cb}	25.79 \pm 0.61 ^{Da}	15.80 \pm 0.72 ^{Cd}	19.91 \pm 0.87 ^{Cc}
木糖	21.96 \pm 2.78 ^{Cb}	28.93 \pm 0.88 ^{Ca}	20.07 \pm 0.67 ^{Cb}	22.06 \pm 0.22 ^{Cb}
阿拉伯糖	109.61 \pm 3.16 ^{Ab}	117.51 \pm 2.75 ^{Aa}	51.80 \pm 4.47 ^{Ad}	97.85 \pm 1.02 ^{Ac}
岩藻糖	1.98 \pm 0.12 ^{Ebc}	2.89 \pm 0.14 ^{Fa}	1.67 \pm 0.15 ^{Ec}	2.30 \pm 0.10 ^{Eb}

注:同一列不同大写字母表示样品各单糖组成含量有显著性差异($P<0.05$),同一行不同小写字母表示不同样品间同一单糖含量有显著性差异($P<0.05$)。

解断裂、纤维分子间的氢键受到机械破坏,进而影响其单糖组成^[23]。各单糖组成中,荔枝果渣 IDF 的阿拉伯糖含量最高,EIDF、UIDF、HIDF、PIDF 的阿拉伯糖含量范围在 51.80~117.51 mg/g,其阿拉伯糖含量分别占其总单糖含量的 41.84%,41.13%,32.45%,42.36%。据 Hao 等^[24]的研究,阿拉伯糖是一种无热量的糖,可显著降低高糖、高脂饮食诱导的大鼠的体质量、Lee's 指数和脏器指数,改善糖脂异常和炎症反应等代谢综合征。综上,荔枝果渣 IDF 可能对人体健康有积极的作用。

2.2 荔枝果渣 IDF 的结构特性

由图 2a 可看出,各纤维样品在 400~4 000 cm^{-1} 范围有相似的光谱分布,相应波长上的特征吸收峰强度大致相同。3 450 cm^{-1} 附近的吸收峰是游离-OH 基团与氢键缔合而产生的伸缩振动,不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 在此处均出现宽而强的吸收带,表明其分子结构存在较多缔合状态的氢键;2 930 cm^{-1} 和 2 854 cm^{-1} 处的弱吸收峰是由甲基、亚甲基上 C-H 伸缩振动引起的,表明荔枝果渣 IDF 具有纤维素多糖的典型结构特征;1 740 cm^{-1} 和 1 640 cm^{-1} 处是 C=O 和 -COOH 的伸

缩振动所产生的吸收峰,说明荔枝果渣 IDF 均含有糖醛酸^[25];1 525 cm^{-1} 附近的吸收峰是苯环特征吸收峰,表明荔枝果渣 IDF 中含有木质素;1 441, 1 049 cm^{-1} 处出现的两个吸收峰分别对应纤维素和半纤维素中的 CH_2 基团变形振动、C=O 基团伸缩振动^[26]。XRD 分析结果如图 2b 所示,4 个荔枝果渣 IDF 样品在扫描角度 2θ 为 $5^\circ\sim 50^\circ$ 范围呈现弥散衍射,在 2θ 为 21.3° 处均出现一个强衍射峰,该处对应纤维素晶体的 002 晶面,表明荔枝果渣 IDF 具有典型的纤维素 I 型结构,由结晶区和无定形区组成^[27]。由图 2c 可看出,所有荔枝果渣 IDF 样品的超微结构表面粗糙,EIDF 表面带有较多的孔洞和褶皱,并附着少些球形小颗粒;UIDF 整体结构疏松,呈膨化状,表面存在较多的纤维束;HIDF 呈不规则的块状分布,表面凹凸不平,带有粗糙的凹陷;PIDF 表面的孔隙较大,沟壑和凹槽多且深。这些变化表明纤维素酶解、超声波、高压热水和高静水压处理改变了荔枝果渣膳食纤维的内部结构,其粗糙松散的结构有利于形成更大的比表面积,使内部的活性基团更多地暴露在纤维表面,进而对其生理功能产生影响^[28]。

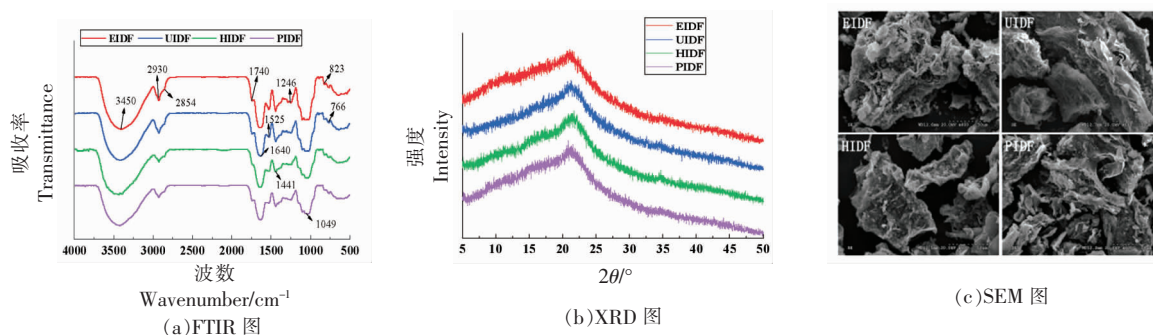


图 2 不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 的结构分析图

Fig.2 Structural analysis diagram of litchi pomace IDF prepared by different extraction methods

2.3 荔枝果渣 IDF 的体外抗氧化活性

2.3.1 总酚含量

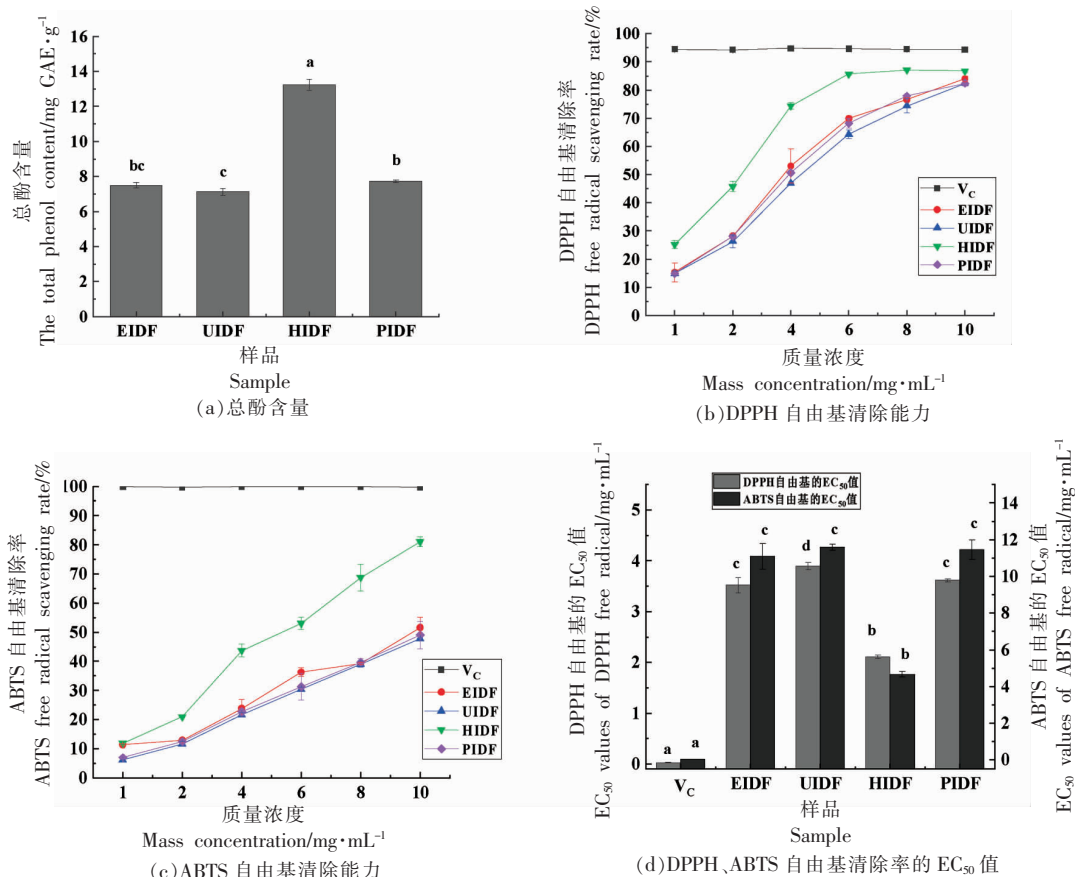
荔枝含有丰富的纤维素、葡聚糖、多酚类、黄酮类等生物活性物质,这些生物活性物质是天然抗氧化剂,具有较强的清除自由基能力,可保护机体免受自由基攻击而导致的酶失活、脂质过氧化和蛋白质损伤等^[29-30]。由图 3a 可知,从荔枝果渣中提取的 IDF 富含酚类物质,各纤维样品 (EIDF、UIDF、HIDF 和 PIDF) 的总酚含量

依次为 (7.50 ± 0.15) , (7.12 ± 0.18) , (13.23 ± 0.32) mg GAE/g 和 (7.73 ± 0.08) mg GAE/g,高于其它报道的番茄果皮纤维^[31] (1.58 mg GAE/g) 和米糠膳食纤维 (2.10 mg GAE/g)^[32] 的总酚含量。HIDF 的总酚含量显著高于其它 3 种 IDF,这种差异可能归因于高温、高压条件下荔枝果渣 IDF 的组织结构受到破坏,促使嵌入纤维基质中的酚类物质释放。相关研究显示,荔枝汁经 121°C 高温热处理后,其

酚类物质含量呈现显著性提高^[33],与本试验结果一致。

2.3.2 自由基清除能力 DPPH法和ABTS法是目前最常用的自由基清除测定方法,被广泛用于测定物质的抗氧化能力。抗氧化物质可与DPPH或ABTS自由基结合而使反应体系褪色,通过检测反应体系在特定波长下的吸光值间接反应该物质的抗氧化能力^[34]。图3b和图3c分别显示不同质量浓度的荔枝果渣IDF对DPPH、ABTS自由基清除率的影响。可以看出不同提取方法制备的荔枝果渣IDF样品对DPPH、ABTS自由基均有一定的清除作用,清除效果弱于VC,呈现明显的剂量依赖性。随着荔枝果渣IDFs溶液质量浓度的增加,各样品的自由基清除率呈上升趋势,对DPPH自由基清除率范围在(14.82±0.65)%~(83.99±0.97)%之间,对ABTS自由基清除率范围在(6.11±0.09)%~(81.06±1.62)%之间,与葵花粕

IDF的DPPH、ABTS自由基清除率的变化趋势类似^[28]。此外,在不同浓度下,HIDF的自由基清除率显著高于其它3个样品,与图3a中的总酚含量结果相对应,说明HIDF表现出较强的抗氧化作用可能与其酚类物质含量有关。由图3d可看出,HIDF的DPPH、ABTS自由基清除率EC₅₀值显著低于其它纤维样品,分别为(2.11±0.04)mg/mL和(4.67±0.14)mg/mL,EIDF和PIDF的DPPH、ABTS自由基清除率EC₅₀值则无显著性差异。EC₅₀值越小,样品对于自由基的清除能力越强。Liu等^[35]研究发现冷冻干燥后东奎杨梅果肉提取物的DPPH、ABTS自由基清除率EC₅₀值分别为(5.42±0.13)mg/mL和(3.53±0.05)mg/mL。种俸亭等^[14]报道百香果皮不可溶纤维提取物的EC₅₀值分别为(172.0±0.55)mg/mL和(169.4±0.33)mg/mL。相较之下荔枝果渣IDF的EC₅₀值较低,具有较好的抗氧化能力。



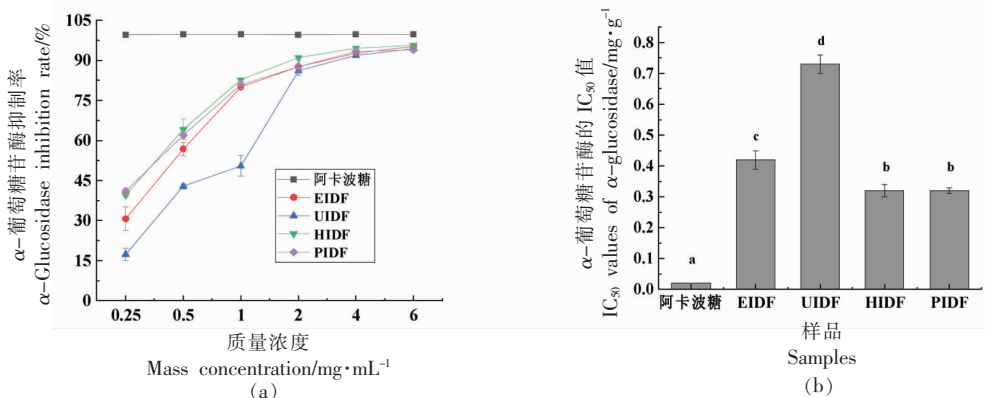
注:图 a、图 d 中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 3 不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 的体外抗氧化活性

Fig.3 Antioxidant activity *in vitro* of litchi pomace IDF prepared by different extraction methods

2.4 荔枝果渣 IDF 的体外降血糖活性

2.4.1 α -葡萄糖苷酶抑制活性 有研究表明,高碳水化合物饮食会导致餐后高血糖反应, α -葡萄糖苷酶抑制剂可通过抑制机体内 α -葡萄糖苷酶的活性而减缓碳水化合物消化为可吸收的单糖,被认为是控制餐后血糖水平升高的有效治疗方式之一^[36]。由图 4a 可知,对照阿卡波糖在 0.25~6 mg/mL 范围对 α -葡萄糖苷酶抑制率维持在 95% 以上。各纤维样品(EIDF、UIDF、HIDF 和 PIDF)质量浓度为 0.25 mg/mL 时,对 α -葡萄糖苷酶抑制率分别为 (30.67±4.39)%、(17.32±2.34)%、(39.49±0.37)%、(40.94±1.14)%。随着样品质量浓度的增加,各样品对 α -葡萄糖苷酶抑制率提高,表现出



注:图 b 中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 4 不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 的 α -葡萄糖苷酶抑制活性 (a) 和半抑制浓度 (IC_{50}) (b)

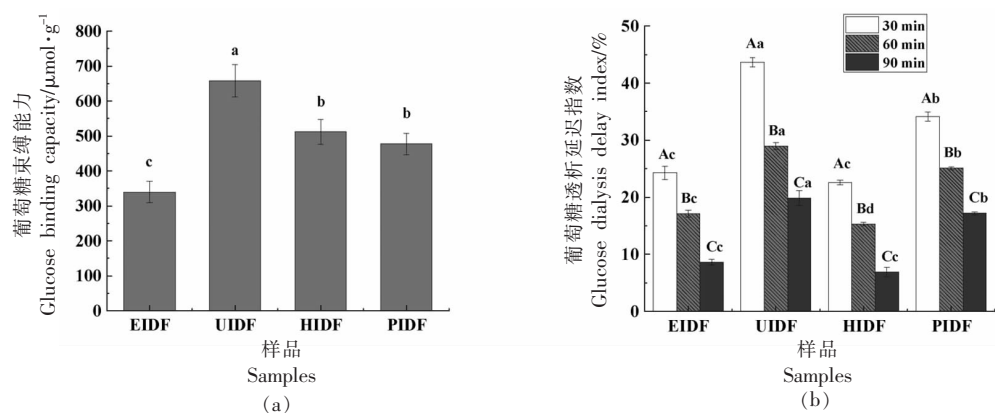
Fig.4 α -Glucosidase inhibitory activity (a) and semi-inhibitory concentration (IC_{50}) (b) of litchi pomace IDF prepared by different extraction methods

2.4.2 葡萄糖束缚能力和葡萄糖透析延迟能力

膳食纤维可有效束缚小肠内的葡萄糖,延迟葡萄糖在胃肠道的吸收,从而达到降低血糖的作用^[39]。膳食纤维的吸附能力与其化学结构、内在结构和表面性质等有关^[40]。由图 5a 可看出,在 100 mmol/L 葡萄糖溶液中,不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 均表现出一定的葡萄糖束缚能力,其中 UIDF 的葡萄糖束缚能力显著高于其它 3 个荔枝果渣 IDF,达到 $(657.96\pm 46.37)\mu\text{mol/g}$,HIDF 和 PIDF 的葡萄糖束缚能力无显著性差异。据其它报道,猕猴桃渣膳食纤维^[41]、小麦 IDF^[39]、川秋葵微粉^[42]在 100 mmol/L 葡萄糖溶液中葡萄糖束缚能力分别为 813.60,555.60,369.06 $\mu\text{mol/g}$,可见膳食纤维的葡萄糖束缚能力同时受不同食物来源的影响。葡萄

明显的剂量-效应关系。在样品质量浓度为 4 mg/mL 时,各纤维样品对 α -葡萄糖苷酶抑制率均在 90% 以上。由图 4b 可知,阿卡波糖的半抑制浓度 (IC_{50}) 最低,其次是 HIDF (0.32 ± 0.02) mg/mL 和 PIDF (0.32 ± 0.01) mg/mL, EIDF 的半抑制浓度 (IC_{50}) 为 (0.42 ± 0.03) mg/mL,显著低于林良美^[37]报道的笋壳 IDF 的 IC_{50} 值 (0.517 mg/mL)。 IC_{50} 值越低,该物质的 α -葡萄糖苷酶抑制活性越强。阿卡波糖是生物合成药物,有一定的副作用^[38],而荔枝果渣 IDF 来源于植物性食物,对 α -葡萄糖苷酶呈现积极的抑制效果,具有作为食品体系中 α -葡萄糖苷酶抑制剂成分的潜力。

糖透析延迟指数可用于表征荔枝果渣 IDF 延迟葡萄糖扩散的能力,样品的葡萄糖透析延迟指数越大,表明其对餐后血糖的控制效果越好^[14]。图 5b 可看出,不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 对葡萄糖扩散均有抑制作用,在透析时间 30 min 时,荔枝果渣 IDF 的葡萄糖透析延迟指数在 $(22.58\pm 0.40)\%$ ~ $(43.67\pm 0.80)\%$ 之间,之后随着透析时间的延长各荔枝果渣 IDF 样品的葡萄糖透析延迟指数呈显著下降,说明葡萄糖延迟扩散能力随时间的增加而逐渐减弱,这与王彩虹^[43]和官印珑等^[18]的研究结果一致。在同一透析时间,UIDF 的葡萄糖透析延迟指数显著大于其它 3 个荔枝果渣 IDF 样品,这进一步证实 UIDF 对葡萄糖具有较好的吸附能力,与图 5a 中的葡萄糖束缚能力结果一致。



注:图 a 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);图 b 大写字母表示同一样品不同时间的葡萄糖透析延迟指数差异性,小写字母表示不同样品同一时间的葡萄糖透析延迟指数差异性, $P<0.05$ 。

图 5 不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 的葡萄糖束缚能力(a)和葡萄糖透析延迟指数(b)

Fig.5 Glucose binding capacity (a) and glucose dialysis delay index (b) of litchi pomace IDF prepared by different extraction methods

3 结论

本试验通过酶解法、超声波法、高压热水法和高静水压法制备的 4 个荔枝果渣 IDF 平均粒径范围为 11.88~55.14 μm ,主要单糖组成是阿拉伯糖(51.80~117.51) mg/g, 占总单糖组分的 32.45%~42.36%。各纤维样品均存在典型的纤维素多糖特征吸收峰和纤维素 I 型结构,其微观结构粗糙松散。在功能性质方面,4 个荔枝果渣 IDF 总酚含量为(7.12±0.18)~(13.23±0.32) mg GAE/g,对 DPPH 自由基、ABTS 自由基均有较好的清除作用。各纤维样品均有显著的 α -葡萄糖苷酶抑制活性,其 α -葡萄糖苷酶抑制率的半抑制浓度(IC_{50})为(0.32±0.01)~(0.73±0.03)mg/mL,表现出较好的葡萄糖束缚能力和葡萄糖透析延迟能力。不同提取方法制备的荔枝果渣 IDF 的理化结构、抗氧化活性和降血糖活性差异显著,其中高压热水法提取的荔枝果渣 IDF 呈明显的红褐色,其总酚含量及自由基清除率最高,超声波法提取的荔枝果渣 IDF 微观结构呈膨化状,表现出最强的葡萄糖束缚能力和葡萄糖透析延迟能力。综合来看,荔枝果渣 IDF 的理化结构和功能性质受其制备方法的影响,从荔枝果渣中提取的 IDF 均具有较好的体外抗氧化和降血糖能力。这一研究结果可为荔枝果渣的精深加工和植物源功能性食品的开发提供参考。

参 考 文 献

- [1] 徐晨, 罗思玲, 张琰, 等. 荔枝果实的营养成分、生物活性及其综合利用研究进展[J]. 果树学报, 2021, 38(11): 1995-2005.
XU C, LUO S L, ZHANG Y, et al. Advances in research on nutrient components, biological activity and comprehensive utilization of litchi fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11): 1995-2005.
- [2] 郝森林, 余元善, 陈卫东, 等. 地衣芽孢杆菌厌氧发酵对荔枝果渣理化性质的影响[J]. 饲料研究, 2019, 42(1): 97-101.
HAO S L, YU Y S, CHEN W D, et al. Effect of anaerobic fermentation of *Bacillus licheniformis* on physicochemical properties of litchi pomace[J]. Feed Research, 2019, 42(1): 97-101.
- [3] POP C, SUHAROSCHI R, POP O L. Dietary fiber and prebiotic compounds in fruits and vegetables food waste[J]. Sustainability, 2021, 13(13): 7219.
- [4] 张瑜, 方向红. 水果皮渣中膳食纤维提取及应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(22): 7-9.
ZHANG Y, FANG X H. Review on extraction and application of dietary fiber from fruit pomace[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(22): 7-9.
- [5] 邱松山, 周如金, 黄敏, 等. 荔枝深加工过程中荔枝渣综合利用研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(31): 15429-15430.
QIU S S, ZHOU R J, HUANG M, et al. The de-

- velopment and utilization of litchi residue during litchi deep processing[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(31): 15429-15430.
- [6] PERRY J R, YING W. A review of physiological effects of soluble and insoluble dietary fibers[J]. Nutrition & Food Sciences, 2016, 6(2): 1-6.
- [7] 涂凌云, 莫文凤, 刘涛, 等. 果蔬副产品膳食纤维提取工艺及在食品工业应用研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(7): 176-180.
- TU L Y, MO W F, LIU T, et al. Research progress on extraction technology of dietary fiber from fruit and vegetable by-products and its application in food industry[J]. China Condiment, 2021, 46(7): 176-180.
- [8] ELLEUCH M, BEDIGIAN D, ROISEUX O, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review[J]. Food Chemistry, 2010, 124(2): 411-421.
- [9] FULLER S, BECK E, SALMAN H, et al. New horizons for the study of dietary fiber and health: A review[J]. Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands), 2016, 71(1): 1-12.
- [10] OZYURT V H, ÖTLES S. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre [J]. Acta Scientiarum Polonorum: Technologia Alimentaria, 2016, 15(3): 233-245.
- [11] 张钟, 陈翠华. 荔枝渣膳食纤维的提取纯化及物化性质的测定[J]. 农产品加工(学刊), 2014(7): 44-47.
- ZHANG Z, CHEN C H. Extraction, purification technology of litchi dregs dietary fiber and determination of physicochemical properties[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014(7): 44-47.
- [12] 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 Y N, YU Y S, LI L, et al. Comparison of the physicochemical properties of dietary fiber from litchi pomace treated with different desugarization methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 94-103.
- [13] 周彦强, 吴光斌, 陈发河. PMP柱前衍生化 HPLC法测定黄秋葵多糖的单糖组成[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 266-271.
- ZHOU Y Q, WU G B, CHEN F H. Analysis of monosaccharide composition of polysaccharides from okra by pre-column derivatization high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2019, 40(4): 266-271.
- [14] 种俸亭, 黄子珍, 滕建文, 等. 百香果皮体外抑制葡萄糖吸收、抗氧化及调节高血糖大鼠肠道菌群结构的作用[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 193-200.
- CHONG F T, HUANG Z Z, TENG J W, et al. Antioxidant effect of passion fruit peel and its effect on inhibiting glucose absorption *in vitro* and regulating intestinal microflora structure in hyperglycemic rats[J]. Food Science, 2021, 42(5): 193-200.
- [15] ZHANG R, ZENG Q, DENG Y, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in Southern China[J]. Food Chemistry, 2013, 136(3/4): 1169-1176.
- [16] GARZÓN G A, SOTO C Y, LÓPEZ-R M, et al. Phenolic profile, *in vitro* antimicrobial activity and antioxidant capacity of *vaccinium meridionale swartz pomace*[J]. Heliyon, 2020, 6(5): e03845.
- [17] APOSTOLIDIS E, LEE C M. *In vitro* potential of *Ascophyllum nodosum* phenolic antioxidant-mediated alpha-glucosidase and alpha-amylase inhibition [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(3): H97-H102.
- [18] 官印珑, 周丽妍, 王辉, 等. 动态高压微射流对刺梨果渣膳食纤维及其抑制淀粉消化和葡萄糖扩散的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 79-86.
- GUAN Y L, ZHOU L Y, WANG H, et al. The effect of dynamic high pressure microfluidization on the dietary fiber of *Rosa roxburghii* tratt pumace and its inhibiting ability against starch digestion and glucose diffusion[J]. Food Science, 2022, 43(9): 79-86.
- [19] 罗白玲. 超微粉碎对咖啡果皮不溶性膳食纤维加工和功能特性的影响研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- LUO B L. Effect of ultrafine grinding on processing and functional properties of insoluble dietary fiber from coffee peel[D]. Yinchuan: Ningxia university, 2020.
- [20] ZHAO G, ZHANG R, DONG L, et al. Particle size of insoluble dietary fiber from rice bran affects its phenolic profile, bioaccessibility and functional properties[J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 87: 450-456.
- [21] MA S, REN B, DIAO Z, et al. Physicochemical

- properties and intestinal protective effect of ultra-micro ground insoluble dietary fibre from carrot pomace[J]. *Food & Function*, 2016, 7: 3902–3909.
- [22] 王阳, 颜才植, 叶发银, 等. 膳食纤维粉体流动性与其颗粒结构的关系[J]. *食品科学*, 2018, 39(10): 84–88.
WANG Y, YAN C Z, YE F Y, et al. Relationship between flowability and particle structure of dietary fiber Powders[J]. *Food Science*, 2018, 39(10): 84–88.
- [23] WEN Y, NIU M, ZHANG B, et al. Structural characteristics and functional properties of rice bran dietary fiber modified by enzymatic and enzyme-micronization treatments[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2017, 75: 344–351.
- [24] HAO L, LU X, SUN M, et al. Protective effects of L-arabinose in high-carbohydrate, high-fat diet-induced metabolic syndrome in rats[J]. *Food & Nutrition Research*, 2015, 59: 28886.
- [25] LUO X, WANG Q, FANG D, et al. Modification of insoluble dietary fibers from bamboo shoot shell: Structural characterization and functional properties [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 120(Pt B): 1461–1467.
- [26] 谢三都, 陈惠卿, 周春兰, 等. 橄榄渣膳食纤维理化及体外吸附特性及结构表征[J]. *食品与机械*, 2019, 35(10): 29–34.
XIE S D, CHEN H Q, ZHOU C L, et al. Physicochemical and *in vitro* adsorption properties of olive pomace dietary fiber and its structure characterization[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(10): 29–34.
- [27] NGAMWONGLUMLERT L, DEVAHASTIN S, CHIEWCHAN N. Effects of pretreatment and drying methods on molecular structure, functional properties and thermal stability of fibre powder exhibiting colour from *Centella asiatica* L. [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2016, 51(3): 753–764.
- [28] 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 X, PAN L, ZHU P P, 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.
- [29] XU Z, XIONG X, ZENG Q, et al. Alterations in structural and functional properties of insoluble dietary fibers-bound phenolic complexes derived from lychee pulp by alkaline hydrolysis treatment [J]. *LWT*, 2020, 127: 109335.
- [30] PALAFOX-CARLOS H, AYALA-ZAVALA J F, GONZÁLEZ-AGUILAR G A. The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(1): R6–R15.
- [31] INMACULADA N, VERÓNICA G, JAVIER G, et al. Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber[J]. *Food Research International*, 2011, 44(5): 1528–1535.
- [32] 黄冬云. 米糠膳食纤维的酶法改性及功能性质研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2014.
HUANG D Y. Enzymatic modification and functional properties of rice bran dietary fiber[D]. Wuxi: Southwest University, 2014.
- [33] 王丹, 王智能, 董丽红, 等. 灭菌和贮藏温度对荔枝汁中多酚化合物组成、含量及其抗氧化活性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 275–280.
WANG D, WANG Z N, DONG L H, et al. Effect of sterilization and storage temperature on the composition, content and antioxidant activity of polyphenol compounds in lychee juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(11): 275–280.
- [34] 刘玉婷, 李井雷. 多糖体外抗氧化活性研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(6): 214–219.
LIU Y T, LI J L. Advances in research on antioxidant activity of polysaccharides *in vitro*[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(6): 214–219.
- [35] LIU Z, ZHANG J, LU S, et al. Effects of different drying methods on phenolic components and *in vitro* hypoglycemic activities of pulp extracts from two Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) cultivars[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2022, 11(2): 366–373.
- [36] ADISAKWATTANA S, RUENGSAKRAN T, KAMPA P, et al. *In vitro* inhibitory effects of plant-based foods and their combinations on intestinal alpha-glucosidase and pancreatic alpha-amylase [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2012, 12: 110.
- [37] 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.
LIN L M. Extraction, hypoglycemic and hypolipi-

- demic effects of bioactive dietary fiber from bamboo shoot shell[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016.
- [38] SALVATORE T, GIUGLIANO D. Pharmacokinetic-pharmacodynamic relationships of acarbose[J]. Clin Pharmacokinet, 1996,30(2): 94-106.
- [39] OU S, KWOK K, LI Y, et al. *In vitro* study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose[J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(2): 1026-1029.
- [40] LOPEZ G, ROS G, RINCON F, et al. Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(9): 2773-2778.
- [41] 杨远通. 猕猴桃渣膳食纤维改性及其应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- YANG Y T. Modification and application of dietary fiber in Kiwi residue[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2011.
- [42] 辛松林, 徐庆麟, 李昊雯, 等. 川秋葵微粉降血糖活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 168-173.
- XIN S L, XU Q L, LI H W, et al. Study on the hypoglycemic activity of Sichuan okra micropowder [J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 168-173.
- [43] 王彩虹. 竹笋膳食纤维的提取、理化性质及降血脂效果研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- WANG C H. Extraction, physicochemical properties and hypolipidemic effect of dietary fiber from bamboo shoots[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.

Evaluation of the Structure, *in Vitro* Antioxidant and Hypoglycemic Activity of Insoluble Dietary Fiber from Litchi Pomace

Li Yina^{1,2}, Yu Yuanshan^{1*}, Hu Tenggen¹, Li Lu¹, Wu Jijun¹, Xiao Gengsheng³, Zou Bo¹, Bu Zhibin¹

(¹*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*

²*College of Food Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642*

³*College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510631*)

Abstract In order to study the effects of different extraction methods on the physicochemical, structural and functional properties of insoluble dietary fiber (IDF) from litchi pomace, four methods of enzymatic hydrolysis, ultrasound, high-pressure hot water and high hydrostatic pressure were used to prepare IDF from litchi pomace, and the color, particle size, monosaccharide composition and structural properties of IDF from litchi pomace were analyzed by laser particle size meter, high performance liquid chromatography and fourier infrared spectroscopy, and the *in vitro* antioxidant and hypoglycaemic abilities of litchi pomace IDFs were investigated. The results showed that the average particle size of litchi pomace IDF extracted by the enzymatic method was the smallest [(11.88±1.19) μm]. The enzymatic and ultrasonic methods contained more rhamnose, galacturonic acid, glucose, galactose and arabinose. The structural properties showed no significant changes in the characteristic absorption peaks and crystal conformation of the cellulose polysaccharides for each fiber sample, while there were differences in the microstructure. The surface structure of each litchi pomace IDF was rough and loose, with many folds and gaps. Characteristically, the surface morphology of the litchi pomace IDF extracted by the ultrasonic method was puffy, with a high number of fibrous bundles present. The functional properties showed that the total phenolic content of litchi pomace IDF extracted by high-pressure hot water method was up to (13.23±0.32) mg GAE/g, with the most significant effect on the scavenging of DPPH and ABTS radicals. The litchi pomace IDF extracted by high-pressure hot water method and high hydrostatic pressure method showed the strongest α-glucosidase inhibitory activity. The glucose binding ability and the delayed glucose dialysis capacity of the ultrasonic extracted litchi pomace IDF were significantly higher than those of the other samples. In conclusion, litchi pomace IDF has potential antioxidant and hypoglycemic activities and can be a good resource for functional product.

Keywords litchi pomace; insoluble dietary fiber; monosaccharide composition; antioxidant activity; hypoglycemic activity