

高压均质和胶体磨改性对油橄榄果渣水不溶性膳食纤维性能的影响

Effect of high pressure homogenization and colloid mill modification on the physicochemical properties of insoluble dietary fiber from olive pomace

丁莎莎^{1,2,3,4}

黄立新^{1,2,3,4}

张彩虹^{1,2,3,4,5}

DING Sha-sha^{1,2,3,4}

HUANG Li-xin^{1,2,3,4}

ZHANG Cai-hong^{1,2,3,4,5}

谢普军^{1,2,3,4}

邓叶俊^{1,2,3,4}

王晓杰^{1,2,3,4}

XIE Pu-jun^{1,2,3,4}

DENG Ye-jun^{1,2,3,4}

WANG Xiao-jie^{1,2,3,4}

(1. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 江苏 南京 210042; 2. 生物质化学利用国家工程实验室, 江苏 南京 210042; 3. 国家林业局林产化学工程重点开放性实验室, 江苏 南京 210042; 4. 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 江苏 南京 210042; 5. 中国林业科学研究院林业新技术研究所, 北京 100091)

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, Chinese Academy of Forestry, Nanjing, Jiangsu 210042, China;
2. National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization, Nanjing, Jiangsu 210042, China;
3. Key and Open Lab. of Forest Chemical Engineering, State Forestry Administration, Nanjing, Jiangsu 210042, China;
4. Key Lab. of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210042, China;
5. Research Institute of Forestry New Technology, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

摘要:采用高压均质和胶体磨改性处理油橄榄果渣水不溶性膳食纤维(IDF),比较改性前后 IDF 的微观形态、粒径分布、官能团组成及结晶结构,并测定分析其理化性质。结果表明:高压均质 IDF 的结构疏松,有较多的裂缝和空腔,平均粒径为 66.97 μm 。胶体磨 IDF 的结构疏松,且部分出现断裂和破碎,平均粒径为 79.52 μm 。高压均质和胶体磨改性处理均对 IDF 的官能团无影响,都具有糖类的特征吸收峰;对 IDF 的结晶结构和结晶度无影响,仍表现出纤维素 I 型的特征衍射峰。与未处理的 IDF 相比,高压均质 IDF 的持水力、膨胀力和持油力分别提高 31.70%, 78.87%, 38.92%, 对 NO_2^- 的吸附能力并无明显增加,对 Cd^{2+} 的吸附能力提高 7.53%。胶体磨 IDF 的持水力、膨胀力和持油力分别提高 19.93%, 47.94%, 32.97%, 对 NO_2^- 的吸附能力增加 8.20%, 对 Cd^{2+} 的吸附能力并无明显增加。

关键词:油橄榄果渣;水不溶性膳食纤维;高压均质;胶体磨;

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0600800)

作者简介:丁莎莎,女,中国林业科学研究院林产化学工业研究所在读硕士研究生。

通信作者:黄立新(1967—),男,中国林业科学研究院林产化学工业研究所研究员,博士。E-mail: l_x_huang@163.com

收稿日期:2017-05-22

改性

Abstract: Olive pomace IDF were physical modified by high pressure homogenization (HPH) and colloid mill (CM) in this study. Moreover, the micromorphology, particle size distribution, functional groups, crystal structure and physico-chemical properties of IDF before and after the modification were analyzed. HPH group had looser morphology, more cavities and cracks, average particle size of 66.97 μm . CM group had looser morphology, more fracture, average particle size of 79.52 μm . HPH and CM modification didn't affect IDF's functional groups, crystal structure or crystallinity. HPH and CM groups similarly appeared characteristics absorption peaks of sugars similarly, both had cellulose I crystal structure. Compared with unmodified IDF, the water holding capacity, swelling capacity and oil holding capacity of HPH group were increased by 31.70%, 78.87% and 38.92%; the Cd^{2+} adsorption capacity were increased by 7.53%; however, the NO_2^- adsorption capacity showed no increase. Additionally, the water holding and swelling capacities, and oil holding capacity of CM group were increased by 19.93%, 47.94% and 32.97%, and the NO_2^- adsorption capacity were increased by 8.20%; however, the Cd^{2+} adsorption capacity didn't increase.

Keywords: olive pomace; insoluble dietary fiber; high pressure homogenization; colloid mill; modification

膳食纤维作为七大营养素之一,又被称作“肠道清道夫”,具有预防肥胖、促进肠道蠕动、预防肠胃疾病和心血管疾病等生理功能^[1]。水不溶性膳食纤维(Insoluble dietary fiber, IDF)是一类不溶于水的膳食纤维,主要有纤维素、部分半纤维素和木质素等^[2]。通过适当改性手段处理膳食纤维,可以改变部分组成聚合物的化学结构与相对含量,有助于提高膳食纤维的生理功能^[3]。对膳食纤维进行改性,提高膳食纤维的品质和生理功能已成为众多学者深入研究的重点,目前膳食纤维的改性方法主要有化学处理^[4-5]、物理机械处理^[6]和生物改性^[7]等。

高压均质和胶体磨是2种较好的物理改性手段。在高压作用下,物料快速通过高压均质机的均质腔,受到高速剪切、高频振荡、空穴效应对流撞击等机械力作用和相应的热效应,使物料大分子的物理、化学及结构性质发生变化^[8]。胶体磨是一种超微湿粉碎加工设备,物料通过剪切、碾磨、高频振动而被粉碎。黄素雅等^[9]采用高静压和高压均质对豆渣IDF进行改性,2种改性方式均能不同程度地改善膳食纤维的理化性质,提高产品品质。陶妹颖等^[10]采用超微粉碎和挤压超微粉碎技术对葡萄皮渣膳食纤维进行改性处理,均显著地改变了其理化性质如持水力、膨胀力等。张根生等^[11]通过胶体磨对马铃薯渣不溶性膳食纤维进行湿法超微粉碎改性,使其不再具有粗糙的颗粒感,提高其功能特性。

油橄榄果渣是油橄榄鲜果榨油后产生的残渣,目前多被用作饲料、肥料或者直接丢弃,造成了极大的资源浪费和环境污染^[12]。油橄榄果渣IDF中富含纤维素、半纤维素和木质素等多种营养成分,是一种较好的膳食纤维。本研究以油橄榄果渣IDF为原料,分别采用高压均质机和胶体磨对其进行物理改性,并比较改性前后IDF的微观形态、粒径分布、官能团组成及结晶结构,比较其持水力、膨胀力、持油力、体外吸附NO₂⁻和重金属Cd²⁺等功能特性,以期进一步提高油橄榄果渣IDF的功能特性,扩大油橄榄果渣的产业链。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

油橄榄果渣IDF:主要成分为纤维素(50.23%)、半纤维素(13.37%)、木质素(24.46%)、蛋白质(2.18%)和水分(4.92%),参考文献[13]的方法制备;

- 植物油:食用级,山东鲁花集团有限公司;
- 亚硝酸钠:分析纯,南京化学试剂有限公司;
- 盐酸奈乙二胺、对氨基苯磺酸:分析纯,阿拉丁(上海)有限公司;
- 硫酸镉:分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

- 高压均质机:GYB60-6S型,上海东华高压均质机厂;
- 胶体磨:JMS-50型,廊坊市冠通机械有限公司;
- 扫描电子显微镜:3400-I型,日本日立公司;
- 激光粒度分析仪:MS2000E型,英国Malvern公司;

- X射线衍射仪:D8FOCUS型,德国Bruker公司;
- 傅里叶变换红外光谱仪:MAGNA-IR550型,美国Thermo Electron公司;

电感耦合等离子体发射光谱:OPTIMA700型,美国PE公司。

1.2 试验方法

1.2.1 高压均质油橄榄果渣IDF的制备 将油橄榄果渣IDF按1:30(g/mL)的料液比加入水,搅拌均匀,经高压均质机在30 MPa压力下均质8次后,4 000 r/min离心过滤得滤渣,将滤渣在50℃下热风干燥至质量恒定,粉碎过60目筛,所得产品密封贮存于阴凉干燥处以备用。

1.2.2 胶体磨油橄榄果渣IDF的制备 将油橄榄果渣IDF按1:30(g/mL)的料液比加入水,搅拌均匀,经胶体磨粉碎2 h后,4 000 r/min离心过滤得滤渣,将滤渣在50℃下热风干燥至质量恒定,粉碎过60目筛,所得产品密封贮存于阴凉干燥处备用。

1.2.3 微观形态观察 将IDF、高压均质IDF和胶体磨IDF分别经黏台、喷金等步骤后直接于扫描电子显微镜下观察。

1.2.4 粒度分析 以水为分散剂,将IDF、高压均质IDF和胶体磨IDF分别配制成溶液,采用激光粒度分析仪测定3种样品的粒度分布状况及比表面积。

1.2.5 X射线衍射分析 参考文献[13]对IDF样品进行X射线衍射分析。采用Segal法^[14]计算IDF、高压均质IDF和胶体磨IDF的结晶度指数。

1.2.6 红外光谱分析 分别取2 mg干燥IDF、高压均质IDF和胶体磨IDF,各与200 mg干燥KBr粉末研磨均匀后压片。扫描波长范围为4 000~400 cm⁻¹。

1.2.7 持水力、膨胀力及持油力测定 参考文献[15]。

1.2.8 体外吸附NO₂⁻的测定 根据文献[16]修改如下:分别取3个250 mL锥形瓶,各加入100 μmol/L NaNO₂溶液100 mL,调节体系pH为2,取1 mL上清液,测定上清液中NO₂⁻浓度(C₀),分别加入IDF、高压均质IDF和胶体磨IDF各0.50 g,置于37℃、转速120 r/min的摇床中振荡,于1 h后各取1 mL上清液,测定上清液中NO₂⁻浓度(C₁)。采用盐酸萘乙二胺法测定NO₂⁻的浓度。并按式(1)计算样品对NO₂⁻的吸附量。

$$Q=\frac{(C_0-C_1)V}{m},$$

(1)

式中:

- Q——NO₂⁻吸附量,μg/g;
- C₀——初始上清液NO₂⁻浓度,μg/mL;
- C₁——吸附后上清液NO₂⁻浓度,μg/mL;
- V——NaNO₂溶液体积,mL;
- m——样品质量,g。

1.2.9 体外吸附重金属Cd²⁺的测定 根据文献[17]修改如下:分别取3个250 mL锥形瓶,各加入100 mg/L CdSO₄溶液100 mL,调节体系pH为7,取1 mL上清液,测定其Cd²⁺浓度(C₀),分别加入IDF、高压均质IDF和胶体磨IDF各0.50 g,置于37℃、转速120 r/min的摇床中振荡,于2 h后

各取 1 mL 上清液,并测定上清液中 Cd^{2+} 浓度(C_1)。采用电感耦合等离子体发射光谱法测定 Cd^{2+} 浓度。并按式(2)计算 IDF 对 Cd^{2+} 的吸附量。

$$Q=\frac{(C_0-C_1)V}{m}, \tag{2}$$

式中:
 Q —— Cd^{2+} 吸附量,mg/g;
 C_0 ——初始上清液 Cd^{2+} 浓度,mg/L;
 C_1 ——吸附后上清液 Cd^{2+} 浓度,mg/L;
 V ——加入 CdSO_4 溶液体积,L;
 m ——IDF 质量,g。

2 结果与分析

2.1 粒度与微观形态分析

由图 1、2 和表 1 可知,未经改性处理的 IDF 表面粗糙,有少许裂缝和空腔。经高压均质改性处理后 IDF 的结构更加疏松,出现较多的裂缝和空腔,其粒度分布比 IDF 更窄,且平均粒径显著减小,比表面积增大。IDF 在高压均质过程中,受到挤压、剪切和高压释放等机械力作用,使其微观结构发生变化,粒径较小,推测其具有更好的持水力、膨胀力和持油力等理化性质。经过胶体磨改性处理后 IDF 的结构也更加疏松,且部分出现断裂和破碎,其粒度分布也比 IDF 更窄,平均粒径减小,比表面积增大,与 IDF 在胶体磨中受到的高速剪切和高频振动等机械力有关。

2.2 红外光谱分析

由图 3 可知,IDF、高压均质 IDF 和胶体磨 IDF 都具有纤

维素类多糖的特征吸收峰。3 种 IDF 都在 $3\,330\text{ cm}^{-1}$ 处出现 O—H 伸缩振动峰; $2\,898\text{ cm}^{-1}$ 处是 C—H 的伸缩振动峰^[18]; $1\,157\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,027\text{ cm}^{-1}$ 处是纤维素和半纤维素结构中 2 种 C—O 伸缩振动峰^[19]; 896 cm^{-1} 处是由 β -型糖苷键引起的吸收峰^[20]; $1\,592\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,506\text{ cm}^{-1}$ 2 处是苯环的骨架伸缩振动峰, $1\,506\text{ cm}^{-1}$ 处为木质素结构中芳香环的特征振

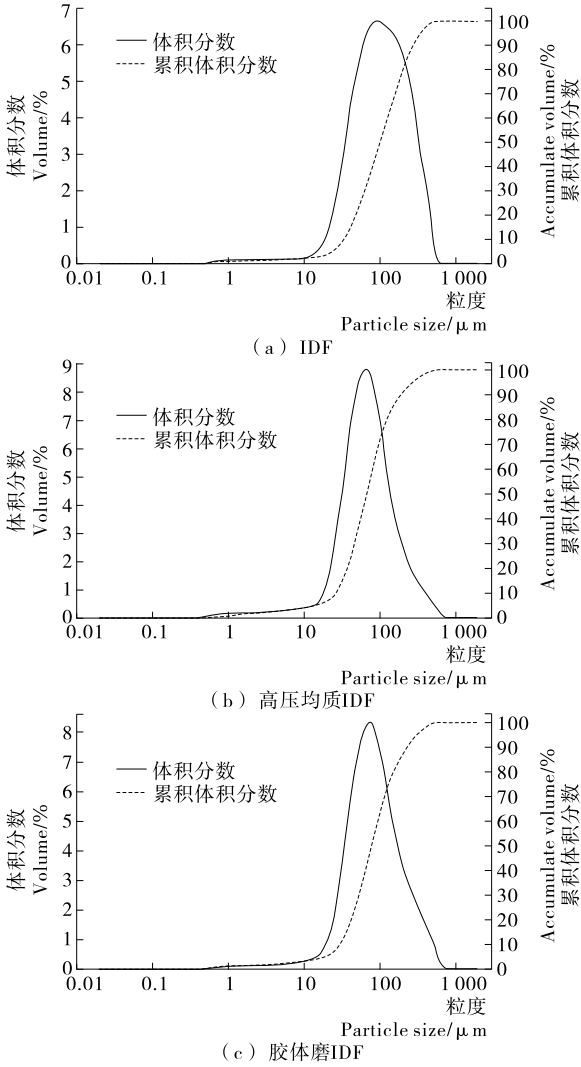


图 2 粒径分布对比

Figure 2 Comparison of particle size distribution

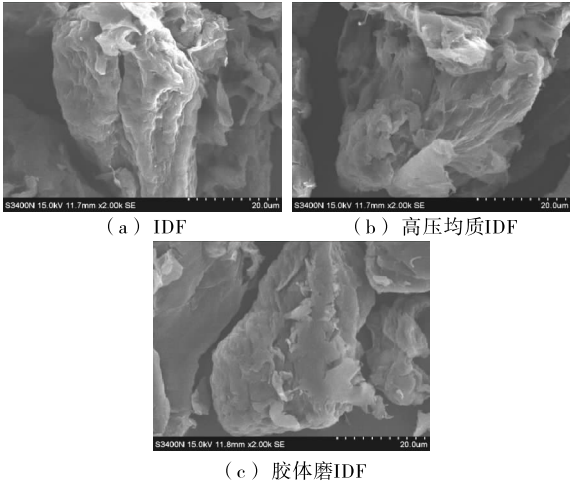
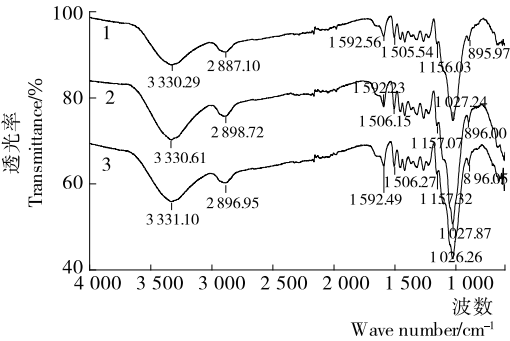


图 1 扫描电镜微观形态对比

Figure 1 Comparison of microstructure by SEM



1. IDF 2. 高压均质 IDF 3. 胶体磨 IDF

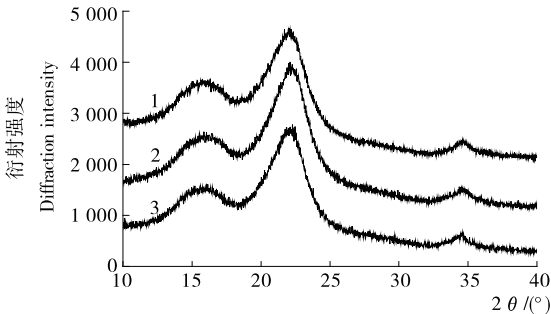
图 3 红外光谱对比图

Figure 3 Contrast diagram of IR spectra

动峰^[21]。IDF、高压均质 IDF 和胶体磨 IDF 的红外光谱峰型位置基本相同,说明高压均质和胶体磨改性处理均对 IDF 的官能团没有影响,IDF 没有产生新的化学基团,仍保持原有的基本化学结构。

2.3 X 射线衍射分析

由图 4 可知,IDF、高压均质 IDF 和胶体磨 IDF 都表现出纤维素 I 型的特征衍射峰,均在同一位置出现 1 个主衍射峰($2\theta=15.7^\circ$)和 2 个次衍射峰($2\theta=15.7^\circ$ 和 $2\theta=34.7^\circ$)。采用 Segal 法计算 IDF、高压均质 IDF 和胶体磨 IDF 的结晶度指数分别为 41.23%,45.35%,43.08%。说明高压均质和胶体磨粉碎改性处理对 IDF 的结晶结构和结晶度并无影响,可能是高压均质和胶体磨改性产生的机械力还不足以对纤维素



1. IDF 2. 高压均质 IDF 3. 胶体磨 IDF

图 4 X 射线衍射对比图

Figure 4 Contrast patterns of X ray diffraction

的晶间连接关系产生明显的影响^[10]。

2.4 改性前后油橄榄果渣 IDF 的功能特性

由表 2 可知,高压均质改性处理对 IDF 的水合性能影响较大,其持水力、膨胀力和持油力分别提高了 31.70%,78.87%,38.92%,可能是高压均质处理使 IDF 原本紧密的结构变得疏松,滞留水分能力增强,也使 IDF 的比表面积增加,暴露更多的亲水基团。胶体磨改性处理的 IDF 的水合性能也有所提高,其持水力、膨胀力和持油力分别提高了 19.93%,47.94%,32.97%,可能是胶体磨处理使 IDF 粒径减小,比表面积增大,其水合性能增强。油橄榄果渣 IDF 持水力的提高,可以增加人体摄入 IDF 后的排便体积和速度,减轻直肠内的压力,使肠道内的外源有毒物质随粪便快速排出体外,从而预防肠道疾病;油橄榄果渣 IDF 膨胀力的提高,可以增加它在肠道产生的容积作用,使人体产生饱腹感,对预防肥胖症十分有利^[22]。

由表 2 可知,高压均质处理的 IDF 对 NO_2^- 的吸附能力与未处理的相当,而胶体磨处理的 IDF 对 NO_2^- 的吸附能力比未处理的增加了 8.20%。高压均质处理的 IDF 对重金属 Cd^{2+} 的吸附能力比未处理的增加了 7.53%,而胶体磨处理的 IDF 对重金属 Cd^{2+} 的吸附能力与未处理的相当。高压均质和胶体磨改性处理在不同程度上提高了 IDF 对 NO_2^- 和重金属 Cd^{2+} 的吸附能力,增强了 IDF 清除肠道外源有毒物质的生理功能。

表 2 油橄榄果渣 IDF 的功能特性[†]

Table 2 Functional characteristics of olive pomace IDF

样品	持水力/($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	膨胀力/($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	持油力/($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	NO_2^- 吸附量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	Cd^{2+} 吸附量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
IDF	3.06 ± 0.19^c	1.94 ± 0.24^c	1.85 ± 0.07^b	341.67 ± 8.08^b	9.70 ± 0.53^b
高压均质 IDF	4.03 ± 0.11^a	3.47 ± 0.31^a	2.57 ± 0.07^a	346.30 ± 16.17^b	10.43 ± 0.15^a
胶体磨 IDF	3.67 ± 0.10^b	2.87 ± 0.31^b	2.46 ± 0.04^a	369.67 ± 8.08^a	9.77 ± 0.15^b

[†] 不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

3 结论

(1) 高压均质改性处理后 IDF 的结构更加疏松,出现较多的裂缝和空腔,其粒度分布比 IDF 更窄,且平均粒径显著减小(为 $66.97 \mu\text{m}$),比表面积增大。经过胶体磨改性处理后 IDF 的结构也更加疏松,且部分出现断裂和破碎,其粒度分布也比 IDF 更窄,平均粒径减小(为 $79.52 \mu\text{m}$),比表面积增大。

(2) 高压均质和胶体磨改性处理均对 IDF 的官能团没有影响,仍保持原有的基本化学结构。高压均质和胶体磨改性处理对 IDF 的结晶结构和结晶度并无影响,都表现出纤维素 I 型的特征衍射峰,

(3) 高压均质改性处理对 IDF 的水合性能影响较大,与未处理的 IDF 相比,其持水力、膨胀力和持油力分别提高了 31.70%,78.87%,38.92%,对 NO_2^- 的吸附能力并无明显增加,对重金属 Cd^{2+} 的吸附能力提高了 7.53%。胶体磨改性处理的 IDF 的水合性能也有所提高,与未处理的 IDF 相比,

其持水力、膨胀力和持油力分别提高了 19.93%,47.94%,32.97%,对 NO_2^- 的吸附能力增加了 8.20%,对重金属 Cd^{2+} 的吸附能力并无明显增加。高压均质和胶体磨处理均是一种较好的物理改性方式,不会破坏 IDF 的化学结构和结晶结构,提高了 IDF 的理化性质和生理功能。

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] 王俊丽, 臧明夏. 膳食纤维改性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(5): 225-228.

[3] 李雁, 熊明洲, 尹丛林, 等. 红薯渣不溶性膳食纤维超高压改性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 270-278.

[4] 王强, 赵欣. 不同膳食纤维改性技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 392-395.

Research, 2011, 50(1): 1-12.

[8] 曾泽生, 朱波, 邓姗. 高抗性淀粉苦荞乳饮料制备工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(4): 7-11.

[9] 刘莎莎, 李保国, 郭雯丽, 等. 高抗性淀粉米乳饮料的稳定性研究[J]. 食品与机械, 2013, 38(6): 229-231.

[10] 杨麒. 小麦 RS₃型抗性淀粉的制备及其功能性性质的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2016: 55-62.

[11] LILJEBERG E H. Resistant starch content in a selection of starchy foods on the Swedish market[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2002, 56(6): 500-505.

[12] HU Pei-song, ZHAO Hai-jun, DUAN Zhi-ying, et al. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents [J]. Journal of Cereal Science, 2004, 40(3): 231-237.

[13] 欧阳梦云, 王燕, 赵传文. 超声辅助双酶法制备 RS₃型籼米抗性淀粉工艺参数优化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(23): 176-182.

[14] 张纲, 王静康, 熊晖. 沉淀结晶过程中的添加品种技术[J]. 化学世界, 2002, 43(6): 326-328.

[15] 薛腾, 刘华萍, 王一萌, 等. 以氨水做碱源胶态品种导向法合成小晶粒 TS-1 分子筛[J]. 催化学报, 2015, 36(11): 1 928-1 935.

[16] 张海燕, 杨承广, 孟祥举, 等. 无有机模板条件下品种导向合成微孔分子筛晶体材料[J]. 化学学报, 2012, 70(23): 2 387-2 392.

[17] 陈艳红, 李春义, 杨朝合. 晶种法合成 ZSM-5 分子筛规律的研究[J]. 石油炼制与化工, 2013, 44(11): 24-28.

[18] LIAN Xi-jun, LIU Li-zeng, GUO Jun-jie, et al. Screening of seeds prepared from retrograded potato starch to increase retro-

gradation rate of maize starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 60(6): 181-185.

[19] 孟宪昉, 刘立增, 郭俊杰, 等. 草酸侵蚀马铃薯回生淀粉制备品种促进玉米淀粉回生的研究[J]. 食品工业科技, 2016(3): 131-148.

[20] 吴仲, 刘晓玲, 王刚, 等. 压热-酶法制备泽泻抗性淀粉的工艺[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 19-23.

[21] 吴红引, 王泽南, 张效荣, 等. 微波辅助酶法制备碎米抗性淀粉的工艺研究[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 203-205.

[22] 雷俊华, 郑琳, 武俊超, 等. 湿热处理制备豌豆抗性淀粉及其性质的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 149-152.

[23] 唐雪娟, 刘丽斌, 黄继红, 等. 压热法结合反复冻融制备小麦抗性淀粉及其理化性质研究[J]. 现代食品科技, 2013(3): 519-522.

[24] 李斌, 范丽. 香沙芋抗性淀粉的制备及其物理性质的研究[J]. 食品工业, 2015(11): 78-82.

[25] 张燕鹏, 庄坤, 丁文平, 等. 豌豆淀粉与马铃薯淀粉、玉米淀粉理化性质比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 183-186.

[26] 章丽琳, 曾希珂, 张喻, 等. 马铃薯抗性淀粉理化性质的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(7): 117-122.

[27] 陈翠兰, 张本山, 陈福泉. 淀粉结晶度计算的新方法[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 68-71.

[28] MANFUL J T, GRIMM C C, GAYIN J, et al. Effect of Variable Parboiling on Crystallinity of Rice Samples [J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(1): 92-95.

[29] 陈云超, 刘倩芬, 黄赣辉. 抗性淀粉的体外消化及结构变化的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(15): 115-118.

[30] 余世锋, 郑喜群. 大米 RS₃型抗性淀粉的影响因素及形成机制的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 431-435.

(上接第 13 页)

[5] 杨明华, 太周伟, 俞政全, 等. 膳食纤维改性技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 207-210.

[6] 杨远通, 钟海雁, 潘曼, 等. 超微粉碎对猕猴桃渣膳食纤维功能性质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 11-14, 18.

[7] 王文侠, 张慧君, 宋春丽, 等. 纤维素酶法制备高活性大豆膳食纤维工艺的研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 118-122.

[8] 张晶, 丁芳, 邹晴晴, 等. 高压均质对大米蛋白功能特性及物化特性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 9-12.

[9] 黄素雅, 何亚雯, 钱炳俊, 等. 高静压和高压均质对豆渣水不溶性膳食纤维改性及其功能的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 81-85.

[10] 陶姝颖, 郭晓晖, 令博, 等. 改性葡萄皮渣膳食纤维的理化性质和结构[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 171-177.

[11] 张根生, 葛英亮, 聂志强, 等. 马铃薯渣不溶性膳食纤维超微粉碎改性工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 186-189.

[12] KOLOKASSIDOU K, SZYMCAK M, WOLF M, et al. Hydrophilic olive cake extracts: Characterization by physicochemical properties and Cu (II) complexation [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 164(2/3): 442-447.

[13] 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.

[14] 马晓娟, 黄六莲, 陈礼辉, 等. 纤维素结晶度的测定方法[J]. 造纸科学与技术, 2012, 31(2): 75-78.

[15] 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.

[16] 徐灵芝, 黄亮, 李璐, 等. 雷竹笋渣及其膳食纤维的物化特性分析[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 122-126.

[17] 胡小军, 梁洁贞, 曾玉带. 水浮莲膳食纤维对 Pb²⁺、Cd²⁺、Cr²⁺ 吸附作用的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 103-105.

[18] PARK K H, LEE K Y, LEE H G. Chemical composition and physicochemical properties of barley dietary fiber by chemical modification[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 60(6): 360-365.

[19] 涂宗财, 段邓乐, 王辉, 等. 豆渣膳食纤维的结构表征及其抗氧化性研究[J]. 中国粮油学报, 2016(6): 22-26.

[20] 张剑韵, 包立军, 梁进, 等. 桑叶多糖的分离及红外光谱和气相色谱分析[J]. 桑叶科学, 2007, 33(4): 549-552.

[21] 马光路, 吕建波, 曹青. 玉米秸秆中木质素、半纤维素和纤维素的组分分离研究[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(6): 70-79.

[22] 申瑞玲, 王英. 膳食纤维的改性及其对功能特性的影响[J]. 农产品加工, 2009(3): 17-20.