

核桃粕膳食纤维提取、结构分析及粒度差异对其理化性质的影响

耿舒雯,张有林*,张润光,阮晓慧,何鑫,金子纯
(陕西师范大学食品工程与营养科学学院,陕西西安 710119)

摘要:采用化学法从脱脂核桃粕中提取膳食纤维,研究5种不同粒度条件下(<40、40~60、60~80、80~120、120~160、>160目)核桃粕膳食纤维在持水力、膨胀性、吸油性、粘度、阳离子吸附力、葡萄糖阻滞力等理化性质方面的差异,以期核桃粕膳食纤维的综合利用提供理论依据。结果显示,化学法提取的核桃粕膳食纤维得率为12.47%,膳食纤维含量为76.34%,蛋白质含量为5.41%;红外光谱扫描结果显示,核桃粕膳食纤维在3420 cm⁻¹处具有明显的纤维素特征吸收峰,表明核桃粕膳食纤维结构基本未受到破坏。不同粒度范围的核桃粕膳食纤维持水力、膨胀性和粘度均有显著差异。其中,粒度在120~160目之间时,核桃粕膳食纤维持水力最好,为7.76 g·g⁻¹;粒度在80~120目之间时,核桃粕膳食纤维膨胀值和粘度最大,分别为5.28 mL·g⁻¹、21.25 mPa·s。核桃粕膳食纤维持油力(OAC值)随粒度减小呈增加趋势,当粒度>160目时核桃粕膳食纤维OAC值达到1.92 g·g⁻¹。此外,当核桃粕膳食纤维粒度为120~160目时,葡萄糖阻滞力最强,粒度为80~120目时,阳离子吸附能力最强。综合而言,核桃粕膳食纤维粒度在80~160目之间时,具备最佳的理化特性。

关键词:核桃粕,膳食纤维,粒度,理化性质,葡萄糖阻滞力,阳离子吸附力

Extraction, structural analysis of walnut dietary fibers and effects of particles on its physiochemical properties

GENG Shu-wen, ZHANG You-lin*, ZHANG Run-guang, RUAN Xiao-hui, HE Xin, JIN Zi-chun

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: To provide basis and reference for the utilization of walnut dietary fibers, walnut dietary fibers were extracted using chemical extraction methods and the physiochemical properties of five fibers with different particles sizes, including below 40 mesh, 40~60 mesh, 60~80 mesh, 80~120 mesh, 120~160 mesh and beyond 160 mesh, were also investigated. Results suggested that the yield of walnut dietary fibers, composing mainly of 76.34% of dietary fibers and 5.41% of protein, was 12.47%. Infrared spectroscopy scanning pictures indicated that walnut dietary fibers had remark absorbance at 3420 cm⁻¹, suggesting fiber structure had not been destructed. The significant differences of water-keeping capability, swelling capability and viscosity were observed during determining physiochemical properties of five dietary fibers with varying particle sizes. The best water-keeping capability, 7.76 g·g⁻¹, was observed in walnut dietary fibers with 120~160 mesh, and the best swelling capability and viscosity, 5.28 mL·g⁻¹, 21.25 mPa·s, respectively, both were observed in dietary fibers with 80~120 mesh. However, walnut dietary fibers size over 160 mesh had the best oil-keeping capability, with 1.92 g·g⁻¹. In addition, absorption capability of glucose was optimum at the particles 120 to 160 mesh, cation absorptin capability peaked at the particle range of 80 to 120 mesh. Overall, walnut dietary fibers with the particle size of 80~160 mesh had the optimum physiochemical properties.

Key words: deoiled walnut; dietary fibers; particle sizes; physiochemical properties; absorption capability of glucose; absorption capability of cation

中图分类号: TS239

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)18-0050-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.010

膳食纤维对糖尿病、冠心病、肥胖症等疾病具有很好的防御功能^[1-2],因此膳食纤维被列为“第七大营养素”^[3]。优质的膳食纤维具有良好的吸油性、持

水力和膨胀性,表现出良好的加工特性和生理活性^[4]。据统计显示,2013年中国核桃栽培面积已达253.3万公顷,年产量232.5万吨^[5]。近年来中国核

收稿日期: 2017-03-01

作者简介: 耿舒雯(1991-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工及贮藏, E-mail: gsw_1124@163.com。

* 通讯作者: 张有林(1956-),男,博士,教授,研究方向:农产品加工及贮藏, E-mail: youlinzh@snnu.edu.cn。

基金项目: 陕西省农业科技攻关项目(2015NY007);西安市现代农业创新计划项目(NC1317.3);西安市农产品深加工及农业装备技术研究项目(NC1405.2)。

桃栽培面积还在以每年 10% 的速度递增,2020 年有望达到 267 万公顷,年产量预计可达 300 万吨^[6]。但目前大多数核桃加工品仍处于初级加工状态^[5],附加值低,特别是核桃仁榨油后剩余的核桃粕,一般当做饲料廉价出售,利用程度极低。当前国内外对核桃粕的综合利用主要集中于蛋白质方面,关于核桃粕膳食纤维的研究未见报道。本文以核桃粕为原料,采用化学提取法成功提取出高纯度的核桃粕膳食纤维,并研究了不同粒度范围内核桃粕膳食纤维在理化性质和功能特性上的差异,旨在为核桃粕膳食纤维的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

核桃粕 西安市博大维尔生化有限公司;菜籽油 市售精炼菜籽油;氢氧化钠、石油醚、盐酸、葡萄糖、苯酚、溴化钾等 均为分析纯,西安市森博生物试剂公司;溴化钾 光谱纯,国药集团化学试剂有限公司;12000MWCO 透析袋 美国 Sigma 公司。

S-3400N 扫描电子显微镜 日本日立公司; Nicolet Is10 傅里叶变换红外光谱仪 美国赛默飞世尔公司;RVDV-II + Pro 粘度计 美国博利飞公司;FW-200D 高速万能粉碎机 天津鑫博得仪器有限公司;PHS-3C 精密 pH 计 上海精密科学仪器有限公司;T6 新世纪紫外分光光度计 北京普析通用仪器有限公司;GZX-914MBE 数显鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;DC-B 马弗炉 北京科伟永兴仪器公司;Kjeltec 8400 全自动开始定氮仪 瑞典福斯公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理 提取膳食纤维之前,参照 Ma M M^[7] 等方法对核桃粕进行脱脂处理,操作流程如下:将核桃粕充分粉碎后,置于烘箱中干燥至恒重(50 ℃,24 h)。将干燥后的核桃粕过 40 目筛网,进行石油醚脱脂处理(料液比 1:5 g/mL,温度 30 ℃,时间 3 h)。脱脂完成后,抽滤除去石油醚,将滤渣置于 45 ℃烘箱干燥 2 h 以挥发除去多余的石油醚,之后将脱脂核桃粕封存于 PE 袋中备用。

1.2.2 膳食纤维的制备 核桃粕膳食纤维参照 Yeh H Y^[8] 等方法制备。准确称取 100.0 g 脱脂核桃粕干粉,质量记为 m_1 ,加入至 10 倍体积的 NaOH 溶液(1 mol/L)中,玻璃棒搅拌 2 min,使料液充分混匀,55 ℃水浴振荡 4 h 后用 100 目尼龙布过滤,收集滤渣。用去离子水充分洗涤滤渣至中性,之后将滤渣加入至 10 倍体积的 HCl 溶液(1 mol/L)中,室温振荡反应 30 min。100 目尼龙布过滤后,收集滤渣,采用去离子水洗涤滤渣至中性。将滤渣置于烘箱中干燥至恒重(45 ℃,10 h),得到核桃粕膳食纤维提取物,准确称量其质量,记为 m_2 。核桃粕膳食纤维得率按照式(1)进行计算。

$$\text{得率}(\%) = (m_2/m_1) \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.3 核桃粕膳食纤维基本成分测定 分别对脱脂核桃粕及核桃粕膳食纤维提取物中膳食纤维含量、蛋白质含量、灰分含量以及水分含量进行测定。其

中,膳食纤维含量参照 AOAC 酶-重量法^[9] 进行测定;蛋白质含量采用全自动凯氏定氮仪测定;灰分含量及水分含量分别采用 GB/T5009.4-2010 和 GB/T5009.3-2010 规定的方法进行测定。

1.2.4 傅里叶红外光谱扫描 称取 0.002~0.01 g 样品于玛瑙研钵中,加入约 0.1 g 干燥的溴化钾粉末,将两者混合研磨。将混合粉末置于压模器中压成透明的薄片,于傅里叶红外光谱扫描仪中扫描,扫描波长为 400~4000 cm^{-1} 。

1.2.5 核桃粕膳食纤维粒度分级 将上述得到的核桃粕膳食纤维充分粉碎并过筛分级(20~40、40~80、80~120、120~160、>160 目),分别记录不同粒度范围内核桃粕膳食纤维质量,计算不同粒度级别核桃粕膳食纤维所占比例。

1.2.6 核桃粕膳食纤维理化性质测定

1.2.6.1 持水力(WRC) 参考 Sowbhagya H B^[10] 的方法测定。准确称取 0.5 g 样品于离心管中,加入 8 mL 蒸馏水后,室温静置 18 h。之后 3000 r/min 离心 20 min,记录沉淀质量为 m_t ,之后将沉淀置于 105 ℃烘箱中干燥至恒重,此时沉淀质量记为 m_d 。膳食纤维持水力(WRC)按照式(2)给出的公式计算。

$$\text{WRC}(\text{g/g}) = (m_t - m_d)/m \quad \text{式(2)}$$

1.2.6.2 膨胀性(WSC) 按照 Sowbhagya H B^[10] 的方法进行测定。称取约 0.5 g 样品,精确记录质量(m),放入刻度离心管中,轻微振动使样品上平面处于水平状态,记录初始体积 V 。加入 10 mL 蒸馏水,室温下水化 18 h,记录膳食纤维水化后的体积 V 。膨胀性(WSC)按照式(3)进行计算。

$$\text{WSC}(\text{mL/g}) = (V - V_0)/m \quad \text{式(3)}$$

1.2.6.3 持油力(OBC) 参考 Abdul-hamid A^[11] 的方法进行测定。称取大约 0.2 g 样品,精确记录其质量为 m_0 ,放入刻度离心管中,样品与离心管总质量记为 m_1 ,之后加入约 5 mL 精炼菜籽油,振荡离心管,使样品与油液充分混合,室温下静置 18 h。之后将混合液置于高速离心机中 6000 r/min 离心 10 min,滤去上层油层,准确称量下层沉淀和离心管质量之和,记为 m_2 。核桃粕膳食纤维持油力(OBC)按照如下公式计算:

$$\text{OBC}(\text{g/g}) = (m_2 - m_1)/m_0 \quad \text{式(4)}$$

1.2.6.4 核桃粕膳食纤维水溶液粘度 采用粘度计测定,具体操作过程如下:准确称取 1.0 g 样品,加入 19 mL pH 为 7.2 的磷酸钠缓冲液中,充分振荡混合 1 h 后,室温下静置 12 h。之后采用粘度计测定溶液粘度。

1.2.7 核桃粕膳食纤维阳离子吸附力 参考 Qi J 等^[12] 的方法进行测定。称取 1.0 g 核桃粕膳食纤维,加入至 10 mL 刻度试管中,随后加入 5 mL 浓度为 0.1 mol/L 盐酸溶液,充分混合后室温静置 24 h。抽滤除去滤液,收集滤渣,用去离子水反复洗涤滤渣直至洗涤液中不含 Cl。将洗涤干净的滤渣置于恒温干燥箱中干燥至恒重(50 ℃,6 h)。

准确称取干燥后的试样 0.25 g,加入至 100 mL 浓度为 15% (w/v) 的 NaCl 溶液中,磁力搅拌 5 min

表 1 脱脂核桃粕与核桃膳食纤维基本成分

Table 1 Basic compositions of walnut dietary fibers and deoiled walnut residues

	得率(%)	膳食纤维含量(%)	蛋白质含量(%)	灰分含量(%)	水分含量(%)
脱脂核桃粕	—	18.62 ± 1.65 ^a	59.57 ± 0.78 ^a	3.86 ± 0.5425 ^a	5.54 ± 0.53 ^a
核桃粕膳食纤维	12.47 ± 1.87	76.34 ± 3.16 ^b	5.41 ± 0.04 ^b	3.34 ± 0.6154 ^a	7.63 ± 0.65 ^b

注:表中不同小写字母表示样品间存在显著性差异($p < 0.05$)。

后,向混合溶液中加入 0.5 mL 浓度为 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液,立刻搅拌,使溶液混匀,此时记录混合溶液的 pH。重复上述步骤,直至混合溶液 pH 升高值趋于平缓(两次添加 NaOH 溶液间 pH 升高值低于 0.3)。以所用的 NaOH 溶液体积毫升数为横坐标,混合溶液对应的 pH 为纵坐标作图。

1.2.8 核桃粕膳食纤维对葡萄糖阻滞能力测定 核桃粕膳食纤维葡萄糖阻滞力的测定参考 Qi J 等^[12]的方法。将待测样品用无水乙醇充分洗涤,除去小分子糖,之后置于 45 °C 恒温干燥箱中干燥 2 h,使乙醇挥发完全。准确称取 0.2 g 无糖样品,加入 10 mL 浓度为 150 mmol/L 葡萄糖溶液,搅拌 1 h,放入 12000 MWCO 的透析袋中透析 60 min,每隔 10 min 吸取 0.5 mL 透析液,采用苯酚-硫酸法测定透析液中葡萄糖含量。同时,以不加样品(只含有 10 mL 浓度为 150 mmol/L 葡萄糖溶液)作空白对照。

1.2.9 核桃粕膳食纤维微观结构 不同粒度的核桃粕膳食纤维微观结构采用扫描电子显微镜观察,放大倍数为 1000 倍。

1.3 数据统计与分析

上述指标均测定三次,测定结果用 $\bar{X} \pm SD$ 表示。数据统计与分析采用 DPS 软件。数据绘图采用 Excel 2007 和 Origin 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 脱脂核桃粕与核桃膳食纤维基本组成成分分析

首先对脱脂核桃粕及化学法制备的核桃膳食纤维提取物进行了基本成分分析,分析结果见表 1。由表 1 看出,脱脂核桃粕中蛋白质含量最高,为 59.57%,而膳食纤维含量次之,为 18.62%,灰分和水分含量较少。然而,核桃粕膳食纤维中蛋白质含量仅为 5.41%,膳食纤维含量则升高至 76.34%。在得率方面,核桃粕膳食纤维提取得率为 12.47%。此外,核桃粕膳食纤维中水分含量也高于脱脂核桃粕,这可能是由于核桃粕膳食纤维具有较强的持水力,吸收了空气中的水分所致。在灰分含量方面,脱脂核桃粕与核桃膳食纤维无显著差异($p > 0.05$)。

2.2 脱脂核桃粕与核桃膳食纤维红外光谱分析

采用傅里叶红外光谱扫描法对脱脂核桃粕和核桃膳食纤维进行初步结构分析,红外扫描结果见图 1。由图 1 看出,脱脂核桃粕和核桃膳食纤维在 3420 cm^{-1} 处均具有明显的纤维素特征吸收峰,说明两者均含有膳食纤维^[13]。此外,脱脂核桃粕和核桃膳食纤维分别在 2931 cm^{-1} 和 2922 cm^{-1} 处有明显的吸收峰,该峰为 C-H 特征吸收峰^[14]。同时,由图 1(A)看出,脱脂核桃粕在 3600~3200、2933~2922 及 1642~1640 cm^{-1} 都具有明显的吸收峰,这三个峰分

别代表 O-H、C-H 及芳香族化合物的特征吸收峰,三者同时存在,表明脱脂核桃粕中有木质素存在^[15]。图 1(B)显示,核桃粕膳食纤维在 1640 cm^{-1} 处没有吸收峰,说明经化学提取后核桃粕膳食纤维中的木质素被部分分解。核桃粕膳食纤维在 1780~1700 cm^{-1} 处出现明显吸收峰,该峰为羰基的特征吸收峰^[13,15],说明化学法提取膳食纤维的过程中,核桃粕膳食纤维中的纤维素部分水解为半纤维素。

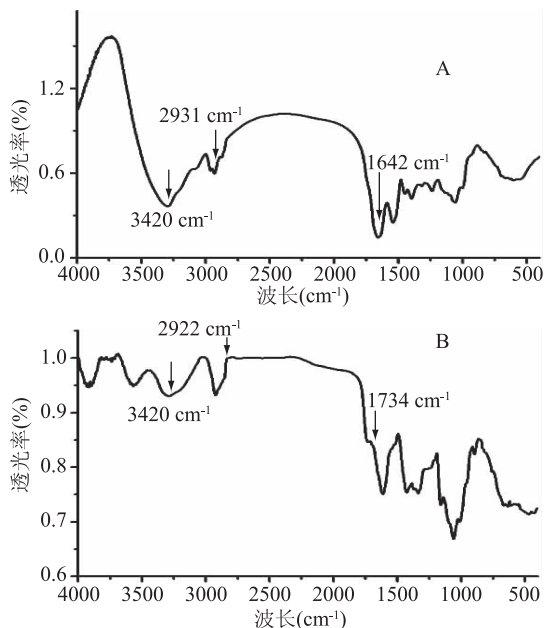


图 1 脱脂核桃粕(A)与核桃膳食纤维(B)红外光谱图
Fig.1 Infrared spectra of deoiled walnut (A) and walnut dietary fibers (B)

2.3 核桃粕膳食纤维粒度分布

膳食纤维粒度大小不仅与物料比表面积、活性基团和纤维糖苷键的数目有关,而且对葡萄糖吸附作用、胆酸吸附作用、水合作用、灌洗结肠作用有重要影响^[16]。一般而言,粒度分布与粉碎速率和剪切应力有关,粉碎速率越大、剪切应力越高,粒度越小^[17]。由图 2 看出,核桃粕膳食纤维粒度主要分布在 60~120 目之间,分布在这一区间内的核桃粕膳食纤维质量占总膳食纤维的 60% 以上。当粒度低于 60 目或高于 120 目时,核桃粕膳食纤维所占比例均迅速降低。

2.4 不同粒度范围核桃粕膳食纤维持水力(WRC)变化

持水力表示在抵抗外力(如离心力)作用下,纤维素将水分束缚住的能力^[7],是膳食纤维的重要质构特性之一。膳食纤维所持水分主要是指结合于纤维素中的水,包括可流动的水和物理吸附的水分^[18]。

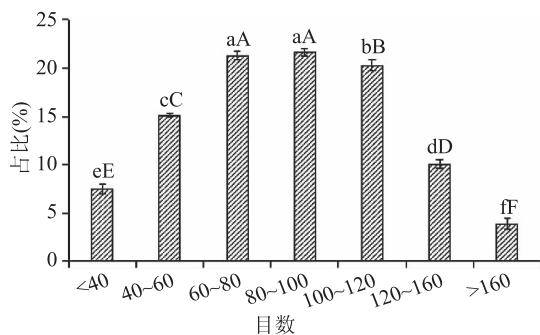


图2 各粒度范围核桃粕膳食纤维比例

Fig.2 Particle size distribution of walnut dietary fibers

注:不同大写字母表示样品间差异极显著($p < 0.01$),不同小写字母表示样品间差异显著($p < 0.05$);图3~图6同。不同粒度范围内核桃粕膳食纤维的持水力见图3。由图3看出,各粒度范围内核桃粕膳食纤维的持水力均显著($p < 0.05$)高于脱脂核桃粕。随着粒度减小(目数增加),核桃粕膳食纤维的持水力呈缓慢上升趋势,当粒度达到120~160目之间时,核桃粕膳食纤维的WRC值达到最大值,为 $7.76 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。当目数大于160目,核桃粕膳食纤维WRC值极显著降低($p < 0.01$)。这可能是因为随着膳食纤维粒度减小,比表面积增加,使得膳食纤维中亲水基团更容易与水分子接触,从而持水力显著增加;然而,当核桃粕膳食纤维粒度进一步降低(> 160 目)时,过度粉碎使得膳食纤维分子链在物理剪切作用下部分断裂,影响了纤维对水的亲和力,因此持水力下降^[15]。

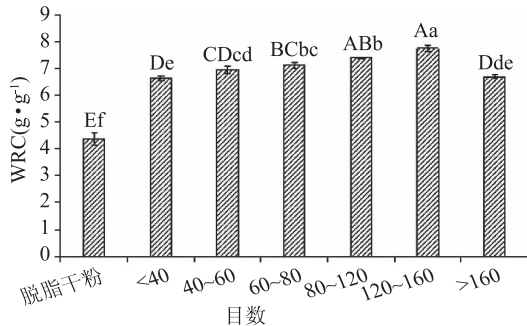


图3 不同粒度范围核桃粕膳食纤维持水力

Fig.3 Water-keeping capacity of

walnut dietary fibers with different particle sizes

2.5 不同粒度范围核桃粕膳食纤维膨胀性(WSC)变化

膨胀性是指膳食纤维吸水膨胀并且状态稳定后,其体积变化与净重之比,是衡量膳食纤维质构与品质特性的另一重要指标。膳食纤维一方面具有表面张力,能将水分束缚在毛细管结构中;另一方面,膳食纤维中的亲水基团可以和水分子形成氢键和偶极结构,因此也能对水分子有明显的束缚作用^[19-20]。

由图4看出,当核桃粕膳食纤维在80~120目时,WSC达到最大值(5.28 mL/g),粒度过大或过小均导致膳食纤维WSC值降低,当核桃粕膳食纤维粒度大于160目时,WSC仅为 $3.18 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$,与脱脂干粉无显著差异($p > 0.05$)。因为膳食纤维粒度与其比表面积大小直接相关^[21],当核桃粕膳食纤维目数由40

目增加至120目时,由于粒度降低,比表面积增大,使得核桃粕膳食纤维能够结合更多的水分子,因此溶胀性显著增加;然而当粒度超过160目时,核桃粕膳食纤维的WSC值极显著降低($p < 0.01$),这可能是因为,粉碎过程中,粒度越小的膳食纤维受到的切应力越大,部分破坏了膳食纤维的连接结构,使得核桃粕膳食纤维分子链受到破坏,对水分子的束缚能力降低,进而影响了该粒度条件下膳食纤维的WSC值^[7]。

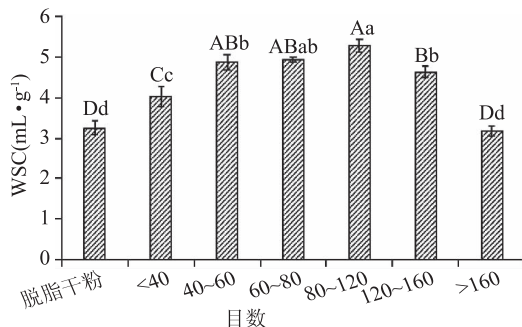


图4 不同粒度范围内核桃粕膳食纤维膨胀性

Fig.4 Water swelling capacity of

walnut dietary fibers with different particle sizes

2.6 不同粒度范围核桃粕膳食纤维持油力(OBC)变化

吸油性是指膳食纤维结合油脂的性质,也是膳食纤维受到人们广泛关注的重要性质之一。当膳食纤维进入人体肠道时,可以吸收肠道内的脂质,减少人体对脂肪的吸收,进而降低人体血清中胆固醇水平,对人体的保健作用十分明显^[21-22]。图5给出了不同粒度范围内核桃粕膳食纤维持油力的变化情况。由图5可知,不同粒度范围内核桃粕膳食纤维的持油力均极显著高于($p < 0.01$)脱脂核桃粕。随着粒度的减小,核桃粕膳食纤维持油力逐渐增加,目数高于160目时,核桃粕膳食纤维的持油力达到最大,为 $1.92 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

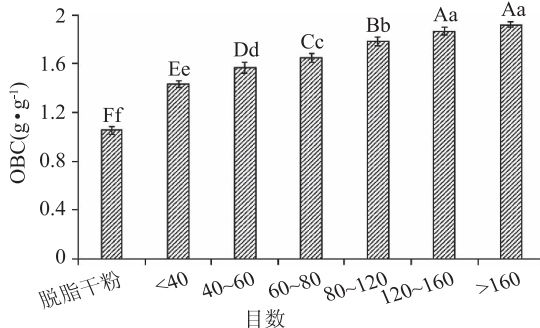


图5 不同粒度范围核桃粕膳食纤维持油力

Fig.5 Oil adsorption capacity of walnut dietary fibers with different particle sizes

通过对比分析核桃粕膳食纤维与其他膳食纤维持油力发现,核桃粕膳食纤维持油力小于小茴香膳食纤维^[7]($6.12 \sim 7.25 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)、米糠膳食纤维^[12]($8.69 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)、苹果渣膳食纤维^[23]($17.14 \sim 31.43 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)以及红松松仁膳食纤维^[24]($40.44 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)。核桃粕膳食纤维在减少人体肠道对油脂吸收方面展现出一定的

潜力。

2.7 不同粒度范围核桃粕膳食纤维溶液粘度变化

核桃粕膳食纤维属于高分子聚合物,其水溶液具有一定粘度。粘度反映液体流动时的溶液体系内部摩擦力的大小,高分子溶液即使在低浓度的条件下也具有相当的粘度^[25]。在同一浓度下,高分子溶液的粘度主要与分子结构(分支化程度)、分子量大小有直接关系。由图6看出,核桃粕膳食纤维水溶液的粘度呈先升高后降低的趋势,在粒度为80~120目时,粘度达到最高,为21.25 mPa·s,极显著高于($p < 0.01$)其他粒度范围内核桃粕膳食纤维水溶液的粘度。当粒度超过120目时,核桃粕膳食纤维水溶液的粘度极显著降低($p < 0.01$),这可能是由于粒度越低的膳食纤维在粉碎时受到的物理剪切作用越大,使得核桃粕膳食纤维分子链部分断裂,因此影响了该粒度条件下核桃粕膳食纤维水溶液的粘度^[26]。

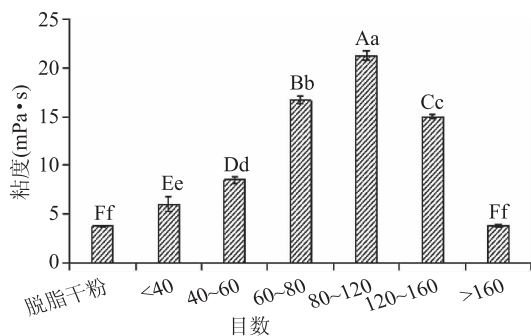


图6 不同粒度范围核桃粕膳食纤维粘度

Fig.6 Viscosity of walnut dietary fiber with different particle sizes

2.8 不同粒度范围核桃粕膳食纤维阳离子吸附力变化

膳食纤维中含有的氨基基团、羟基基团及羧基基团等均能够与 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 等阳离子作用^[27],改变它们的瞬间浓度,从而引起体系 pH、氧化还原电位和渗透压变化,利于体系形成稳定的缓冲环境^[15,28-29]。同时,膳食纤维也具有与 Na^+ 、 K^+ 的交换作用,减少人体消化道对 Na^+ 、 K^+ 的吸收,起到预防心血管疾病的作用。

由图7可以看出,酸化后的核桃粕膳食纤维在浓度很低时(0.25%)其水溶液就显酸性,pH 约为2.2。在此状态下核桃粕膳食纤维中羧基和氨基等基团以质子化状态存在,当添加 NaOH 溶液时,核桃粕膳食纤维质子化的羧基和氨基逐渐解离出 H^+ ,与 OH^- 离子结合,部分中和体系中的 NaOH。随着 NaOH 溶液的不断添加,核桃粕膳食纤维能够释放的 H^+ 逐渐减少,最终使得体系中 pH 趋于稳定,阳离子吸附力越强的膳食纤维,酸化时能够结合更多的 H^+ ,因此当体系 pH 稳定时需要添加更多的 NaOH 溶液。由图7可知,随着 NaOH 溶液的不断添加,脱脂核桃粕和核桃膳食纤维溶液体系的 pH 均不断升高,最终趋于稳定,此时体系中 pH 约为10.0~11.0。其中,脱脂核桃粕的 pH 增加最快,在 NaOH 溶液添加量为2.5 mL时,体系 pH 就已经趋于平缓;不同粒度

范围的核桃粕膳食纤维都具有一定的阳离子吸附力,其中,以粒度范围在80~120目的核桃粕膳食纤维阳离子吸附能力最强,当 NaOH 溶液添加量为7.5 mL时,体系 pH 才趋于稳定。由此可知,粒度为80~120目的核桃粕膳食纤维具备最佳的阳离子吸附力。

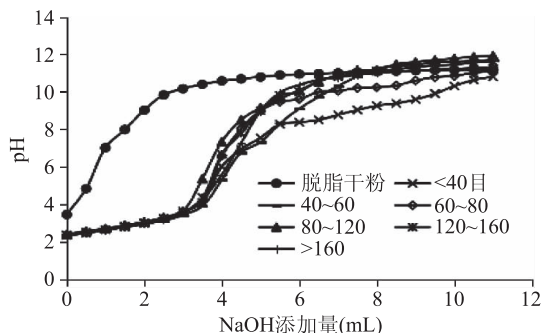


图7 不同粒度范围核桃粕膳食纤维阳离子吸附力

Fig.7 Cation absorption capacity of walnut dietary fiber with different particle sizes

2.9 不同粒度范围核桃粕膳食纤维葡萄糖阻滞能力变化

葡萄糖阻滞力测试可一定程度上预测膳食纤维在胃肠中延迟葡萄糖吸收的能力^[19]。由图8看出,所有处理透析液中葡萄糖浓度均呈现升高趋势,在10~30 min时,葡萄糖浓度快速上升,透析时间大于30 min时,葡萄糖浓度上升速率变缓。这可能是因为透析初期,透析液中葡萄糖浓度很低,透析膜内部与外部之间存在较高的渗透压,使得葡萄糖分子快速由透析袋内部向外部渗透;随着时间延长,透析袋内外渗透压逐渐降低,因此葡萄糖渗透速率也减小,使得透析液中葡萄糖浓度增加速率变慢^[12]。不同粒度的核桃粕纤维均具有延缓葡萄糖渗出的作用,当粒度为120~160目时,核桃粕膳食纤维对葡萄糖的阻滞效果最佳。

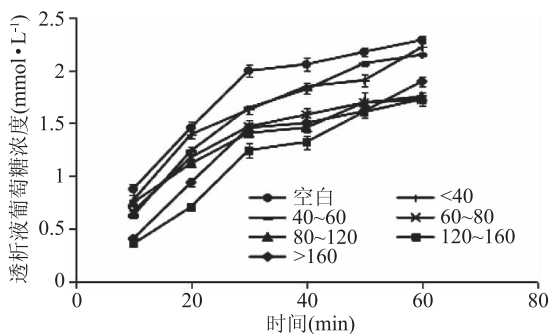


图8 不同粒度核桃粕膳食纤维葡萄糖阻滞力

Fig.8 Glucose adsorption capacity of walnut dietary fiber with different particle sizes

2.10 脱脂核桃粕与核桃膳食纤维微观结构比较

膳食纤维的理化性质与其微观结构关系密切,因此膳食纤维的微观结构在一定程度上可以反映其理化性质。图9中显示的是脱脂核桃粕和核桃膳食纤维的扫描电镜图片。由图9(A)看出,放大倍数为1000倍时,脱脂核桃粕主要由连续的片状蜂窝结构

和非连续的球状结构组成,然而图9(B~D)显示,核桃粕膳食纤维主要由连续的蜂窝状结构组成,球状颗粒几乎完全消失。结合表1可知,核桃膳食纤维中蛋白质含量极显著($p < 0.01$)低于脱脂核桃粕,因此,脱脂核桃粕微观结构图中球状颗粒可能是蛋白质,在核桃粕膳食纤维提取过程中这些蛋白质几乎被完全除去,因此在核桃粕膳食纤维的微观结构图中,不连续的球状结构完全消失。此外,由图9还可看出,不同粒度的核桃粕膳食纤维均保持着良好的连续蜂窝状结构,其中,粒度80~120目的核桃粕膳食纤维片状结构最为均一,表现出最佳的质构特性。

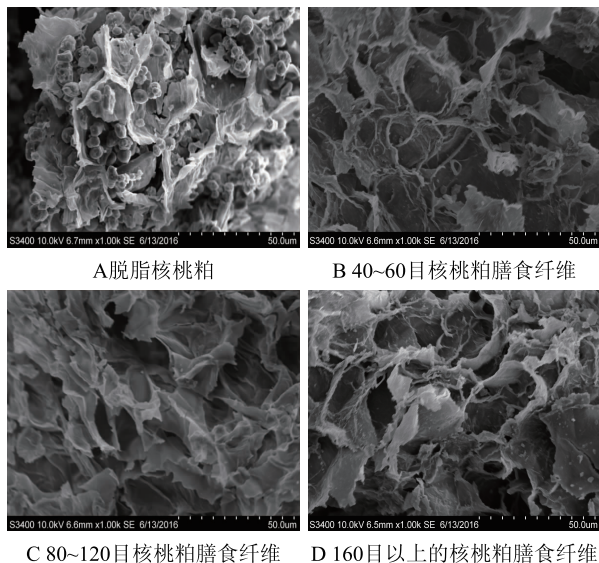


图9 核桃粕与膳食纤维表面倍超微结构图(1000×)

Fig.9 SEM picture of deoiled walnut and walnut dietary fibers with different particle sizes(1000×)

3 结论

化学提取法是一种有效提取核桃粕膳食纤维的方法,采用此法提取的核桃粕膳食纤维结构破坏程度低,纯度较高,具备良好的理化性质。红外光谱分析表明,核桃粕膳食纤维中含有木质素和半纤维素,在化学提取过程中,部分膳食纤维水解为半纤维素。

不同粒度范围的核桃粕膳食纤维理化性质差异显著。粒度在80~160目之间时,核桃粕膳食纤维具有最佳的持水力、膨胀值、葡萄糖阻滞力及阳离子吸附力。随着粒度进一步降低(>160目时),核桃粕持油力显著增加,达到 $1.92 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$,大大高于其他种类的膳食纤维,因此核桃粕膳食纤维在降低人体肠道对油脂吸收力方面具有巨大应用潜力。综上,可采用化学提取法提取、过筛分级的方法制备粒度范围为80~160目的核桃粕膳食纤维,该粒度范围内的核桃粕膳食纤维具备良好的理化性质。

参考文献

- [1] Mann J I, Cummings J H. Possible implications for health of the different definitions of dietary fiber[J]. Nutrition Metabolism & Cardiovascular Diseases Nmc, 2009, 19(3): 226-229.
- [2] Marlett J A, Mc Burney M I, Slavin J L. Position of the

American Dietetic Association: health implications of dietary fiber [J]. Journal of the American Dietetic Association, 2002, 102(7): 993-1000.

- [3] 刘邻渭. 食品化学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2011.
- [4] 董文彦, 张东平, 伍立居, 等. 三种膳食纤维降血脂、通便与减肥作用的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2000, 15(1): 40-44.
- [5] 张有林, 原双进, 王小纪, 等. 基于中国核桃发展战略的核桃加工业的分析与思考[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 1-8.
- [6] 张永利. 在首届中国核桃节开幕式上的讲话[J]. 河北林业, 2011(5): 6.
- [7] Meng-Mei M, Tai-Hua M. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 237-246.
- [8] Yeh H Y, Su N W, Lee M H. Chemical compositions and physicochemical properties of the fiber-rich materials prepared from shoyu mash residue [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2005, 53(53): 4361-4366.
- [9] Arrigoni E, Caprez A, Amad R, et al. Gravimetric method for the determination of insoluble and soluble dietary fibres [J]. European Food Research and Technology, 1984, 178(3): 195-198.
- [10] Sowbhagya H B, Suma P F, Mahadevamma S, et al. Spent residue from cumin—a potential source of dietary fiber[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1220-1225.
- [11] Abdul-hamid A, Luan Y S. Functional properties of dietary fiber prepared from defatted rice bran [J]. Food Chemistry, 2000, 68(1): 15-19.
- [12] Qi J, Li Y, Masamba K G, et al. The effect of chemical treatment on the invitro, hypoglycemic properties of rice bran insoluble dietary fiber [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 699-706.
- [13] 李安平, 谢碧霞, 王俊, 等. 竹笋膳食纤维的制备及其功能结构比较[J]. 中国食品学报, 2010(1): 86-92.
- [14] Chang S C, Hsu B Y, Chen B H. Structural characterization of polysaccharides from Zizyphus jujuba and evaluation of antioxidant activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47(4): 445-453.
- [15] 赵梅. 枣渣膳食纤维酶法改性工艺及相关性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [16] Peerajit P, Chiewchan N, Devahastin S. Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues [J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 1891-1898.
- [17] Dong X, Zhao M, Shi J, et al. Effects of combined high-pressure homogenization and enzymatic treatment on extraction yield, hydrolysis and function properties of peanut proteins [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 478-483.
- [18] Lan G, Chen H, Chen S, et al. Chemical composition and

(下转第59页)

3 结论

较为系统地研究了魔芋胶的静态流变学、动态流变学特性、持水力和冻融稳定性,得到了以下结论:魔芋胶为剪切变稀的假塑性流体,其黏度随着质量浓度的增加逐渐增大,随着温度的升高逐渐降低,并且在加工过程中不利于食品保形;研究了魔芋胶的动态粘弹性和熔化特性,发现魔芋胶为热不可逆凝胶;魔芋胶的持水力较好但其冻融稳定性不好,在食品加工中要依据具体情况选择使用。

参考文献

- [1] 陈运忠, 侯章成. 魔芋胶(魔芋葡甘聚糖 KGM)在食品添加剂工业中的应用机理和实践[J]. 食品工业科技, 2006(1): 155-157.
- [2] 黄明发, 鲁兴容, 刁兵, 等. 魔芋胶的功能特性及其在肉制品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012(2): 186-190.
- [3] 马正智, 彭小明, 董杰, 等. 我国魔芋胶的应用研究进展[J]. 食品添加剂专论综述, 2008(4): 101-107.
- [4] 郑梅霞, 朱育菁, 刘波, 等. 黄原胶的流变性及与魔芋胶等的协效性研究[J]. 食品工业科技, 2016(8): 303-306.
- [5] Huang Y, Tang J, Swanson BG, et al. Effect of calcium concentration on textural properties of high and low acyl mixed gellan gels[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 75(5): 106-110.
- [6] Lu Zhanhui, Yuan Meilan, Sasaki T, et al. Rheological properties of fermented rice flour gel[J]. Cereal Chemistry, 2007, 84(6): 620-625.

(上接第 65 页)

physicochemical properties of dietary fiber from Polygonatum odoratum, as affected by different processing methods [J]. Food Research International, 2012, 49(1): 406-410.

- [19] G López, G Ros, F Rincón, et al. Relationship between Physical and Hydration Properties of Soluble and Insoluble Fiber of Artichoke[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1996, 44(9): 2773-2778.

[20] López-Vargas J H, Fernández-López J, Pérez-álvarez J A, et al. Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis*, var. *flavicarpa*) co-products [J]. Food Research International, 2013, 51(2): 756-763.

[21] Navarro-González I, García-Valverde V, García-Alonso J, et al. Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber[J]. Food Research International, 2011, 44(5): 1528-1535.

[22] Figuerola F, Hurtado M L, Estévez A M, et al. Fiber concentrate from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment[J]. Food Chemistry, 2005, 91(3): 395-401.

[7] Barrangou LM, Drake M, Daubert CR, et al. Textural properties of agarose gels. II. Relationships between rheological properties and sensory texture[J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(23): 196-203.

[8] Gomez-Diaz D, Navaza JM, Quintans-Riveiro L C. Influence of mixing and temperature on the rheological properties of carboxymethyl cellulose/kappa-carrageenan mixtures [J]. European Food Research and Technology, 2008, 32(9): 312-315.

[9] 周建芳, 张黎明, Perter SHui. 两性瓜尔胶衍生物溶液的流变特征[J]. 物理化学学报, 2003(11): 1081-1084.

[10] Peressini D, Peighambardoust SH, Hamer RJ, et al. Effect of shear rate on microstructure and rheological properties of sheared wheat doughs [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(2): 426-438.

[11] Rao MA. Rheology of Fluid and Semisolid Foods [M]. Berlin: Springer Verlag, 1999: 329-334.

[12] Rao M A, Cooley HJ. Determination of effective shear rates in rotational viscometers with complex geometries [J]. Journal of Texture Studies, 1984, 28(3): 223-229.

[13] H Lin, L Lai. Isolation and viscometric characterization of hydrocolloids from mulberry (*Morus alba* L.) leaves [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 840-848.

[14] Pongsawatmanit R, Temsiripong T, Ikeda S, et al. Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(1): 41-50.

[23] 耿乙文, 哈益明, 靳婧, 等. 过氧化氢改性苹果渣膳食纤维的研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(19): 3979-3988.

[24] 包怡红, 冯雁波. 响应面实验优化红松松仁膳食纤维制备工艺及其理化性质分析[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 11-17.

[25] 张艳荣, 魏春光, 崔海月, 等. 马铃薯膳食纤维的表征及物性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 19-23.

[26] Wong K H, Cheung P C, Wu J Z. Biochemical and Microstructural Characteristics of Insoluble and Soluble Dietary Fiber Prepared from Mushroom Sclerotia of *Pleurotus tuber-regium*, *Polyporus rhinocerus*, and *Wolfiporia cocos* [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(24): 7197-7202.

[27] Chang S C, Hsu B Y, Chen B H. Structural characterization of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* and evaluation of antioxidant activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47(4): 445-453.

[28] 黄清霞, 雷激, 李华鑫, 等. 高生物活性柠檬膳食纤维的功能特性研究[J]. 食品工业科技, 2012(5): 226-229.

[29] 华聘聘, 刘忠萍. 可溶性大豆膳食纤维的单糖组分分析及物性测定[J]. 中国油脂, 2004(9): 23-27.