

动态高压微射流制备玉米芯可溶性膳食纤维工艺及功能特性研究

曹慧慧^{1,2}, 王磊^{1,2}, 赵海涛^{1,2}, 邢希双^{1,2}, 项爱丽^{1,2}, 齐彪³, 张立田^{1,2}, 周鑫^{1,2}, 段晓然^{1,2}, 张鑫^{1,2}, 汤思凝^{1,2}, 林田^{1,2}, 吴兆举⁴, 肖珺^{1,2}, 杜瑞煥^{1,2}, 孙淑玲^{1,2*}

(1. 唐山市食品药品综合检验检测中心, 河北唐山 063000; 2. 河北省农产品质量安全检测技术创新中心, 河北唐山 063000; 3. 唐山市农业广播电视学校, 河北唐山 063000; 4. 唐山市农机技术推广站, 河北唐山 063000)

摘要 [目的]研究动态高压微射流(DHPM)制备玉米芯可溶性膳食纤维(SDF)工艺及功能特性。[方法]以玉米芯为原料,研究DHPM制备SDF工艺参数(料液比、均质压力和均质次数),并探讨改性前后SDF的功能特性。[结果]最佳工艺参数为料液比1:7(g:mL),均质压力60 MPa,均质次数8次。Control-SDF和DHPM-SDF的溶解性分别为2.15%和3.85%,持水力分别为7.63、14.98 g/g,持油力分别为7.73、15.25 g/g,膨胀力分别为10.35、15.85 mL/g;总酚含量分别为2.623、5.173 mg/g,·OH、O₂⁻和DPPH的清除能力IC₅₀分别为4.16、3.32 mg/mL,4.09、3.19 mg/mL,7.90、3.09 mg/mL。[结论]该研究结果可为玉米芯膳食纤维的功能改性及综合利用提供理论依据。

关键词 玉米芯;可溶性膳食纤维;高压微射流;功能特性

中图分类号 TQ 352 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)07-0175-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.07.053



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Dynamic High-pressure Microfluidization Extraction of Soluble Dietary Fiber and Functional Properties from Corn Cob
CAO Hui-hui^{1,2}, WANG Lei^{1,2}, ZHAO Hai-tao^{1,2} et al (1. Tangshan Food and Drug Comprehensive Testing Center, Tangshan, Hebei 063000; 2. Hebei Agricultural Products Quality and Safety Testing Innovation Center, Tangshan, Hebei 063000)

Abstract [Objective] To study the dynamic high-pressure microfluidization(DHPM) extraction of soluble dietary fiber(SDF) and functional properties from corn cob. [Method] With corn cob as raw material, the process parameters of DHPM for extracting SDF were researched and compared the functional properties. [Result] The optimum condition was solid-liquid ratio 1:7 (g:mL), pressure 60 MPa, times 8. The solubility, water holding capacity, oil holding capacity and swelling force of Control-SDF and DHPM-SDF were 2.15% and 3.85%, 7.63 and 14.98 g/g, 7.73 and 15.25 g/g, 10.35 and 15.85 mL/g, respectively. The total phenol contents were 2.623 and 5.173 mg/g, respectively. Their IC₅₀ of ·OH, O₂⁻ and DPPH free radicals were 4.16 and 3.32 mg/mL, 4.09 and 3.19 mg/mL, 7.90 and 3.09 mg/mL, respectively. [Conclusion] The research can provide a reference for functional modification and utilization of dietary fiber from corn cob.

Key words Corn cob; Soluble dietary fiber; Dynamic high-pressure microfluidization; Functional property

膳食纤维是指不能被人体胃肠道中消化酶所消化的,不被吸收利用的多糖类物质。在消化系统中具有吸收水分的作用,在胃肠中占据较大空间,使人有饱腹感,利于减肥;膳食纤维有吸水膨胀性,可刺激胃肠道消化液的分泌,使胃肠蠕动增强,推动进食,减少食物残渣在胃肠道停留的时间,增加粪便量,促进粪便排泄,改善肠道菌群,为益生菌的增殖提供能量和营养^[1-3]。膳食纤维是健康饮食不可缺少的,具有清洁消化壁和增强消化功能,促进铅等重金属及有毒物质的吸附和排泄,预防重金属中毒。膳食纤维可减缓消化速度和最快速排泄胆固醇,可以通过延缓胃排空,改变肠运转时间等使糖的吸收减慢,防止饭后血糖骤升^[4-7]。

我国作为玉米种植大国,每年均产生大量的副产物——玉米芯(约为2 000万t),除少量被用做饲料外,绝大部分被焚烧或遗弃,造成严重的环境污染和资源浪费,然而玉米芯中含有丰富的可溶性膳食纤维(SDF),是制备SDF的理想原料。目前有关玉米芯SDF提取方法主要有酶解法^[8]、超声波碱解法^[9]和微波法^[10]。动态高压微射流(DHPM)技术是集输送、超微粉碎、混合、膨化、加压加温等多种单元操作为一

体的技术,其理论基础包括流体力学理论、超高压理论及撞击流理论3种。高压的推动作用可使流体混合物物料瞬间通过,当压力发生变化时,产生的巨大压力可使流体混合物物料受到剧烈的高速碰撞、剪切、高频振荡、粉碎等综合作用,使物料受到较好的超微化、均一化和微乳化作用,进而影响物料的理化性质和结构^[11-13]。为进一步研究玉米芯中SDF的功效,充分利用玉米芯资源,笔者以SDF提取率为考察指标,对DHPM制备玉米芯中SDF的工艺条件进行优化,确定其最佳提取工艺,并对玉米芯中SDF提取物的功能特性进行分析。

1 材料与方法

1.1 材料 玉米芯由唐山润泽粮油食品有限公司提供。

DHPM-SDF:称取30 g玉米芯,加入一定量的去离子水,混合均匀,用胶体研磨机处理2次,利用动态高压均质超微粉碎设备处理一定次数,调节pH为5~6,添加2%纤维素酶,在50℃恒温水浴摇床中反应30 min,酶解液于95℃灭酶5 min,冷却至室温,高速离心分离。沉淀物经干燥得水溶性膳食纤维(IDF);上清液经旋转蒸发浓缩至原体积的1/8,用4倍体积的75%乙醇沉淀20 min,真空抽滤,滤渣于60℃鼓风干燥得到SDF。

Control-SDF:称取30 g玉米芯,加入一定量的去离子水,混合均匀,用胶体研磨机处理2次,调节pH为5~6,添加2%纤维素酶,在50℃恒温水浴摇床中反应30 min,酶解液于

基金项目 河北省自然科学基金项目。**作者简介** 曹慧慧(1985—),女,山东济宁人,农艺师,从事生物化学与分子生物学研究。*通信作者,高级工程师,从事功能配料与食品添加剂研究。**收稿日期** 2019-02-12; **修回日期** 2019-02-25

95 ℃灭酶 5 min,冷却至室温,高速离心分离。沉淀物经干燥得 IDF;上清液经旋转蒸发浓缩至原体积的 1/8,用 4 倍体积的 75%乙醇沉淀 20 min,真空抽滤,滤渣于 60 ℃鼓风干燥得到 SDF。

盐酸、水杨酸、亚硝酸钠、乙醇等均为分析纯(北京化学试剂公司);JK1002 电子分析天平(北京朗科兴业称重设备有限公司);TD5B 台式离心机(盐城凯特实验仪器有限公司);XD-3000BDQ 旋转蒸发仪(上海贤德实验仪器有限公司);DR889-1 电热恒温鼓风干燥箱(苏州达瑞电热设备有限公司);HH-1 水浴恒温振荡器(常州国华电器有限公司);JM-65 胶体磨(上海多源机械制造有限公司);M-110EH 高压微射流均质机(美国必宜 DeBEE 公司)。

1.2 方法

1.2.1 DHPM 制备玉米芯 SDF 工艺条件的选择。

1.2.1.1 料液比。高压均质压力为 60 MPa,均质次数 4 次,分别选择玉米芯与水的比例为 1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7、1:8(g:mL),考察料液比对 SDF 提取率的影响,每个水平 3 次重复。

1.2.1.2 均质压力。高压均质次数为 4 次,料液比 1:6,分别选择均质压力为 20、40、60、80、100 MPa,考察均质压力对 SDF 提取率的影响,每个水平 3 次重复。

1.2.1.3 均质次数。高压均质压力为 60 MPa,料液比 1:6(g:mL),分别选择均质次数为 2、4、6、8、10 次,考察均质次数对 SDF 提取率的影响,每个水平 3 次重复。

1.2.2 可溶性(WS)的测定。依据李伦^[14]的方法,略有修改。称取 1 g 左右样品于离心管,按 1:10 的比例加入蒸馏水,混合均匀后,室温下静置 1 h,3 000 r/min 离心 10 min,收集上清液和残渣,分别干燥,称重。

$$WS = (\text{干燥后上清液质量} / \text{样品粉质量}) \times 100\%$$

1.2.3 持水力(WHC)的测定。依据陈菊红^[15]的方法,略有修改。准确称取 1 g 样品于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 去离子水,混合均匀后置于 4 ℃条件下放置 24 h,4 200 r/min 离心 15 min,称重。

$WHC(g/g) = (\text{样品被水饱和后质量} - \text{样品粉质量}) / \text{样品粉质量}$

1.2.4 持油力(OHC)的测定。依据陈菊红^[15]的方法,略有修改。准确称取 1 g 样品于 50 mL 离心管中,加入 10 mL 橄榄油,混合均匀后置于 4 ℃条件下放置 1 h,4 200 r/min 离心 15 min,称重。

$OHC(g/g) = (\text{样品被油饱和后质量} - \text{样品粉质量}) / \text{样品粉质量}$

1.2.5 膨胀力(SC)的测定。依据李伦^[14]的方法,略有修改。准确称取 0.2 g 样品置于刻度试管中并记录其体积,加入 5.0 mL 蒸馏水,混合均匀后在 4 ℃条件下放置 18 h,记录样品吸水后的体积。

$$SC(mL/g) = (\text{溶胀后样品体积} - \text{样品粉体积}) / \text{样品粉质量}$$

1.2.6 ·OH 清除率的测定。依据汤小明^[16]的方法,略有

修改。在反应体系中(水杨酸-乙醇溶液 9 mmol/L, Fe²⁺ 9 mmol/L, H₂O₂ 8.8 mmol/L)加入具有清除·OH 能力的物质,便会与水杨酸竞争·OH,而使有色物质生成量减少。采用固定反应时间法,在相同体积的反应体系中加入不同浓度的膳食纤维(DF),并用蒸馏水作为空白对照,在波长 510 nm 处测量加入不同浓度 DF 后的吸光度,代入清除率计算公式便可计算出不同浓度的 DF 清除·OH 自由基的能力。

$$\cdot OH \text{ 清除率} = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \times 100\%$$

式中, A₁ 为 0.5 mL 水杨酸-乙醇 + 1.0 mL DF + 0.5 mL Fe²⁺ + 5.0 mL H₂O₂ 吸光度; A₂ 为 0.5 mL 水杨酸-乙醇 + 1.0 mL DF + 0.5 mL 蒸馏水 + 5.0 mL H₂O₂ 吸光度; A₃ 为 0.5 mL 水杨酸-乙醇 + 1.0 mL 蒸馏水 + 0.5 mL Fe²⁺ + 5.0 mL H₂O₂ 吸光度。

1.2.7 O₂⁻清除率的测定。依据汤小明^[16]的方法,略有修改。取 0.05 mol/L Tris-HCl 缓冲液(pH 8.2) 4.0 mL,置于 25 ℃水浴中预热 20 min,分别加入 1 mL 待测液和 1 mL 25 mmol/L 邻苯三酚溶液,混匀后于 25 ℃水浴中反应 5 min,加入 8% HCl 溶液 100 μL 终止反应,波长 320 nm 处测定吸光度(A),以 1 mL 蒸馏水代替待测液做空白试验。

$$O_2^{\cdot -} \text{ 清除率} = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \times 100\%$$

式中, A₁ 为 4 mL Tris-HCl + 1.0 mL DF + 2 mL 邻苯三酚吸光度; A₂ 为 4 mL Tris-HCl + 1.0 mL DF + 2 mL 蒸馏水吸光度; A₃ 为 4 mL Tris-HCl + 1.0 mL 蒸馏水 + 2 mL 邻苯三酚吸光度。

1.2.8 DPPH 自由基清除率的测定。依据汤小明^[16]的方法,略有修改。DPPH 自由基在 95%乙醇溶液中是一种稳定的自由基,在波长 517 nm 处有吸收峰,呈紫色。当自由基清除剂存在时, DPPH 的孤对电子被配对,颜色变浅,在最大吸收波长处吸收度变小,且颜色变化与配对电子数呈化学计量关系,因此可用来评价自由基的清除情况。将 4 mL 待测液加入 2 mL 0.2 mmol/L DPPH 自由基溶液,于 25 ℃水浴中反应 20 min 后于 517 nm 处测定吸光度(A),以蒸馏水代替待测液做空白试验。

$$DPPH \text{ 自由基清除率} = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \times 100\%$$

式中, A₁ 为 4 mL DF + 2.0 mL DPPH 自由基吸光度; A₂ 为 4 mL DF + 2.0 mL 95%乙醇吸光度; A₃ 为 4 mL 蒸馏水 + 2.0 mL DPPH 自由基吸光度。

1.2.9 总酚含量的测定。依据汤小明^[16]的方法,略有修改。取样品粉末 1 g 于锥形瓶中,按 1:30(W/V)的比例加入 70%乙醇溶液,于 30 ℃的恒温水浴摇床中(800 r/min)振荡提取 24 h。提取完成后,3 000 r/min 离心 10 min,并用原溶剂定容至 50 mL。用棕色瓶装好放入-20 ℃的冰箱中待测。取一定浓度的样品 0.5 mL,加入 2.5 mL 0.2 N Folin-Ciocalteu 试剂,振荡 30 s 后反应 5 min,再加入 2 mL 7.5%(W/V)的 Na₂CO₃ 溶液,振荡 20 s 后反应 2 h,在 760 nm 处测定吸光度,空白对照以去离子水代替样品进行反应。总酚含量以没食子酸当量(Gallic Acid Equivalent, mg/g, 干基)表示。

1.3 数据处理 采用 Design-Expert 7.0 进行试验设计和数

据处理。

2 结果与分析

2.1 DHPM 制备玉米芯 SDF 工艺条件

2.1.1 料液比。由图 1 可知,当玉米芯与水的比例为 1:7 时,SDF/IDF 和 SDF 提取率均达到最大值,随着液料比的增加,底物和酶被稀释,SDF 的提取率和 SDF/IDF 比值会有所减少。分析其原因,由酶促反应动力学可知,在酶浓度不变时,当底物浓度较低时,反应速率的增加与底物浓度的增加成正比,随底物浓度的增加,反应速率的增加逐渐减少;最后,当底物浓度增加到一定量时,反应速率达到最大值,不再随底物浓度的增加而增加,液料比的增大相当于减少了底物浓度,因而使 SDF 的提取率在 1:7 时达到最佳,随后逐渐下降。

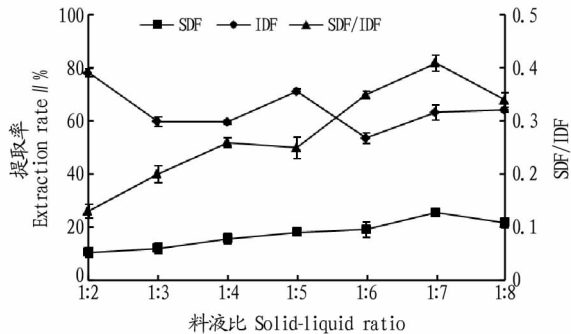


图 1 料液比对 SDF、IDF 提取率及 SDF/IDF 比值的影响

Fig. 1 Effects of solid-liquid ratio on the SDF, IDF extraction rate and SDF/IDF

2.1.2 均质压力。由图 2 可知,SDF/IDF 和 SDF 的提取率比值随着压力增加而增大,IDF 的提取率随着压力增加而减小。研究证明,瞬时高压作用可使 SDF 含量有所增加,其所受压力越大,可溶性成分增加越多。另外,膳食纤维的微观结构、平均粒径和官能团随瞬时高压作用的压力变化而变化,随着压力的增大,暴露更多的酶解结合位点,有利于纤维素酶水解 IDF,从而提高 SDF 的提取率^[17]。由于高于 60 MPa 处理时 SDF 提取率提高并不显著,而 IDF 提取率下降显著,说明 60 MPa 处理后,部分 SDF 聚合度降低,不能被乙醇沉淀,故选择 60 MPa 作为最佳处理压力。

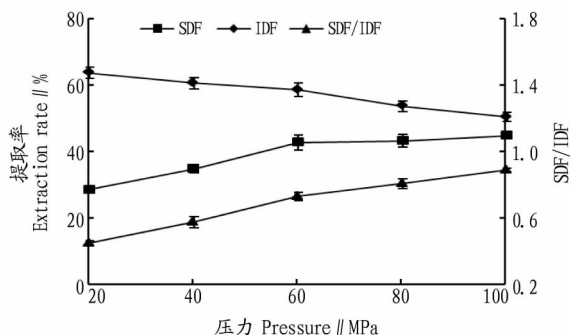


图 2 处理压力对 SDF、IDF 提取率及 SDF/IDF 比值的影响

Fig. 2 Effects of pressures on the extraction rate and SDF/IDF

2.1.3 均质次数。由图 3 可知,SDF/IDF 比值与 SDF 提取率随处理次数的增加先增大后减小,在处理 8 次时达到最

大,分别为 1.080、43.49%;IDF 提取率随处理次数的增加而减小,8 次以上基本趋于平衡,故而选择处理 8 次作为最佳处理次数。

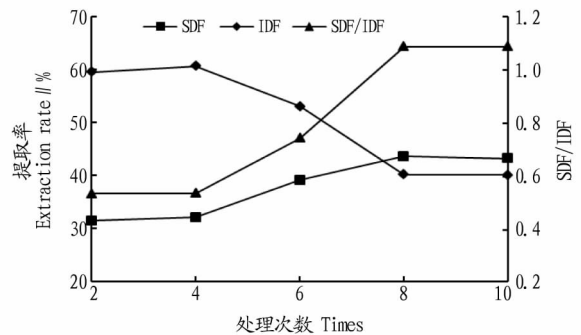


图 3 处理次数对 SDF、IDF 提取率及 SDF/IDF 比值的影响

Fig. 3 Effects of times on the SDF, IDF extraction rate and SDF/IDF

2.2 DHPM 制备玉米芯 SDF 理化特性 从表 1 可以看出,玉米芯 SDF 经 DHPM 处理后其理化特性均有所提高。Control-SDF 的溶解性、持水力、持油力、膨胀力为 2.15%、7.63 g/g、7.73 g/g、10.35 mL/g;DHPM-SDF 提高到 3.85%、14.98 g/g、15.25 g/g、15.85 mL/g。DHPM 处理时,一些组织结构如纤维素、半纤维素等物质被破坏,使得果胶类等可溶性膳食纤维暴露溶出,含量增加,水分子结合能力得到提高;SDF 颗粒的数量增加,溶于水后体积膨胀、产生更大的伸展容积,从而导致改性后 SDF 的溶解性、持水力、膨胀力增大^[18]。

表 1 DHPM 处理对玉米芯 SDF 理化特性的影响

Table 1 Effect of DHPM on physicochemical properties of corn cob SDF

样品 Sample	WS %	WHC g/g	OHC g/g	SC mL/g
Control-SDF	2.15 a	7.63 a	7.73 a	10.35 a
DHPM-SDF	3.85 b	14.98 b	15.25 b	15.85 b

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

2.3 玉米芯 SDF 抗氧化能力 自由基本身也是人体在代谢过程中产生的一种活性物质,如果自由基过量,就会攻击细胞膜、蛋白质、DNA 等,造成衰老和引发慢性病。机体在代谢过程中产生的自由基有羟自由基、超氧阴离子自由基、氢过氧自由基。可溶性膳食纤维中的多糖、多酚类物质具有清除自由基的能力,在治疗老年性痴呆症和心血管病方面独具疗效。SDF 中总酚含量在 DHPM 处理后得到一定程度的增加,Control-SDF 和 DHPM-SDF 中总酚含量分别为 2.623、5.173 mg/g。而总酚含量的多少可间接反映抗氧化能力的大小。DHPM 处理后的玉米芯 SDF 对 DPPH、 O_2^- 和 $\cdot OH$ 清除率明显高于未处理样品,这可能是由于物料经 DHPM 处理后,提取剂与 SDF 中抗氧化成分接触表面积增大、接触更加充分,且经过 DHPM 处理后物料细胞壁被破坏,活性成分较易溶出,很多不溶性活性成分转变成小分子可溶性物质,其

提取率也相应增加。

由图4可知,在浓度为2~12 mg/mL内,·OH清除率与SDF浓度呈线性关系,Control-SDF和DHPM-SDF线性方程分别为 $y=10.0290x+8.2667$ ($R^2=0.9996$)和 $y=12.6890x+7.8400$ ($R^2=0.9991$),根据线性方程得 IC_{50} (清除50%自由基时SDF的质量浓度)分别为4.16、3.32 mg/mL。

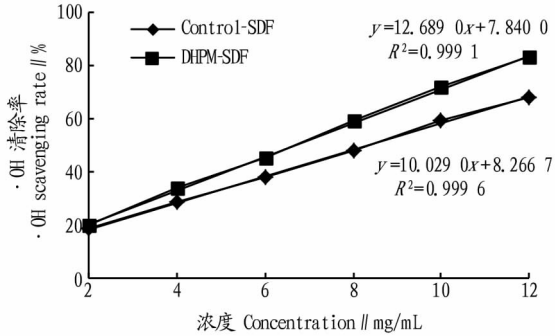


图4 DHPM对·OH清除能力

Fig. 4 ·OH scavenging capacity with DHPM

由图5可知,在浓度2~12 mg/mL内, $O_2^{\cdot-}$ 清除率与SDF浓度呈线性关系,Control-SDF和DHPM-SDF线性方程分别为 $y=10.2060x+8.2800$ ($R^2=0.9991$)和 $y=12.7290x+9.4333$ ($R^2=0.9997$),根据线性方程得 IC_{50} (清除50%自由基时SDF的质量浓度)分别为4.09、3.19 mg/mL。

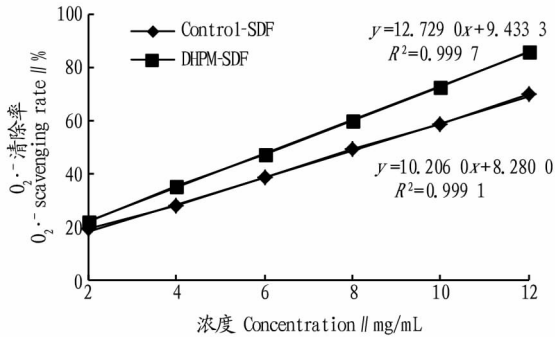


图5 DHPM对 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力

Fig. 5 $O_2^{\cdot-}$ scavenging capacity with DHPM

由图6可知,在浓度2~12 mg/mL内,DPPH清除率与SDF浓度呈线性关系,Control-SDF和DHPM-SDF线性方程分别为 $y=5.0486x+10.1130$ ($R^2=0.9993$)和 $y=13.0370x+9.6867$ ($R^2=0.9992$),根据线性方程得 IC_{50} (清除50%自由基时SDF的质量浓度)分别为7.90、3.09 mg/mL。

3 结论

(1)DHPM制备玉米芯SDF最佳工艺条件为料液比为1:7(g:mL),均质压力为60 MPa,均质次数为8次。

(2)Control-SDF和DHPM-SDF的溶解性分别为2.15%和3.85%,持水力分别为7.63、14.98 g/g,持油力分别为7.73、15.25 g/g,膨胀力分别为10.35、15.85 mL/g。DHPM处理提高了玉米芯SDF的溶解性、持水力、持油力和膨胀力。

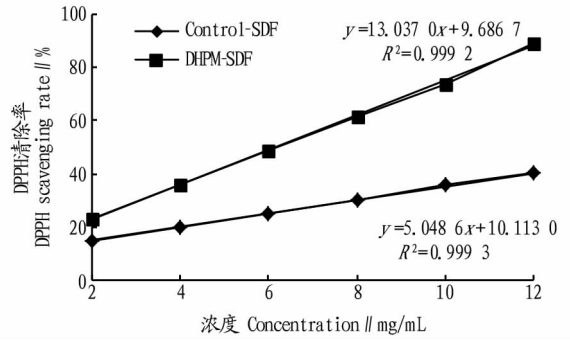


图6 DHPM对DPPH清除能力

Fig. 6 DPPH scavenging capacity with DHPM

(3)Control-SDF和DHPM-SDF的总酚含量分别为2.623和5.173 mg/g,·OH、 $O_2^{\cdot-}$ 和DPPH的清除能力 IC_{50} 分别为4.16和3.32 mg/mL、4.09和3.19 mg/mL、7.90和3.09 mg/mL。DHPM处理提高了膳食纤维的抗氧化活性。

参考文献

- 王磊,袁芳,向俊,等. 柑桔渣可溶性膳食纤维的功能特性及流变性[J]. 中国食品学报,2015,15(3):24-31.
- CHAWLA R,PATIL G R. Soluble dietary fiber [J]. Comprehensive reviews in food science and food safety,2010,9(2):178-196.
- 石秀梅,雷激,梁爱华,等. 3种来源膳食纤维抗氧化特性比较[J]. 食品科技,2013,38(1):71-75.
- 王磊,袁芳,向俊,等. 响应面法优化高压均质提取柑桔渣中可溶性膳食纤维及抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报,2015,15(5):82-89.
- 孙平,刘可志,赵丰. 枸杞多糖的提取及其残渣处理的研究[J]. 食品工业,2013,4(1):48-50.
- LI S M,YAO Y W. Effect of thermal stabilizers composed of zinc barbiturate and calcium stearate for rigid poly(vinyl chloride)[J]. Polym Degrad Stab,2011,96(4):637-642.
- ZHENG Y Y,CAI W L,FU M L,et al. Rare earth stearates as thermal stabilizers for rigid poly(vinyl chloride) [J]. Journal rare earths,2005,23(2):172-177.
- 蔡锦源,李正阳,熊建文,等. 玉米芯中水溶性膳食纤维的微波预处理-超声波碱解法提取工艺研究[J]. 应用化工,2017,46(3):460-462,467.
- LIU W,LIU J H,XIE M Y,et al. Characterization and high-pressure microfluidization-induced activation of polyphenoloxidase from Chinese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) [J]. Journal of agricultural and food chemistry,2009,57(12):5376-5380.
- 万婕,刘成梅,李淑,等. 动态高压微射流作用对膳食纤维结晶结构的影响[J]. 高压物理学报,2012,26(6):639-644.
- 万婕,刘成梅,蓝海军,等. 动态瞬时高压作用对膳食纤维酶解速度的影响[J]. 高压物科学报,2008,22(4):439-444.
- 刘成梅,刘伟,万婕,等. 瞬时高压作用对膳食纤维可溶性的影响[J]. 食品科学,2005,26(8):110-113.
- 赵健,郑刚,赵国华. 超高压处理对红薯渣膳食纤维理化性质的影响[J]. 食品科学,2009,30(17):109-112.
- 李伦. 脱脂米糠膳食纤维的研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
- 陈菊红. 湿法超微粉碎对马铃薯渣的改性及其功能特性和应用研究[D]. 无锡:江南大学,2008.
- 汤小明. 豆渣膳食纤维的制备及其改性研究[D]. 南昌:南昌大学,2015.
- CHAU C F,HUANG Y L. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng [J]. Journal of agricultural and food chemistry,2003,51(9):2615-2618.
- ZHU K X,HUANG S,PENG W,et al. Effect of ultrafine grinding on hydration and antioxidant properties of wheat bran dietary fiber [J]. Food research international,2010,43(4):943-948.