

糙米制品抗氧化活性比较研究

梁润平^{1,2}, 翟小童², 张文青¹, 谭斌², 刘艳香², 田晓红²

(1. 山西医科大学, 山西 太原 030001; 2. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

摘要:研究以糙米为原料,制成糙米饭、糙米线 and 糙米速食粥3种制品,以精白米饭为对照,分析制品中多酚物质含量、膳食纤维的特性,比较评价其抗氧化活性。结果表明:总酚含量的顺序为:糙米米线(64.05 ± 0.86 mg/100 g) > 糙米速食粥(63.95 ± 2.02 mg/100 g) > 糙米饭(50.70 ± 0.02 mg/100 g) > 白米饭(20.27 ± 0.46 mg/100 g);总黄酮含量顺序为:糙米速食粥(736.50 ± 26.05 mg/100 g) > 糙米米线(642.27 ± 66.94 mg/100 g) > 糙米饭(581.17 ± 21.91 mg/100 g) > 白米饭(186.81 ± 14.12 mg/100 g)。3种糙米制品中总抗氧化能力差异不显著且均高于白米米饭,清除DPPH、ABTS⁺能力顺序:糙米速食粥 > 糙米线 > 糙米饭 > 白米饭($P < 0.05$)。制品总酚和黄酮含量与自由基的清除力具备显著的相关性($P < 0.01$);游离型总酚和总黄酮含量与其总抗氧化活性具有良好的相关性,相关系数分别为0.904和0.824。糙米线和速食粥的膳食纤维对脂肪酸的吸附力是米饭的2倍左右。糙米制品膳食纤维抗氧化活性均高于白米饭;速食粥清除DPPH的能力是米线的2倍多,是米饭的4倍多;速食粥和米线对ABTS⁺清除力是米饭的3~4倍。糙米速食粥、糙米米线与米饭相比,酚类物质含量较高、膳食纤维具有较强的油脂吸附力和清除自由基的能力。

关键词:糙米制品;多酚;膳食纤维;抗氧化活性

中图分类号:TS 213.3 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2018)02-0001-05

Comparative study on antioxidant activity of brown rice products

LIANG Run-ping^{1,2}, ZHAI Xiao-tong², ZHANG Wen-qing¹, TAN Bin², LIU Yan-xiang², TIAN Xiao-hong²

(1. Shanxi Medical University, Taiyuan Shanxi 030001;

2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: 3 kinds of brown rice products, cooked brown rice, brown rice noodle and instant brown rice porridge, were prepared to analyze the content of polyphenols in brown rice products and the properties of dietary fiber, and to evaluate the antioxidant activity of brown rice products, with cooked rice as control group. The results showed that the order of content of polyphenols was: brown rice noodles (64.05 ± 0.86 mg/100g) > instant brown rice porridge (63.95 ± 2.02 mg/100 g) > cooked brown rice (50.70 ± 0.02 mg/100g) > cooked rice (20.27 ± 0.46); The order of flavonoid content was: instant brown rice porridge (736.50 ± 26.05 mg/100 g) > brown rice noodle (642.27 ± 66.94 mg/100 g) > cooked brown rice (581.17 ± 21.91 mg/100 g) > cooked rice (186.81 ± 14.12 mg/100 g). The difference of the total antioxidant capacity between each of the brown rice products was not significant, each of the total antioxidant capacity was higher than that of cooked rice. The sequence of scavenging DPPH and ABTS⁺ radical activity was: instant brown rice porridge > brown rice noodle > cooked brown rice > cooked rice ($P < 0.05$). The content of total phenolics and flavonoids were positively correlated with scavenging activity ($P < 0.01$); The content of free total phenolics and flavonoids were significant correlation with total antioxidant activity ($r_1 = 0.904, r_2 = 0.824$). The adsorption force of dietary fiber of brown rice noodle and instant porridge on fatty acids was about twice as much as cooked rice. The antioxidant activity of dietary fiber of brown rice products was higher than that of cooked rice; the scavenging DPPH radical activity of instant porridge was

收稿日期:2017-09-11

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2017YFD0401103);国家自然科学基金(31772009);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(ZX1717)

作者简介:梁润平,1990年出生,女,硕士研究生。

通讯作者:张文青,1963年出生,女,主任医师,硕士生导师。

more than twice as much as brown rice noodle, or more than 4 times as much as cooked rice; the scavenging ABTS⁺ radical activity of instant porridge and brown rice noodle was 3~4 times as much as cooked rice. Compared with cooked rice, instant brown rice porridge and brown rice noodle had higher content of phenols, which dietary fiber had stronger adsorption force on fat and scavenging ability to free radicals.

Key words: brown rice product; polyphenols; dietary fiber; antioxidant activity

近年来,随着慢性病发病率的不断上升,全谷物食品得到广泛关注,全谷物食品的生物活性成分和营养价值越来越受到人们的重视,其维持人体健康的重要生理功能已逐渐被认识^[1]。糙米是一种典型的全谷物,是去除稻壳的谷粒,包括皮层、糊粉层和胚乳。糙米保留了米糠和胚芽,而米糠和胚芽具有相当高的营养水平^[2]。糙米与精白米相比,富含膳食纤维、酚类等生物活性组分,具备抗氧化、清除自由基、抗肿瘤、增强抵抗力、延缓衰老、降血脂、降血糖等功能^[3-4]。但是由于其不易蒸煮,感官品质差,需要通过适当的加工方式才可食用。为提高糙米的蒸煮品质和感官、食用品质,需采取适当的加工技术与工艺处理,而加工方式不同会影响糙米中营养成分的含量、组成结构、理化性质及其生物活性。为了探究不同加工方式对糙米制品营养品质和生物活性的影响,本实验以糙米为原料,采用传统热加工获得糙米米饭,经过现代挤压加工技术获得糙米速食粥,采用半干法工艺制备糙米米线,以精白大米制成的米饭为对照,比较和评价不同米制品中酚类物质含量、膳食纤维特性及米制品抗氧化活性,以期为指导科学生产、合理膳食以及科学消费提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

籼稻:产地广东东莞,2015年收;籼糙米由籼稻去石和砻谷制得;精白米由籼糙米经2次碾磨制得,糙出白率为90%。

福林酚、没食子酸、糖化酶、无水甲醇、六水氯化铝、乙酸乙酯、正己烷等试剂均为国产分析纯; α -淀粉酶、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、芦丁、2,2-联苯-(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸(ABTS⁺)二铵盐、水溶性维生素E(Trolox)均为分析纯:美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

WF-20B 高效粉碎机:南京科益机械设备有限公司;RE-52AA 旋转蒸发仪:上海亚荣生化仪器

厂;TYQLQ-40 型谷物筛选去石组合机:山东汶上凯华机械有限公司;LM-400-3G 砻谷脱壳糙米机:山东汶上凯华机械有限公司;CBS300BS 碾米机:日本佐竹株式会社;SR-DE 电饭煲:日本松下电器产业株式会社;FMHE36 双螺杆挤压机:湖南富马科食品工程技术有限公司;和料机、吹风防粘摊薄机、多用老化机、吊挂烘干机、自熟、挤条、挤丝组合机:广东东莞陈辉球米粉设备有限公司。

1.3 米制品制备

白米米饭、糙米米饭按照国标 GB/T 15682—2008 方法制作,料液比为1:1.6进行蒸煮,并在45℃下烘干后备用。糙米速食粥参考杨新生^[5]的方法制备,挤压工艺参数为:机筒Ⅱ区、Ⅲ区、Ⅳ区、Ⅴ区、Ⅵ区温度分别60、90、115~120、40、30℃,物料水分为18%,喂料速度18 kg/min,螺杆转速180 r/min,烤炉温度280℃。糙米米线:糙米原料,按照料液比1:2过夜浸泡,粉碎并过100目筛,调湿到水分含量为35%,和粉,然后再经过自熟、挤条、挤丝、摊薄、切断、老化、复蒸干燥后备用。

1.4 实验方法

1.4.1 酚类物质提取

游离酚提取^[6]:称取2 g样品加入30 mL 4℃甲醇,提取10 min,离心取上清液,重复3次合并上清液,于45℃下旋转蒸发,定容至10 mL,储存于-20℃。

结合酚提取^[6]:提取游离酚后所剩的残渣中,加入40 mL 2 mol/L 氢氧化钠,室温避光(铝箔纸包裹)震荡消化1 h后,用浓盐酸调节pH至1.5~2.0,加入等体积的正己烷脱脂,用等体积乙酸乙酯提取5次,收集上清液。提取液用无水硫酸钠脱水,提取液在45℃下蒸干,用50%的甲醇定容至10 mL并在-20℃储存。

1.4.2 总酚含量测定

选用Folin-Ciocalteu法测定总酚含量^[7],1 mL提取液中加入福林试剂0.5 mL和20%碳酸钠水溶液1.5 mL,用水稀释至10 mL,在40℃水浴中保温30 min,快速冷却(冰浴),于765 nm波长下测其吸

光度。根据不同浓度没食子酸制作标准曲线,以 mg 没食子酸当量/100 g(干基)计。

1.4.3 总黄酮含量测定

采取 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 方法测定^[8],于 1 mL 样品稀释液中加入 1.5 mL H_2O (双蒸水)和 0.15 mL 50 g/L NaNO_2 反应 5 min,再加入 0.15 mL 100 g/L $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 混合反应 5 min,于混合液中加入 1 mL 1 mol/L NaOH 反应 15 min,用 415 nm 测定吸光值,绘制不同浓度芦丁的标准曲线。样品中黄酮含量计为 mg 芦丁当量/100 g(干基)。

1.4.4 膳食纤维提取及其性质测定

参考程音的方法^[9],采用酶-化学结合法提取米制品的膳食纤维,称取不同糙米制品粉 20 g,按 1:20 的比例加入蒸馏水搅拌均匀;于 65 °C 水浴保温 1 h,边搅拌边按 10:1 的比例加入 5% 混合酶液(α -淀粉酶:糖化酶=1:1),于 60 °C 水浴保温 1 h;按 1:10 的比例加入碱液,于 60 °C 水浴保温 1 h,以去除蛋白质和脂肪,加水洗涤至中性后,即得膳食纤维(DF),于 50 °C 烘箱内烘干后备用,并对其持水力、膨胀力、吸附力等物理特性进行测定。

1.4.5 抗氧化活性测定

总抗氧化能力采用南京建成生物研究所总抗氧化能力试剂盒测定。DPPH 自由基清除能力的测定^[10]:600 μL 样品待测液与 3 mL 0.1 mmol DPPH 甲醇溶液混匀后避光反应 20 min,在 517 nm 处进行检测,绘制不同浓度 Trolox 标准曲线,结果计为 mmol Trolox 当量/100 g(干基)。ABTS⁺清除力的测定^[11]:将样品稀释一定浓度并取 200 μL 加入 3 mL ABTS⁺工作液于室温下避光反应 6 min,于 734 nm 波长下测其吸光度值,绘制不同浓度 Trolox 的标准曲线,结果计为 mmol Trolox 当量/100 g(干基)。

1.5 数据处理与分析

数据统计采用 EXCEL 2007,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,通过 SPSS 22.0 进行单因素方差分析及 Duncan's 多重比较,用 Pearson 相关进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 米制品中总酚含量

图 1 所示为不同米制品中游离酚、结合酚及总酚的含量。由图 1 可知所有糙米制品的游离酚、结合酚以及总酚的含量均显著高于精白米饭($P < 0.05$)。3 种糙米制品中,糙米速食粥、糙米米线的

总酚含量均高于糙米米饭。结合酚含量顺序为:速食粥 > 米线 > 米饭($P < 0.05$);游离酚含量顺序为:米线 > 速食粥 > 米饭($P < 0.05$)。对于同一制品,糙米米饭和糙米米线的游离酚含量高于结合酚含量,糙米速食粥的结合酚含量高于游离酚含量。原因可能是挤压过程的高剪切力破坏了糙米细胞壁结构,膨化后产品结构松散,使结合态的酚类物质更易释放出来,导致总酚含量和结合酚含量较高^[12],而在传统的热加工过程中,多酚类物质易降解、氧化、聚合,并可与其他物质结合,从而使总酚含量下降^[13]。

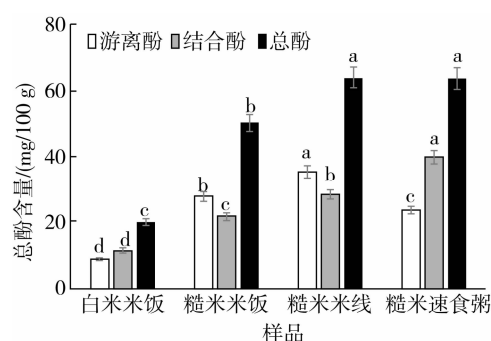


图1 米制品游离型和结合型总酚含量

2.2 米制品中总黄酮含量

由图 2 可知,不同米制品中游离型总黄酮、结合型总黄酮以及总黄酮含量的分布趋势与 2.1 中总酚的基本一致。3 种糙米制品总黄酮含量均高于精白米饭,其中以速食粥的总黄酮含量为最高(736.50 mg/100 g),糙米米饭和米线的总黄酮含量次之,且二者间差异不显著;糙米米饭、糙米米线和白米米饭中的游离型总黄酮含量高于结合型,而糙米速食粥中结合型总黄酮是游离型总黄酮的 2~3 倍。原因可能是挤压过程高温高压环境使热敏性游离黄酮降解,破坏了与黄酮结合的大分子物质,从而释放出更多的结合型黄酮。

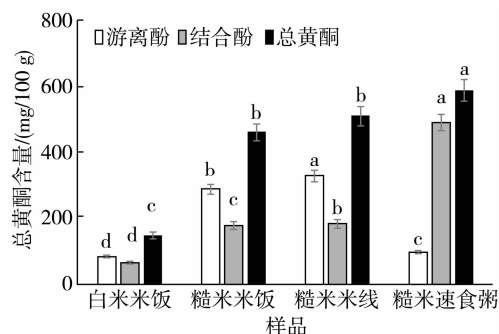


图2 米制品游离型和结合型黄酮含量

2.3 酚类物质提取液的抗氧化活性

本实验分别测定了不同米制品的游离型和结合型甲醇提取液的总抗氧化能力及自由基清除力,结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,糙米制品的 3 种抗氧化性能均高于白米制品,具有显著性差异。其中,游离型提取液中总抗氧化能力最高的是糙米米饭(157.66 U/mL),糙米米线和糙米速食粥的总抗氧化能力次之,且二者间差异不显著。糙米速食粥清除

ABTS⁺的能力是糙米米饭和糙米米线的 8~9 倍,后者差异不具有显著性。糙米速食粥清除 DPPH 的能力是糙米米饭和糙米米线的 2 倍多,后者无显著性差异。结合型提取液中 3 种糙米制品间的总抗氧化能力差异不显著。糙米速食粥和糙米米线清除 ABTS⁺的能力较强,是糙米米饭的 2 倍多,但前两者间差异不显著。清除 DPPH 能力最高的是糙米速食粥和糙米米饭,是糙米米线的 3~4 倍,但前两者间差异不显著。

表 1 米制品中酚类物质提取液的抗氧化能力

制品	总抗氧化能力/(U/mL)		ABTS ⁺ 清除力/(mmol Trolox/100 g)		DPPH 清除力/(mmol Trolox/100 g)	
	游离型	结合型	游离型	结合型	游离型	结合型
精白米饭	59.51 ± 1.31 ^c	83.55 ± 18.75 ^b	41.19 ± 2.63 ^c	141.04 ± 4.92 ^c	525.17 ± 1.44 ^c	19.06 ± 9.97 ^c
糙米米饭	157.66 ± 14.49 ^a	102.26 ± 13.23 ^{ab}	77.92 ± 6.46 ^b	207.46 ± 5.90 ^b	544.88 ± 0.65 ^b	122.07 ± 4.85 ^a
糙米米线	105.14 ± 1.63 ^b	92.5 ± 13.08 ^{ab}	65.76 ± 4.20 ^b	423.97 ± 14.85 ^a	538.49 ± 4.61 ^b	35.68 ± 2.80 ^b
糙米速食粥	90.34 ± 12.74 ^b	121.48 ± 0.87 ^a	584.52 ± 14.6 ^a	410.28 ± 11.38 ^a	1 016.89 ± 1.01 ^a	117.05 ± 8.59 ^a

注:同一列字母一样表示无统计学差异,字母不一样可以认为有统计学差异($P < 0.05$)。

2.4 米制品中酚类物质含量及其抗氧化能力的相关性分析

对 3 种全谷物糙米制品的酚类物质(游离酚、结合酚、总酚、游离黄酮、结合黄酮、总黄酮)含量与其抗氧化能力进行相关性分析,结果见表 2。由表 2 可知,总酚和总黄酮含量与 DPPH 和 ABTS⁺自由基的清除能力具有显著的相关性;游离酚和总黄酮含量与制品总抗氧化活性具有良好的相关性,相关系数分别为 0.904 和 0.824。结合黄酮、结合酚、总酚含量与总抗氧化活性的相关性较低,游离黄酮含量与总抗氧化能力相关性不显著。原因可能是糙米制品中除了酚类物质,还含有膳食纤维、谷维素、类胡萝卜素、酚酸等其他抗氧化活性物质,总抗氧化能力试剂盒可以全面检测出糙米制品所具有的抗氧化性。

表 2 糙米制品酚类含量与其抗氧化活性的相关分析

项目	总抗氧化能力 r1	DPPH 清除能力 r2	ABTS ⁺ 清除能力 r3
游离总酚	0.904 **	0.821 **	0.727 **
结合总酚	0.773 **	0.932 **	0.942 **
总酚	0.706 *	0.487	0.394
游离黄酮	0.487	0.964 **	0.975 **
结合黄酮	0.761 *	0.996 **	0.994 **
总黄酮	0.824 **	0.802 *	0.787 *

注: * 表示 $P < 0.05$ 时具有相关性, ** 表示 $P < 0.01$ 时具有相关性。

2.5 米制品中膳食纤维的理化特性

不同来源膳食纤维因为其物理结构不同而表现出生理功能的差异。研究证明,水溶性膳食纤维可以提高粪便的持水能力,并能在肠道内发酵,吸附胆固醇,降低餐后血糖;不溶性膳食纤维具有较强的膨胀性,可以促进肠道蠕动,降低营养物质的吸收,促进脂肪、胆固醇的排泄^[14-15]。膳食纤维理化特性的比较结果见表 3。持水力顺序:糙米米饭/糙米米线 > 白米米饭/糙米速食粥($P < 0.05$),可能原因是糙米原料在挤压膨化过程经高温和高剪切力作用,降解了水溶性膳食纤维的支链结构而导致结构被破坏、含量降低,因而其持水能力下降。膨胀力顺序:精白米饭/糙米米饭 > 糙米速食粥 > 糙米米线($P < 0.05$),原因可能是糙米原料在挤压过程中不可溶性膳食纤维被降解成小分子的物质而导致其含量下降。四组制品的膳食纤维对于饱和与不饱和脂肪酸的吸附能力具有相同的趋势,即米线和速食粥的膳食纤维对于脂肪酸的吸附能力均高于米饭,但前两者的吸附力无显著性差异。糙米米线和糙米速食粥膳食纤维具有较强的油脂吸附能力,脂肪吸附力可以间接反映膳食纤维吸附机体内胆固醇、改善血脂作用的能力^[16]。

表3 米制品中膳食纤维理化特性的比较

种类	持水力 (/mL/g)	吸附力 (/g/g)	不饱和脂肪酸	饱和脂肪酸
			吸附力 (/g/g)	吸附力 (/g/g)
精白米饭膳食纤维	9.28 ± 0.67 ^b	12.45 ± 0.07 ^a	1.59 ± 0.02 ^b	1.69 ± 0.01 ^b
糙米米饭膳食纤维	10.75 ± 0.04 ^a	12.04 ± 0.21 ^a	1.80 ± 0.09 ^b	2.03 ± 0.01 ^b
糙米米线膳食纤维	10.61 ± 0.09 ^a	8.84 ± 0.21 ^c	2.82 ± 0.33 ^a	3.55 ± 0.36 ^a
糙米速食粥膳食纤维	8.96 ± 0.55 ^b	9.49 ± 0.14 ^b	3.15 ± 0.16 ^a	3.27 ± 0.45 ^a

注:同一列字母一样表示无统计学差异,字母不一样可以认为有统计学差异($P < 0.05$)。

2.6 膳食纤维的抗氧化活性

从不同制品中提取出来的膳食纤维抗氧化活性测定结果见表4。由表4可知,3种糙米制品膳食纤维的总抗氧化能力、清除ABTS⁺和DPPH能力均高于精白米饭。其中,3种糙米制品膳食纤维的总抗氧化能力差异不显著。清除DPPH能力的顺序:速食粥>米线>米饭($P < 0.05$);速食粥和米线清除ABTS⁺的能力最强,是米饭的3~4倍,但前二者间差异不具有显著性。可能是由于糙米在挤压膨化加工成速食粥的过程中,膳食纤维的含量与组成结构均发生改变,且具有较强的清除自由基的能力。

表4 膳食纤维的抗氧化活性

种类	总抗氧化能力 (/U/mL)	清除DPPH能力	清除ABTS能力
		(/mmol Trolox 当量 /100 g)	(/mmol Trolox 当量 /100 g)
精白米饭膳食纤维	65.93 ± 1.08 ^b	128.20 ± 25.58 ^d	535.04 ± 26.35 ^c
糙米米饭膳食纤维	379.5 ± 16.26 ^a	176.20 ± 20.97 ^c	877.60 ± 26.35 ^b
糙米米线膳食纤维	350.55 ± 61.22 ^a	353.44 ± 12.79 ^b	2 919.76 ± 376.59 ^a
糙米速食粥膳食纤维	433.23 ± 19.33 ^a	829.76 ± 27.32 ^a	3 003.21 ± 191.99 ^a

注:同一列字母一样表示无统计学差异,字母不一样可以认为有统计学差异($P < 0.05$)。

3 结论

不同糙米制品中酚类物质含量及组成、膳食纤维的特性以及抗氧化活性不同,可能的原因在于加工方式对制品中抗氧化活性物质含量、组成结构及制品生物活性的影响。糙米制品的抗氧化活性、酚类物质含量以及膳食纤维吸附油脂的能力均高于精白米饭;经过现代加工方式制成的糙米速食粥和糙米米线与经过传统热加工制成的米饭类制品相比,酚类物质含量较高,膳食纤维具有较强的油脂吸附能力和自由基清除能力。

参考文献:

- [1]袁佐云,朱运平,俞伟祖,等.蒸煮与发酵对全谷物粉甲醇提取物抗氧化活性的影响[J].中国食品学报,2016,16(2):25-32.
- [2]周中凯,王晓凤,刁永佳,等.糙米中的生物活性成分及其对健康的影响[J].粮食与油脂,2016,29(4):1-4.
- [3]林永华.糙米食疗米饭的工艺优化及其降血糖、降血脂机理的初步探究[D].浙江大学,2015.
- [4]Esa N M, Kadir K K A, Amom Z, et al. Antioxidant activity of white rice, brown rice and germinated brown rice (in vivo, and in vitro) and the effects on lipid peroxidation and liver enzymes in hyperlipidaemic rabbits[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2):1306-1312.
- [5]杨新生,翟小童,谭斌,等.加工方式对全谷物粳米制品体外消化特性的影响[J].粮油食品科技,2017,25(2):5-10.
- [6]Ti H, Li Q, Zhang R, et al. Free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of milled fractions of different indica, rice varieties cultivated in southern China[J]. Food Chemistry, 2014, 159(13):166-174.
- [7]龚凌霄.青稞全谷物及其防治代谢综合征的作用研究[D].浙江大学,2013.
- [8]Shen Y, Jin L, Xiao P, et al. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(1):106-111.
- [9]程音.单一谷物与谷豆组合膳食纤维的物理特性及其对胰岛素抵抗的影响[D].扬州大学,2015.
- [10]Cheng Z, Moore J, Yu L. High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay. [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2006, 54(20):7429-36.
- [11]蔡亨.苦荞加工方式对其多酚类活性成分的影响研究[D].中南林业科技大学,2015.
- [12]戴涛涛,耿勤,曾子聪,等.加工方式对全谷物抗氧化活性影响研究进展[J].食品工业科技,2016,37(7).
- [13]Xu B J, Chang S K. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (Phaseolus vulgaris L.) as affected by thermal processing. [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(11):4754.
- [14]李华鑫.柠檬膳食纤维的制备及其性质的研究[D].西华大学,2012.
- [15]韩俊娟,木泰华,张柏林.膳食纤维生理功能的研究现状[J].食品科技,2008,33(6):243-245.
- [16]郭军玲.4种膳食纤维的生物活性比较及经PI3K通路改善HepG2细胞IR机制探讨[D].扬州大学,2014.