

藜麦麸皮营养成分测定及其油脂的抗氧化活性研究

赵雷, 李晓娜, 史龙龙, 刘鑫钰, 张建, 郝越, 王惠莹, 薛鹏

(潍坊医学院公共卫生与管理学院, 山东潍坊 261053)

摘要: 为了加强藜麦麸皮的利用价值, 以国标、高效液相法及气质联用法测定藜麦麸皮各营养成分, 并且对麸皮的脂类进行抗氧化活性测定。结果表明, 藜麦麸皮中蛋白质、淀粉、油脂含量较高, 分别占 26.86%、28.78%、14.15%; 矿物质含量也非常丰富, 其中含量较高的矿物质分别为钾、镁、钙、铁, 含量分别为 9197 mg/kg、7145 mg/kg、651 mg/kg、120 mg/kg; 6 种皂苷含量为 457.61 mg/g。经测定, 藜麦麸皮油脂主要由 22 种脂肪酸组成, 其中相对含量较高的四种脂肪酸为反油酸、花生四烯酸、芥酸以及油酸; 油脂的抗氧化活性实验表明, 藜麦麸皮油脂具备一定的抗氧化活性, 当浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 时, 对 DPPH 自由基以及超氧阴离子的清除率分别为 9.26%、4.06%。藜麦麸皮富含各类营养物质及活性物质, 具有一定的开发利用价值。

关键词: 藜麦麸皮; 营养成分; 油脂; 抗氧化

文章编号: 1673-9078(2019)11-199-205

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.11.028

Determination of the Nutritional Components in Quinoa Bran and the Antioxidant Activity of Its Derived Oils

ZHAO Lei, LI Xiao-na, SHI Long-long, LIU Xin-yu, ZHANG Jian, HAO Yue, WANG Hui-ying, XUE Peng

(School of Public Health and Management, Weifang Medical University, Weifang 261053, China)

Abstract: In order to enhance the utilization of quinoa bran, the nutritional components of quinoa bran were determined by the national standard using high performance liquid chromatography (HPLC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and the antioxidant activity of the bran oil was also determined. The results showed that the contents of protein, starch and oil in quinoa bran were 26.86%, 28.78% and 14.15%, respectively. The quinoa bran was also found rich in minerals: Those with higher contents were potassium, magnesium, calcium and iron, and their contents were 9197 mg/kg, 7145 mg/kg, 651 mg/kg, 120 mg/kg, respectively. Six saponins were found, with a total content of 457.61 mg/g. The oil of quinoa bran was composed of 22 fatty acids, among which, the four fatty acids with relative higher levels were elaidic acid, arachidonic acid, erucic acid and oleic acid. The antioxidant activity test revealed that the quinoa bran oil had certain antioxidant activity. At a concentration of 100 $\mu\text{g/mL}$, the scavenging rates of DPPH free radical and superoxide anion were 9.26% and 4.06% respectively. The quinoa bran was rich in all kinds of nutrients and active substances, and had some potential for development and utilization.

Key words: quinoa bran; nutrients; oil and grease; antioxidant

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd) 是一种原产于安第斯山脉的一年生苋科植物, 是古代印加民族的主要食物来源^[1], 目前在亚洲、非洲、欧洲以及南美洲等地区均有种植。我国西藏于 1987 年开始试种藜麦, 后得到普及, 2008 年开始大规模种植藜麦。我国山西、甘肃、青海、河北等省份藜麦产量较高^[2]。藜麦由于营养价值较高而被世界广泛关注, 富含蛋白质、氨基酸、淀粉、纤维素、矿物质, 尤其是氨基酸种类丰富且含量均衡, 被联合国粮食农业组织 (Food

收稿日期: 2019-03-15

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程“中式食品工程化技术”协同创新任务 (CAAS-XTCX2016005); 潍坊医学院博士基金项目 (02180602)

作者简介: 赵雷 (1993-), 男, 硕士, 研究方向: 功能性成分

通讯作者: 薛鹏 (1989-), 男, 博士, 研究方向: 功能性成分

and Agriculture Organization, FAO) 称为唯一一种单体植物便可以满足人体基本营养需求的营养作物^[3]。除此之外, 藜麦当中还含有许多生物活性物质包括皂苷、黄酮类及多酚类物质等, 从而具有抗炎、抗菌、抗肿瘤、抗衰老等效果^[4-6], 使其成为了包括医学、食品卫生学在内的一些领域的重点研究对象。

藜麦种皮上富含藜麦皂苷和类黄酮成分, 导致藜麦籽粒味道苦涩, 不利于食用。因此在食用之前, 通常会对藜麦籽粒进行脱皮处理, 使得皂苷含量低于 0.11%, 以消除食用时藜麦的不良口味^[7]。从而在实际生产过程中会产生大量的藜麦麸皮, 少数麸皮饲用, 大多数麸皮会被丢弃, 不但造成了资源浪费, 也对环境造成了潜在威胁。有研究表明, 谷物麸皮中富含营养物质与矿物质, 特别是蛋白质与油脂类成分要高于

精加工产品^[8]。因此在实际生产过程中,越来越多的加工副产物可作为一种新型的食用资源加以高值化利用^[9-10]。

本研究以藜麦麸皮为原料,测定藜麦麸皮中各营养成分及活性成分皂苷的含量,提取藜麦麸皮油脂,并对油脂成分与抗氧化活性进行探究。从而为提升藜麦麸皮的利用价值提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

藜麦麸皮,2018年购自山西省静乐县山西亿隆藜麦有限公司,粉碎机粉碎后过60目筛子筛选备用;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼,梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;石油醚、乙醚、氢氧化钾、冰醋酸、甲醇、无水乙醇、2,6-二叔丁基-4-甲基苯、丙酮、邻苯三酚、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、盐酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、二硫苏糖醇(DTT)、高氯酸、香草醛,国药集团化学试剂有限公司,均为分析纯;商陆皂苷甲标准品(纯度>99%),上海源叶生物科技有限公司;96孔板。

SZF-06A脂肪测定仪,上海昕瑞仪器仪表有限公司;Thermo酶标仪,美国;GC 1100气相色谱仪,北京普析通用仪器责任有限公司;高效液相色谱仪,日本岛津;ICP-MS 7900电感耦合等离子体质谱仪,美国安捷伦;PALL-cascade超纯水制备机,济南东岱科学器材有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 藜麦麸皮各成分含量测定

1.2.1.1 藜麦麸皮水分含量的测定

根据GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中的直接干燥法测定。

1.2.1.2 藜麦麸皮中蛋白质含量的测定

根据GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定。

1.2.1.3 藜麦麸皮中膳食纤维含量的测定

根据GB 5009.88-2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》中的方法进行测定。

1.2.1.4 藜麦麸皮中还原性多糖含量的测定

根据GB 5009.7-2016《食品安全国家标准食品中还原糖的测定》中的苯酚-硫酸法进行测定。

1.2.1.5 藜麦麸皮中淀粉含量的测定

根据GB 5009.9-2016《食品安全国家标准食品中淀粉的测定》中的酶水解法进行测定。

1.2.1.6 藜麦麸皮中油脂含量的测定

根据GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定。

1.2.1.7 藜麦麸皮中矿物质含量的测定

根据GB 2760-2017《食品安全国家标准食品添加剂使用标准》中的方法进行测定。

1.2.1.8 HPLC法测定藜麦麸皮中皂苷含量

根据文献^[22]色谱条件进行测定。具体方法为称取0.5 g藜麦麸皮粉末,加入10 mL甲醇称重,超声震荡30 min,静置后再次称重,补足差重,取1 mL进样。

1.2.2 藜麦麸皮油脂的制备

称取六份、藜麦麸皮粉样品,每份样品 7 ± 0.001 g,按照国标GB 5009.6-2016的方法进行油脂的制备。藜麦麸皮含油量的计算式见式(1),样品重复分析三次,取三次结果的平均值。

$$\omega = m_1/m \times 100\% \quad (1)$$

式中: ω 为含油量(以质量分数计),单位为%; m_1 为干燥后提取物质量,单位为克(g); m 为藜麦麸皮样品粉质量,单位为克(g)。

1.2.3 藜麦麸皮油脂脂肪酸组成的气质联用仪分析

参考NY/T 3110-2017《(植物油料中全谱脂肪酸的测定气相色谱-质谱法)》称取均匀试样300 mg(精确至0.1 mg),移入10 mL具塞试管中,加入2 mL石油醚-乙醚混合液与1 mL氢氧化钾-甲醇溶液;涡旋振荡,静置反应1 h;再次涡旋振荡,加入2 mL去离子水;静置30 min分层,以4500 r/min离心2 min,取上清液,用石油醚稀释20倍,供气相色谱-质谱联用仪测定。

1.2.3.1 气相色谱条件

参考李丹华^[11]的方法稍作改进。毛细管色谱柱:聚二氰丙基硅氧烷强极性固定相(内径0.5 mm,膜厚0.2 μ m);进样口温度:220 $^{\circ}$ C;升温程序:100 $^{\circ}$ C保持0.2 min,100~215 $^{\circ}$ C按10 $^{\circ}$ C/min速度升温后保持0.1 min,215~244 $^{\circ}$ C按2 $^{\circ}$ C/min速度升温后保持0.2 min;载气:氦气;流速:1.2 mL/min;分流比:20:1;进样量:1 μ L;接口温度:280 $^{\circ}$ C。

1.2.3.2 质谱条件

离子源温度:250 $^{\circ}$ C;四级杆温度:150 $^{\circ}$ C;电离模式:EI;溶剂延迟时间:3 min;数据采集模式:选择离子检测方式(SIM),监测离子: $m/z=55$ 、67、74、79。

1.2.3.3 脂肪酸含量测定

在上述条件下将脂肪酸标准测定液及样品测定液分别注入气相色谱仪。利用37种脂肪酸甲酯混合标准

品判断各峰对应的脂肪酸, 结合峰面积归一法计算其相对含量。脂肪酸含量的计算见式 (2):

$$X=A/\Sigma A \times 100 \quad (2)$$

式中: X: 某脂肪酸占总脂肪酸的百分比 (单位为%); A: 脂肪酸的峰面积; ΣA : 脂肪酸甲酯的峰面积之和。

1.2.4 DPPH 自由基清除活性测定

参照 Shimada 等的方法^[12], 略作改动。配制 0.1 mmol/L DPPH 溶液 (以无水乙醇作溶剂)。称取 0.1 g 藜麦麸皮油脂样品, 用无水乙醇配制成不同浓度, 将试剂或样品依次加入各试管, 混合均匀, 室温下准确反应 30 min, 在 517 nm 下测定吸光值 (A)。使用 BHT 作为阳性对照, 计算样品对 DPPH 的清除能力。

1.2.5 藜麦麸皮油对超氧阴离子清除率的测定

参照静天玉等的方法^[13], 略作改动。采用邻苯三酚氧化法, 称取 0.01 g 藜麦麸皮油脂, 加入 2 mL 丙酮溶解, 用蒸馏水配制成不同浓度, 将试剂或样品依次加入各试管, 混合均匀。准确反应 10 min 后, 加入 30 μ L DTT 溶液终止反应, 1 h 内测定 325 nm 处的吸光值 (A)。使用 BHT 作为阳性对照, 计算藜麦麸皮油脂对超氧阴离子的清除率。

1.2.6 数据统计分析

每组试验指标做三组平行实验, 最后测定的结果数据用 SPSS 17.0 统计软件进行分析, 数据表示用“均值 \pm 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 藜麦麸皮中营养成分含量测定

藜麦麸皮中常见的营养成分含量如表 1 所示:

表 1 藜麦麸皮中常见的营养成分含量 (%)

营养成分	含量/%	营养成分	含量/%
水分	8.60 \pm 0.21	还原性多糖	4.85 \pm 0.12
蛋白质	26.86 \pm 0.11	淀粉	28.78 \pm 0.26
膳食纤维	12.90 \pm 0.09	油脂	14.15 \pm 0.33

藜麦麸皮中含有丰富的蛋白质以及淀粉, 其含量分别占 26.86%、28.78%, 其蛋白含量远高于白藜麦种子 (11.81%), 是红色、黑色藜麦种子蛋白含量 (13.74%、13.39%) 的两倍^[14], 与其他作物例如大麦、水稻、玉米等相比较, 蛋白含量也表现出明显的优势^[15,16], 表明更易从藜麦麸皮中提取蛋白。但淀粉含量远低于藜麦种子淀粉含量 (61.23%), 说明淀粉主要集中在藜麦的种子里; 陈树俊^[17]的研究表明, 藜麦种子中的膳食纤维总含量为 8% 左右, 而藜麦麸皮中的膳食纤维含量为 12.90%, 所以益将藜麦麸皮制成粗谷

物食品, 用于降低胆固醇、调节血糖水平, 预防心血管疾病和糖尿病。此外, 藜麦麸皮中的油脂含量占 14.15%, 结果说明藜麦麸皮有提取油脂的潜力。

2.2 藜麦麸皮中各种矿物质含量测定

藜麦麸皮中各种矿物质含量测定如表 2 所示:

表 2 藜麦麸皮中各种矿物质含量

Table 2 Various mineral contents in quinoa barn (mg/kg)

矿物质	含量	矿物质	含量
钠	65 \pm 1.80	钴	0.23 \pm 0.02
镁	7145 \pm 31.02	铜	15.23 \pm 1.27
钾	9197 \pm 53.52	锌	65.87 \pm 1.61
钙	651 \pm 21.51	砷	0.18 \pm 0.01
铬	0.75 \pm 0.06	硒	0.20 \pm 0.01
锰	93.50 \pm 1.68	镉	0.06 \pm 0.01
铁	120 \pm 5.72	铅	0.35 \pm 0.04

藜麦麸皮中含有多种矿物质, 尤其是钾、镁、钙、铁、钠以及锌含量丰富, 这与焦红艳^[18]的研究一致, 尤其是钾、铁、锌的营养质量指数 (Index of Nutrition Quality, INQ) 大于 1, 这使藜麦麸皮制成的食物更适宜于超重或者肥胖的人。藜麦籽粒中的钾、镁、铁、锰、铜、钠含量分别为 6939 mg/kg、4152 mg/kg、92 mg/kg、34 mg/kg、6 mg/kg、12 mg/kg, 其含量均低于藜麦麸皮中矿物质的含量^[19]; 但藜麦籽粒中的钙含量为 918 mg/kg, 其含量远远高于藜麦麸皮中钙的含量。藜麦麸皮的钙、镁、铁、铜、锌高于小麦、水稻、大麦中各元素含量^[20,21]。

2.3 HPLC 法测定藜麦皂苷含量

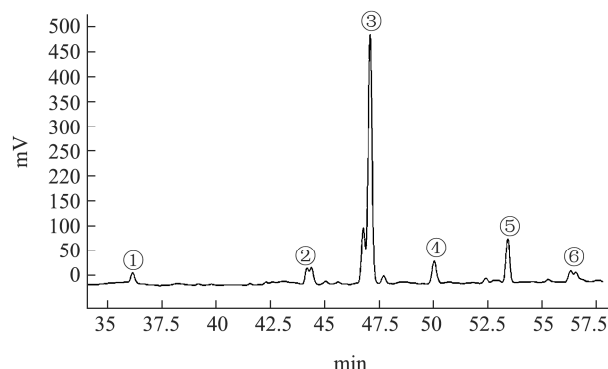


图 1 藜麦麸皮中皂苷液相图谱

Fig.1 Liquid Phase map of saponins in *Chenopodium gluten*

实验室前期对于藜麦麸皮的乙醇提取物进行了分离纯化, 得到 6 种主要物质, 根据 NMR 结合高分辨质谱数据对 6 种物质进行鉴定^[22], 鉴定后与皂苷液相图谱进行比对, 发现所分离纯化的 6 种物质即为峰①-峰⑥, 分别为峰①(RT=36 min)3-O- β -D-glucopyranosyl-

(1→3)- α -L-arabinopyranosyl hederagenin 28-O- β -D-glucopyranosyl, 属于常春藤(Hed)型皂苷、峰②(RT=44 min)3-O- β -D-glucopyranosyl-(1→3)- α -L-ara-binopyranosyl-phytolaccagenic acid-27-oxo-28-O- β -D-glucopyranosyl, 属于商陆酸型(PA)皂苷、峰③(RT=46 min)3-O- β -D-glucopyranosyl-(1→3)- α -L-arabinopyranosyl-phytolaccagenic acid 28-O- β -D-glucopyranosyl 属于商陆酸型(PA)型皂苷、峰④(RT=50 min)3-O- α -L-arabinopyranosyl phytolaccagenic acid 28-O- β -D-glucopyranosyl ester, 属于商陆酸型(PA)皂苷、峰⑤(RT=53 min)3-O- β -D-glucopyranosyl-(1→4)- β -D-glucopyranosyl-28-O-hederagenin, 属于常春藤(Hed)型皂苷、峰⑥(RT=56 min)3-O-phytolaccagenic acid 28-O- β -D-glucopyranosyl ester, 属于商陆酸型(PA)皂苷。采用外标法对 6 种皂苷进行定量分析, 结果如表 3 所示。

藜麦麸皮中的皂苷类化合物含量为 4%左右, 远

高于藜麦籽粒中皂苷含量 0.4%~1.1%^[23]。目前, 基于藜麦皂苷较高的安全性, 国外正开发藜麦皂苷作为生物农药抑制福寿螺、金蜗牛等软体有害动物^[24,25]。因此, 从藜麦麸皮中制备的藜麦皂苷具有进一步开发利用的价值。

表 3 6 种皂苷的标准曲线以及含量测定

Table 3 Standard curve and content determination of 6 saponins

皂苷分类	标准曲线	R ² 值	含量
峰①	y=657810x-119650	0.997	35.40 mg/g
峰②	y=223752x-126964	0.990	79.68 mg/g
峰③	y=890226x-1533636.8	0.996	195.48 mg/g
峰④	y=2662429.8x-2107937.4	0.993	27.28 mg/g
峰⑤	y=343494.34x+2448.5	0.996	101.92 mg/g
峰⑥	y=318993x-60733	0.998	17.85 mg/g

2.4 藜麦麸皮油脂的脂肪酸组成

表 4 藜麦麸皮油脂的部分脂肪酸组成及其相对含量 (%)

Table 4 The composition and relative content of the fatty acid in the bran and fat of wheat bran

序号	脂肪酸组成	相对含量	序号	脂肪酸组成	相对含量
1	十三烷酸	0.49±0.01	10	二十一烷酸	0.62±0.06
2	肉豆蔻脑酸	0.19±0.02	11	二十碳三烯酸	3.90±0.02
3	十五碳烯酸	0.24±0.02	12	芥酸	13.82±0.10
4	棕榈油酸	0.23±0.10	13	二十二碳二烯酸	0.40±0.01
5	十七碳烯酸	1.74±0.03	14	二十碳五烯酸 (EPA)	0.35±0.04
6	反油酸	39.91±0.01	15	二十四碳烯酸	0.44±0.02
7	油酸	4.13±0.20	16	二十二碳六烯酸 (DHA)	0.54±0.02
8	亚油酸	0.47±0.01	17	二十碳烯酸	3.96±0.01
9	花生四烯酸	27.81±0.01	18	α -亚麻酸	0.71±0.01

藜麦麸皮中提取的油脂含量为 14.15%±0.33%; 采用气相色谱-质谱联用仪分析藜麦麸皮油脂的脂肪酸组成, 共检测到 22 种脂肪酸 (其中 4 种含量很低, 忽略计算), 通过与 37 种脂肪酸甲酯混合标准品的脂肪酸比较, 鉴定出藜麦麸皮油脂的脂肪酸种类, 并计算出其相对含量, 藜麦麸皮油脂的部分脂肪酸组成及其相对含量结果如表 4 所示。

藜麦麸皮油脂中的不饱和脂肪酸 (单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸) 含量为 70.48%, 其中单不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸的 64.17%, 多不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸的 6.31%; 饱和脂肪酸含量为 29.52%。相对含量较高的四种脂肪酸为反油酸、花生四烯酸、芥酸以及油酸。值得注意的是, 反油酸含量结果略高, 这与前期报道中采用超临界萃取法获取的藜麦油脂中反油酸含量较高相符合, 可能是由藜麦油脂本身的特殊性决定的^[26]。反油酸作为含量最高的脂肪酸, 是一

种天然反式脂肪酸, Dorfman S. E. 等人经流行病学研究表明, 天然反式脂肪酸对人体健康无害也无益^[27]。反油酸是油酸的同分异构体, 被认为是 IP-TFAs 的典型代表物。天然植物油中的反油酸含量通常较低, 但在该植物油中的反油酸含量较高, 罗凡等人研究结果初步得出高温是油脂中反式脂肪酸产生的充分条件^[28]。本实验中油脂是采用索氏抽提法获取, 由于采用正己烷作为提取剂, 提取温度较高, 从而影响藜麦油脂中反式脂肪酸的含量。

花生四烯酸是一种对人体有益的脂肪酸, 在藜麦麸皮油脂中含量较高 (27.81%±0.01%), 经研究发现, 花生四烯酸及产物参与了体内多种疾病过程, 如哮喘、心血管疾病、肿瘤等^[29]; 花生四烯酸在炎症反应过程中, 可以增强巨噬细胞、中性粒细胞对病原菌的杀伤作用, 并可合成抗炎因子^[30]。花生四烯酸进入人体后, 在生物体内主要是以磷脂的形式存在于细胞膜上, 需

要时经酶水解而释放出来,在磷脂酶 A2 和磷脂酶 C 的作用下分解成游离的花生四烯酸^[31]。花生四烯酸的释放受磷脂酶 A2 和磷脂酶 C 的调节,当细胞膜受到各种刺激时,花生四烯酸便从细胞膜的磷脂池中释放出来,并转变为具有生物活性的代谢产物^[31]。由此藜麦麸皮油可以作为人体花生四烯酸的潜在来源之一。芥酸是一种 22 碳长链脂肪酸,在现代工业中发挥越来越重要的作用^[32,33],生产加工过程中可以根据其性质进行加工处理从而降低含量。油酸也是一种不可或缺的营养物质,在人和动物的新陈代谢过程中发挥着举足轻重的作用,但人体自身合成的油酸并不能满足自身的需要,必须从日常食品中摄取一定的量来满足人们对油酸的需求。在植物生长过程中,油酸含量与芥酸含量存在一定的关系,因此,我们可以通过改良其在生长过程中某些因素来提高藜麦麸皮中的油酸含量而降低其芥酸含量^[34],从而为油料的开发利用提供新的途径。

2.5 藜麦麸皮油脂对 DPPH 自由基的清除率测定

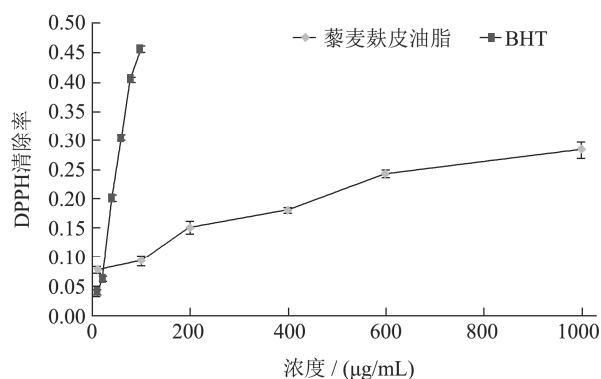


图2 不同浓度的藜麦麸皮油脂和 BHT 对于 DPPH 自由基的清除率

Fig.2 The scavenging rate of DPPH free radical by different concentrations of quinoa bran oil and BHT

不同浓度的藜麦麸皮油脂和 BHT(2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚)对 DPPH 自由基的清除率趋势图如图 2。通过比较,藜麦麸皮油脂存在一定的清除 DPPH 自由基的能力,且清除率随浓度增加而逐渐升高。在低浓度时,藜麦麸皮油脂清除 DPPH 自由基的能力稍高于 BHT,但是,当两者浓度同为 100 μg/mL 时,藜麦麸皮油脂对 DPPH 自由基的清除率为 9.26%,而 BHT 的清除率为 45.69%,藜麦麸皮油脂的清除率为 BHT 清除率的 1/5。在同等的浓度下,藜麦麸皮油脂清除 DPPH 自由基的能力要远远高于牡丹籽油和甜橙油^[35,36]。通过藜麦麸皮油脂 DPPH 清除率线性拟合曲线

可知,该油脂清除羟基自由基的 IC₅₀ 值是 2.08 mg/mL。DPPH 自由基是一种稳定的自由基,其广泛用于评估油脂的自由基清除活性^[37]。藜麦麸皮油脂能有效清除 DPPH 自由基,表明其具有一定的抗氧化能力,可用于功能性油脂产品的开发。

2.6 藜麦麸皮油脂对超氧阴离子的清除率测定

超氧阴离子是生物体内自由基产生的根源,清除超氧阴离子的意义很大,藜麦麸皮油脂和 BHT 在不同浓度下对于超氧阴离子的清除率趋势见图 3。

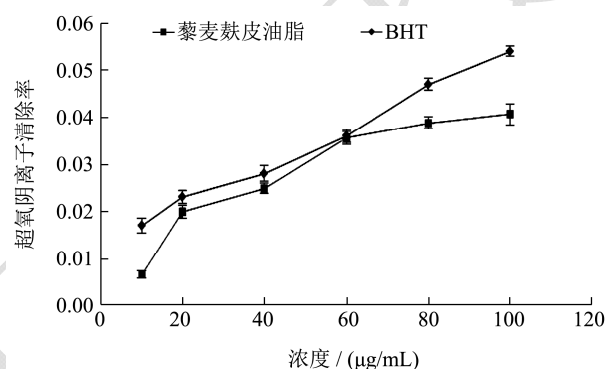


图3 不同浓度的藜麦麸皮油脂和 BHT 对超氧阴离子清除率

Fig.3 The scavenging rate of superoxide anion by different concentrations of quinoa bran oil and BHT

比较发现,BHT 对于清除超氧阴离子的能力略高于藜麦麸皮油脂,当浓度为 60 μg/mL 的时候,BHT 和藜麦麸皮油脂对超氧离子的清除率分别为 3.60%和 3.56%,表明藜麦麸皮油脂存在一定的清除超氧阴离子的活性但其活性较低,其主要原因是超氧阴离子的反应体系为水溶液。

藜麦油脂中具有大量甾醇类物质如类胡萝卜素类及维生素 E,且量高于小麦,水稻,燕麦等粮食作物^[38]。此外,藜麦油脂中富含不饱和脂肪酸,不饱和脂肪酸含量越高,其抗氧化活性越强^[39]。这也可能是藜麦油脂具有较高抗氧化性的原因之一。然而,藜麦麸皮油脂中不饱和脂肪酸含量高达 70.48%,容易被氧化从而不利于油脂的长期储存。植物油中常见的硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸相对氧化速率比为 1:10:100:200,高油酸和高硬脂酸的植物油会表现出较高的氧化稳定性^[40],藜麦麸皮油脂中的油酸以及硬脂酸(十八烷酸)含量很低,这说明单纯藜麦油脂在加工存储中存在被氧化的风险。

3 结论

藜麦麸皮中含有多种营养成分、活性成分以及矿

物质等微量元素,其蛋白质、淀粉以及油脂的含量较高,其中蛋白含量超过25%,具有一定的开发利用价值;藜麦麸皮中的皂苷含量也超过3%,可以进一步开发利用制备成生物活性制剂。在藜麦麸皮油脂中有大量的不饱和脂肪酸的存在,且甾醇类物质含量较高,具有一定的抗氧化性,后期可根据油脂特性进行工艺化加工处理,有望制备成可食用油脂;另外,藜麦麸皮油脂的活性成分以及不同组分的拮抗作用和协同作用有待进一步分析研究,藜麦麸皮油脂的加工处理及在其他方面的应用还有待进一步的探索和改良。总之,基于丰富的营养成分类型和较高的活性成分含量,藜麦麸皮具有进一步深加工的利用价值。

参考文献

- [1] Jacobsen S E. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. *Food Reviews International*, 2003, 19(1-2): 167-177
- [2] 任贵兴,杨修仕,么杨. 中国藜麦产业现状[J]. *作物杂志*, 2015, 12(5): 1-5
REN Gui-xing, YANG Xiu-shi, YAO Yang. Current Situation of quinoa industry in China [J]. *Crops*, 2015(5): 1-5
- [3] James L E A, Chapter 1 quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties [J]. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2009, 58(9): 1-31
- [4] Stuardo M, Maritin R S. Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea* [J]. *Industrial Crops and Products*, 2008, 27(3): 296-302
- [5] Hirose Y, Fujita T, Ishii T, et al. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1300-1306
- [6] Woldemichael G M, Wink M. Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa* [J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2327-2332
- [7] Laura M L, Aylen C, Axel E N. Traditional post-harvest processing to make quinoa grains (*Chenopodium quinoa* var. *quinoa*) apt for consumption in Northern Lippez (Potosí, Bolivia): ethnoarchaeological and archaeobotanical analyses [J]. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2011, 3(1): 49-70
- [8] 薛鹏,张威毅,张丰香. 元阳红米麸皮、精米、糙米、留胚米中营养成分及花色苷含量分析[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(3): 212-217, 158
XUE Peng, ZHANG Wei-yi, ZHANG Feng-xiang, et al. Analysis of nutrient composition and anthocyanin content in wheat bran, milled rice, brown rice and embryo rice in Yuanyang [J]. *Modern Food Technology*, 2018, 34(3): 212-217, 158
- [9] 任贵兴,叶全宝. 藜麦生产与应用[M]. 北京:科学出版社, 2016
REN Gui-xing, YE Quan-bao. *Production and Application of Quinoa* [M]. Beijing: Science press, 2016
- [10] 杜静婷,陈超,范三红. 响应面法优化藜麦糠皂苷的提取及抗氧化活性[J]. *山西农业科学*, 2016, 44(7): 932-937
DU Jing-ting, CHEN Chao, FAN San-hong. Optimization of extraction conditions for saponins from *Chenopodium quinoa* bran by response surface method and its antioxidant activities [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2016, 44(7): 932-937
- [11] 李丹华,朱圣陶. 气相色谱法测定常见植物油中脂肪酸[J]. *粮食与油脂*, 2006, 11(8): 29-32
LI Dan-hua, ZHU Sheng-tao. Determination of fatty acids in vegetable oils by gas chromatography [J]. *Cereals and Oils*, 2006, 11(8): 29-32
- [12] Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, et al. Antioxidative properties of xanthan on the antioxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion [J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(11): 945-948
- [13] 静天玉,赵晓瑜. 用终止剂改进超氧化物歧化酶邻苯三酚测活法[J]. *生物化学与生物物理*, 1995, 22(1): 84-86
JING Tian-yu, ZHAO Xiao-yu. The improved pyrogallol method by using terminating agent for superoxide dismutase measurement [J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 1995, 22(1): 84-86
- [14] 李玉英,王玉玲,王转花. 藜麦营养成分分析及黄酮提取物的抗氧化和抗菌活性研究[J]. *山西农业科学*, 2018, 387(5): 61-65, 73
LI Yu-ying, WANG Yu-ling, WANG Zhuan-hua. Study on nutritional components of quinoa and the antioxidant and antibacterial activity of flavonoids extracts [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 387(5): 61-65, 73
- [15] Verena N, Juan D, Ruth C. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. *Food Chemistry*, 2016, 193(11): 47-54
- [16] Peiretti P G, Gai F, Tassone S. Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and plants at different growth stages [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 183(1-2): 56-61

- [17] 陈树俊,胡洁,庞振鹏,等.藜麦营养成分及多酚抗氧化活性的研究进展[J].山西农业科学,2016,44(1):110-114
CHEN Shu-jun, HU Jie, PANG Zhen-peng, et al. Research progress on nutritional components and antioxidant activity of polyphenol of quinoa [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(1): 110-114
- [18] 焦红艳,高文庚,陈丽文.藜麦营养成分测定及对孕期妇女健康的促进作用[J].基层医学论坛,2018,530(14):36-37
JIAO Hong-yan, GAO Wen-geng, CHEN Li-wen. Determination of the nutritional composition of quinoa and its effect on health of pregnant women [J]. The Medical Forum, 2018, 530(14): 36-37
- [19] Ando H, Chen Y C, Tang H J, et al. Food components in fractions of quinoa seed [J]. Food Science and Technology Research, 2002, 8(1): 80-84
- [20] Koziol M J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1992, 5(1): 35-68
- [21] Ahuja J K C, Haytowitz D, Pehrsson P, et al. USDA national nutrient database for standard reference [R]. 2015, Release 28. DOI: 10.13140/RG2.1.2550.5523
- [22] 赵雷,丁葵英,薛鹏,等.藜麦麸皮不同极性部位的抑菌及酪氨酸酶抑制活性研究[J].食品工业科技,2019,40(6):82-88, 94
ZHAO Lei, DING Kui-ying, XUE Peng, et al. Bacteriostatic and tyrosinase inhibitory activities of different polar sites from quinoa bran [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(6): 82-88, 94
- [23] Mastebroek H D, Limburg H, Gilles T, et al. Occurrence of saponin in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of the Sciences of Food and Agriculture, 2000, 80(11): 152-156
- [24] Brito F C D, Gosmann G, Oliveira G T. Extracts of the unripe fruit of *Ilex paraguariensis* as a potential chemical control against the golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda, *Ampullariidae*) [J]. Natural Product Research, 2018, 11(21): 1-4
- [25] Jiang X, Hansen H C B, Strobel B W, et al. What is the aquatic toxicity of saponin-rich plant extracts used as biopesticides [J]. Environmental Pollution, 2018, 236(21): 416-424
- [26] 柳慧芳,郭金英,江利华,等.超临界 CO₂ 萃取藜麦油脂的工艺优化及其脂肪酸成分分析[J].食品工业科技,2018, 39(22):200-202
LIU Hui-fang, GUO Jin-ying, JIANG Li-hua, et al. Optimization of supercritical CO₂ extraction of quinoa oil and fatty acid composition analysis [J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(22): 200-202
- [27] Dorfman S E, Laurent D, Gounarides J S, et al. Metabolic implications of dietary trans-fatty acids [J]. Obesity, 2009, 17(6): 1200-1207
- [28] 罗凡,费学谦,李康雄,等.高温油茶籽油中苯并芘和反油酸产生规律研究[J].中国粮油学报,2016,31(8):44-47,54
LUO Fan, FEI Xue-qian, LI Kang-xiong, et al. Study on the production of benzo pyrene and reverse oleic acid in high temperature *Camellia oleifera* seed oil [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2016, 31(8): 44-47, 54
- [29] Peters G M. Leukotrienes [J]. New England Journal of Medicine, 2007, 357(11): 1841-1854
- [30] Peters G M, Canetti C, Mancuso P. Leukotrienes: Underappreciated mediators of innate immune responses [J]. The Journal of Immunology, 2005, 174(21): 589-594
- [31] 周之伟,王文娟,白文佩,等.花生四烯酸及其代谢产物与围绝经期的关系[J].国际妇产科学杂志,2015,42(2):177-179, 186
ZHOU Zhi-wei, WANG Wen-juan, BAI Wen-pei, et al. Relationship between arachidonic acid and its metabolites and perimenopause [J]. International Journal of Obstetrics and Gynecology, 2015, 42(2): 177-179, 186
- [32] 王贵春,杨光圣.油菜高含油量育种研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(18):5373-5375
WANG Gui-chun, YANG Guang-sheng. Research progress in the high oil content oilseed rape breeding [J]. Journal of Anhui Agricultural Science. 2007,35(18):5373-5375
- [33] 张瑛.花生衣多酚的提取、纯化及其活性研究[D].太原:山西大学,2016
ZHANG Ying. Peanut skin polyphenols extraction, purification and activity research [D]. TaiYuan: ShanXi University, 2016
- [34] 杨柳,李东欣,谭太龙.不同油酸含量油菜脂肪酸含量分析[J].作物研究,2018,32(5):390-394,402
YANG Liu, LI Dong-xin, TAN Tai-long. Analysis of fatty acid content in rapeseed with different oleic acid contents [J]. Crop Research, 2018, 32(5): 390-394, 402