

苦荞酒酒糟中酚类化合物成分分析 及其体外抗氧化活性

Phenolic compositions and in vitro antioxidant activities of tartary buckwheat wine lees

赵佳伟^{1,2} 郑佳^{1,2,3} 李茂^{1,2} 张伟建^{1,2} 晏俊玲^{1,2}

ZHAO Jiawei^{1,2} ZHENG Jia^{1,2,3} LI Mao^{1,2} ZHANG Weijian^{1,2} YAN Junlin^{1,2}

(1. 宜宾五粮液股份有限公司, 四川 宜宾 644000; 2. 固态发酵资源利用四川省重点实验室,
四川 宜宾 644000; 3. 中国轻工业浓香型白酒固态发酵重点实验室, 四川 宜宾 644000)

(1. Wuliangye Yibin Co., Ltd., Yibin, Sichuan 644000, China; 2. Solid-state Fermentation Resource Utilization
Key Laboratory of Sichuan Province, Yinbin, Sichuan 644000, China; 3. Key Laboratory of Wuliangye-flavor
Liquor Solid-state Fermentation, China National Light Industry, Yibin, Sichuan 644000, China)

摘要:目的:探究苦荞酒酒糟中酚类化合物的组成及含量,并研究其抗氧化活性。方法:通过高效液相色谱和液相质谱鉴定苦荞酒酒糟中酚类化合物的组成,并评价苦荞酒酒糟的体外抗氧化活性。结果:苦荞酒酒糟中共鉴定出 7 种酚类化合物,包括 5 种黄酮类化合物和 2 种酚酸类化合物,其中芦丁含量最高为 (9.350 ± 0.050) mg/g,其次为槲皮素、异槲皮素、山奈酚-3-*o*-芸香糖苷及山奈酚。当苦荞酒糟提取液质量浓度为 0.5 mg/mL 时,对羟自由基、ABTS⁺ 自由基、DPPH 自由基的清除率分别为 $(73.29 \pm 0.09)\%$, $(96.21 \pm 0.25)\%$, $(82.55 \pm 0.68)\%$,FRAP 值为 (2.49 ± 0.09) mmol/L。结论:发酵后的苦荞酒酒糟提取物具有一定的抗氧化活性,在低浓度条件下,对羟自由基和 ABTS⁺ 自由基仍表现出较好的清除效果。
关键词:苦荞酒;酒糟;酚类化合物;物质组成;抗氧化活性

Abstract: Objective: Explored the composition and content of phenolic compounds in tartary buckwheat wine lees, and study their antioxidant activity. **Methods:** Phenolic compounds in tartary buckwheat wine lees were analyzed by HPLC and LC-MS. And evaluating its antioxidant activity. **Results:** 7 phenolic compounds were identified from tartary buckwheat wine lees, including 5 flavonoids, with the highest content of rutin of (9.350 ± 0.050) mg/g, followed by quercetin, isoquercetin, kaempferol-3-*o*-rutoside and kaempferol of two phenolic

compounds. At 0.5 mg/mL, the scavenging rates of hydroxyl free radical, ABTS⁺ and DPPH free radical reached $(73.29 \pm 0.09)\%$, $(96.21 \pm 0.25)\%$ and $(82.55 \pm 0.68)\%$, respectively, with FRAP value of (2.49 ± 0.09) mmol/L. **Conclusion:** The fermented tartary buckwheat lees are rich in phenolic compounds, and the lees extracts has certain antioxidant activity. In addition, at low concentration, the tartary buckwheat wine lees also shows good scavenging effects on hydroxyl radical and ABTS⁺ radical.

Keywords: tartary buckwheat wine; lees; phenolic compositions; material composition; antioxidant activity

苦荞属蓼科双子叶植物,富含氨基酸、蛋白质和多酚等营养元素^[1-2],其中酚类化合物是其重要的保健成分。研究显示,苦荞中酚类化合物主要以芦丁、槲皮素为主,也含有原儿茶酸、绿原酸、山奈酚等物质^[3],这些成分具有调节肠道菌群结构、抗炎、抑菌、抗氧化、降血糖等功效^[4-5]。

作为一种药食同源植物,苦荞具有较高的营养食用价值和药用价值,可入药或作为食品,以苦荞为原料酿造的苦荞酒是许多少数民族的传统饮品^[6],苦荞酒糟是主要的酿造副产物。研究^[7]表明,在蒸馏生产过程中,发酵物料中一些不挥发性组分如蛋白质、多糖和多酚等天然活性物质,基本残留在酒糟中。目前对苦荞酒酒糟的研究主要集中在饲料的开发、特定物质的提取等方面^[8-9],而有关酒糟中天然活性物质的组成研究较少。试验拟利用 HPLC 和 LC-MS 相结合,对苦荞酒酒糟提取物中酚类化合物的组成进行分析,并对苦荞酒酒糟的抗

作者简介:赵佳伟(1994—),男,宜宾五粮液股份有限公司工程师,硕士。E-mail: 1227238109@qq.com

收稿日期:2023-07-17 **改回日期:**2023-09-12

氧化活性进行研究,以期为苦荞酒酒糟的综合利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苦荞酒酒糟:实验室发酵型苦荞酒过滤后所得;

芦丁、槲皮素、山奈酚、山奈酚-3-*o*-芸香糖苷、没食子酸、原儿茶素标准品:北京伟业计量技术研究院;

异槲皮素:成都麦德生科技有限公司;

1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ)、ABTS 溶液:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

氢氧化钠、亚硝酸钠等:分析纯,成都市科隆化学有限公司;

乙腈、甲醇、乙醇:LC-MS 级,美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

高效液相色谱仪:1290 系列,美国 Agilent 公司;

质谱检测器:6520B 系列,美国 Agilent 公司;

紫外分光光度计:EVOLutIon 300 型,美国 Thermo Scientific 公司;

高效液相色谱仪:1260 型,美国 Agilent 公司。

1.3 方法

1.3.1 苦荞酒酒糟活性成分提取 将蒸馏过后的苦荞酒酒糟于 55 °C 烘干,研磨,过 60 目筛。根据文献[10]对苦荞酒酒糟中酚类化合物进行萃取,过滤,收集滤液备用。

1.3.2 总黄酮含量测定

(1) 芦丁标准曲线制作:根据文献[10],以芦丁浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,绘制标准曲线方程 $y = 0.073\ 5x - 0.000\ 3$, $R^2 = 0.999\ 92$ 。

(2) 酒糟中总黄酮含量测定:取 0.5 mL 样品提取液,测定 508 nm 处吸光值,根据标准曲线计算出总黄酮浓度。以乙醇作为空白,按式(1)计算总黄酮含量。

$$X = (m \times d) / W, \quad (1)$$

式中:

X ——目标物总含量,mg/g;

m ——由标准曲线计算出的目标物质量,mg;

W ——样品质量,g;

d ——稀释倍数。

1.3.3 总酚含量测定

(1) 没食子酸标准曲线制作:称取 0.02 g 没食子酸,用 5 mL 蒸馏水溶解,定容,得到 2 mg/mL 标准母液。采用福林酚法^[11]测样品中总酚含量,以没食子酸浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,绘制标准曲线方程 $y = 0.016\ 82x + 0.002\ 7$, $R^2 = 0.993\ 1$ 。

(2) 酒糟中总酚含量测定:取 1 mL 样品提取液,测定 765 nm 处吸光值,根据标准曲线计算出总酚浓度。以

20% 的 Na_2CO_3 溶液作为空白,按式(1)计算总酚含量。

1.3.4 酒糟中酚类化合物的 HPLC 分析

(1) 黄酮类化合物:根据文献[12]并修改。流动相为乙腈(C相)和 0.5% 冰乙酸水溶液(B相);进样量 10 μL ;柱温 35 °C;流速 1 mL/min;梯度洗脱程序:0~15 min, 0~25% C; 15~18 min, 25%~27% C; 18~35 min, 27%~29% C; 35~40 min, 29%~30% C; 40~55 min, 30%~50% C。

(2) 酚酸类化合物:根据文献[13]并修改。流动相为甲醇(C相)和 0.1 % 甲酸水溶液(B相);10 μL 进样量;柱温 30 °C;流速 1 mL/min;梯度洗脱程序:0~8 min, 5%~8% C; 8~17 min, 8%~10% C; 17~20 min, 10%~12% C; 20~25 min, 12%~15% C; 25~33 min, 15%~22% C; 33~50 min, 22%~50% C。

1.3.5 苦荞酒酒糟中酚类化合物的 LC-MS 分析

(1) 样品前处理:取 10 mL 酒糟提取液于 45 °C 旋蒸除乙醇,用水稀释至 10 mL,将液体用 HLB 小柱过滤,0.1 g/L 甲酸水淋洗,90% 甲醇水溶液洗脱,氮气吹干待测。

(2) 色谱条件:根据文献[14]。

(3) 质谱条件:采用电喷雾电离源(ESI),负离子模式扫描,离子源温度 325 °C,干燥气流量 10 L/min,雾化器压力 0.3 MPa,碰撞电压 110 V。

1.3.6 苦荞酒酒糟提取物的体外抗氧化活性

(1) DPPH 自由基清除能力:根据文献[15],按式(2)计算 DPPH 自由基清除率。

$$R = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R ——自由基清除率,%;

A_i ——517 nm 处的吸光值;

A_j ——乙醇代替样品在 517 nm 处的吸光值;

A_0 ——蒸馏水代替酒糟提取液在 517 nm 处的吸光值。

(2) 羟自由基清除能力:根据文献[16],按式(2)计算羟自由基清除率。

(3) ABTS⁺ 自由基清除能力:根据文献[15],按式(2)计算 ABTS⁺ 自由基清除率。

(4) FRAP 法测定酒糟提取物抗氧化能力:根据文献[17]并修改。取 20 μL 不同质量浓度酒糟提取液(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/mL),加入 FRAP 工作液 180 μL 混匀,加入 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0 mmol/L 硫酸亚铁溶液。建立标准曲线 $y = 0.028\ 1x + 1.460\ 5$, $R^2 = 0.995\ 7$ 。抗氧化活性以亚铁当量表示(FRAP, mmol/L)。

1.4 数据分析

采用 Origin 2018 软件制图,采用 SPSS 18.0 软件进

行 Duncan 多重比较和方差分析,显著性水平为 0.05,字母不同表示具有显著差异。

2 结果与分析

2.1 酚类物质含量

试验测得苦荞酒酒糟中总黄酮含量为 (20.714 ± 0.320) mg/g,总酚含量为 (5.708 ± 0.250) mg/g。经发酵后的苦荞酒酒糟中总黄酮和总酚含量均高于苦荞原料(总黄酮 12.970 mg/g,总酚 4.910 mg/g),可能是由于在发酵前对苦荞原料进行了浸泡处理,而浸泡会激活苦荞中的多种酶类,在酶作用下将结合态的黄酮类和酚类物质水解成游离态^[18]。此外,发酵过程中的微生物可以将植物细胞壁中的纤维素、果胶等大分子物质分解,改变细胞壁通透性,使其更好溶出^[19]。

2.2 酚类化合物 HPLC 分析

2.2.1 黄酮类化合物 由图 1 可知,酒糟中黄酮类化合物包括芦丁、异槲皮素、山奈酚-3-*o*-芸香糖苷、槲皮素和山奈酚。相关研究表明,苦荞中黄酮类化合物含量丰富,

其中以芦丁、槲皮素为主^[20];四川苦荞中也含有山奈酚、山奈酚-3-*o*-芸香糖苷等物质^[21-22],与试验结果相似。此外,苦荞酒糟中含有异槲皮素,说明发酵后的苦荞酒糟中也含有丰富的黄酮类化合物。

2.2.2 酚酸类化合物 由图 2 可知,苦荞酒糟中含有的酚酸类化合物主要为没食子酸和原儿茶素。杨红叶等^[23]研究显示,苦荞中含有没食子酸、原儿茶素、香草酸、咖啡酸、阿魏酸。试验酚酸类化合物只检出了没食子酸和原儿茶素,除了因原材料不同外,也可能是由于原料中的酚酸类化合物随发酵进入了发酵液,而留在酒糟中的含量及种类相应减少导致的。

2.3 酚类化合物的 LC-MS 分析

由图 3 可知,苦荞酒糟提取物中含有 7 种酚类化合物,LC-MS 检测结果与 HPLC 的相似,说明苦荞酒酒糟中富含酚类物质。由表 1 可知,黄酮类化合物中芦丁含量最高为 (9.350 ± 0.050) mg/g,其次为槲皮素、异槲皮素、山奈酚-3-*o*-芸香糖苷和山奈酚;酚酸类化合物中,没食子酸含量为 (0.254 ± 0.030) mg/g、原儿茶素含量为

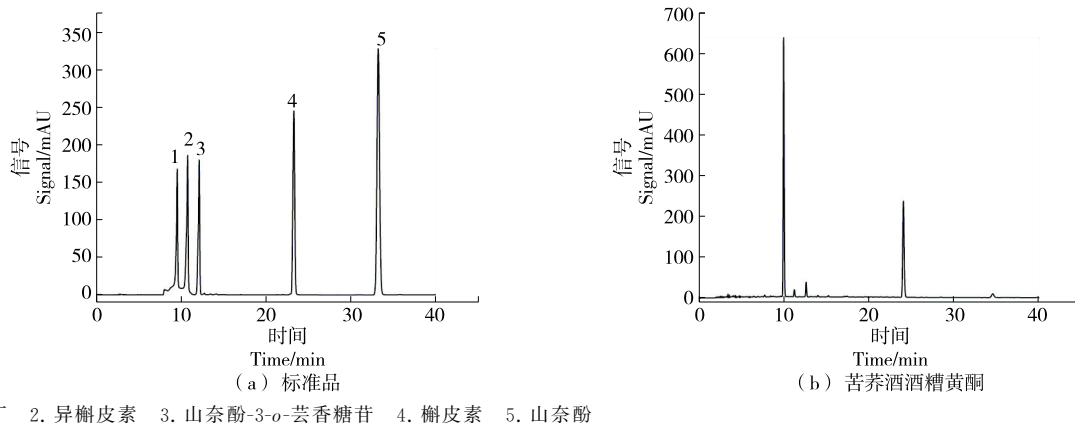


图 1 黄酮类化合物标准品和苦荞酒酒糟黄酮类 HPLC 图

Figure 1 HPLC diagram of flavonoids from standard flavonoid compounds and tartary buckwheat wine lees

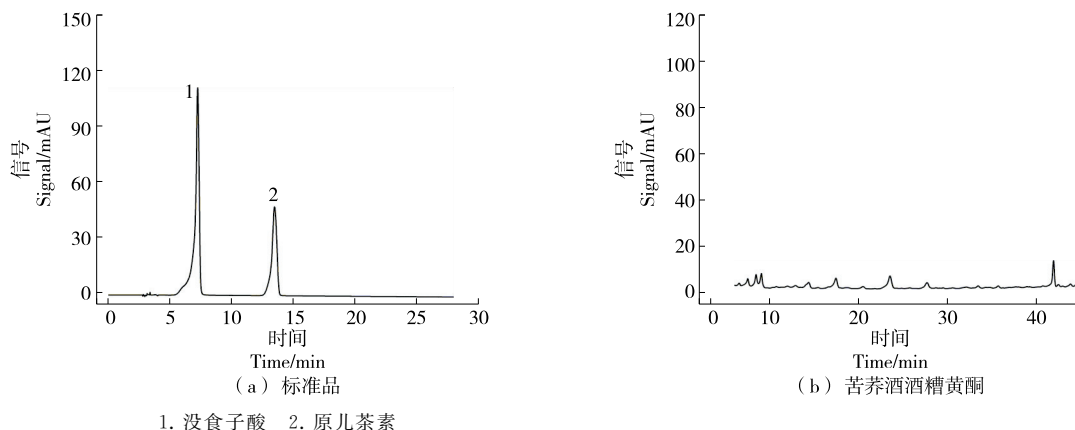


图 2 酚酸类化合物标准品和苦荞酒酒糟酚酸类 HPLC 图

Figure 2 HPLC diagram of phenolic acid compound standard and tartary buckwheat wine lees

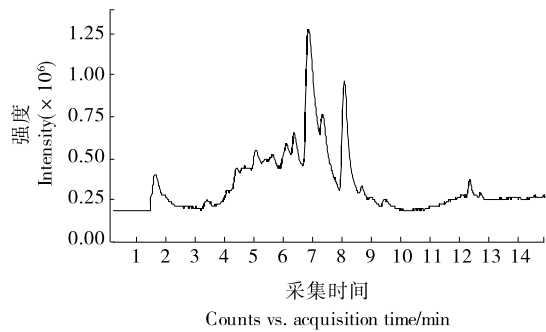


图3 苦荞酒糟中酚类化合物总离子流图

Figure 3 Total ion current chromatogram of phenolic compounds from tartary buckwheat wine lees

(0.352±0.040) mg/g。综上,发酵后的苦荞酒酒糟中含有7种酚类物质,其中芦丁含量最高。陈月等^[24]研究表明,芦丁为苦荞粉中重要的酚类物质,含量一般可达8.99 mg/g。与孙坤坤^[3]的研究结果相比,苦荞酒酒糟中山奈酚-3-*o*-芸香糖苷和山奈酚的含量高于其结果,槲皮素含量则相似;此外,与杨红叶等^[23]相比,苦荞酒酒糟中酚酸类化合物(原儿茶素和没食子酸)含量均高于其试验结果,说明经过发酵蒸馏后,苦荞中的酚类物质基本残留在酒糟中,并未进入到酒体中,因此可以对酒糟进一步加工开发。

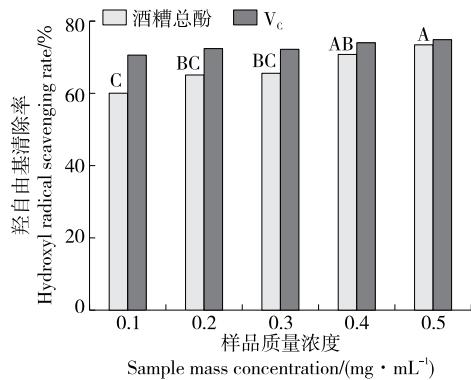
2.4 酒糟提取物的体外抗氧化活性

2.4.1 羟自由基清除能力 由图4(a)可知,当样品质量

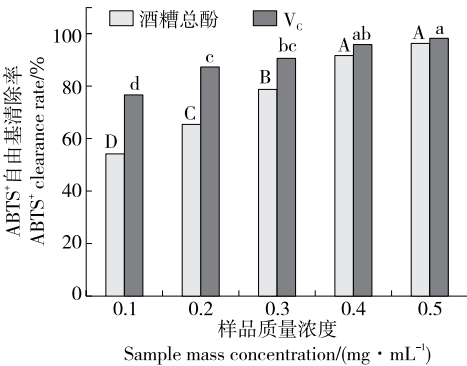
表1 苦荞酒酒糟中目标物质出峰时间、质荷比、线性方程

Table 1 Peak time, *m/z* and regression equations of target substances in tartary buckwheat wine lees

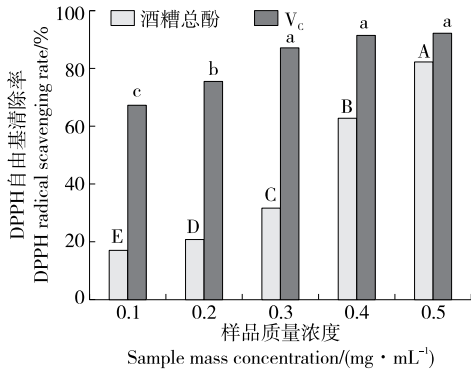
化合物	保留时间/min	质荷比(<i>m/z</i>)	线性方程	<i>R</i> ²
原儿茶素	4.068	153.019 3	<i>y</i> =15.16 <i>x</i> −166	0.998 3
没食子酸	3.160	169.014 2	<i>y</i> =9.384 1 <i>x</i> −61.745	0.995 7
山奈酚	8.707	285.040 4	<i>y</i> =15.331 <i>x</i> −98.612	0.999 4
槲皮素	8.094	301.036 8	<i>y</i> =15.869 <i>x</i> −127.12	0.999 1
异槲皮素	7.011	463.088 2	<i>y</i> =1.463 3 <i>x</i> −40.735	0.991 6
山奈酚-3- <i>o</i> -芸香糖苷	7.365	593.153 2	<i>y</i> =2.324 9 <i>x</i> +2.398	0.999 2
芦丁	6.885	609.147 1	<i>y</i> =1.188 <i>x</i> +3.959 2	0.994 8



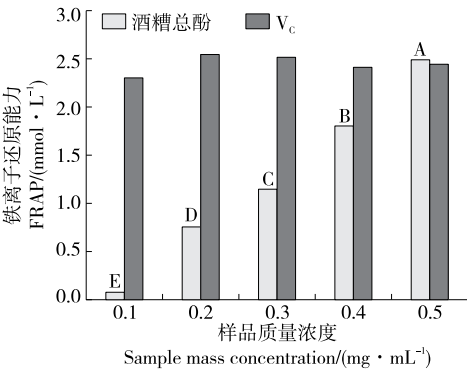
(a) 羟自由基清除率



(b) ABTS⁺自由基清除率



(c) DPPH自由基清除率



(d) 铁离子还原能力

图4 苦荞酒酒糟提取物抗氧化活性

Figure 4 Antioxidant activity of tartary buckwheat wine lees

浓度为 0.1~0.5 mg/mL 时,羟自由基清除率随样品质量浓度的增加而上升。维生素 C 的清除能力要稍强于苦荞酒酒糟。当酒糟提取物质量浓度达到 0.5 mg/mL 时,羟自由基清除率为 $(73.29 \pm 0.09)\%$ 。与茶酒酒糟相比(其半抑制浓度为 2.74 mg/mL),苦荞酒酒糟有着更强的羟自由基清除能力^[25]。半抑制浓度(IC_{50})越小,抗氧化能力越强,且苦荞酒酒糟和维生素 C 的 IC_{50} 相差不大,分别为 0.032,0.018 mg/mL,说明苦荞酒酒糟有着较好的羟自由基清除效果。

2.4.2 ABTS⁺ 自由基清除能力 由图 4(b)可知,随着样品质量浓度不断增加,苦荞酒酒糟对 ABTS⁺ 的清除率先增加后趋于平缓的趋势。当质量浓度为 0.4 mg/mL 时,清除率可以达到 $(96.00 \pm 0.98)\%$ 。在低浓度下(<0.3 mg/mL)苦荞酒酒糟的清除能力低于维生素 C,但在质量浓度>0.4 mg/mL 时,清除能力与维生素 C 的基本一致。酒糟和维生素 C 的 IC_{50} 分别为 0.052,0.02 mg/mL,与白酒酒糟(IC_{50} 为 0.44 mg/mL)的结果相似^[26]。说明苦荞酒酒糟在一定质量浓度条件下对 ABTS⁺ 自由基有着较强的清除效果。

2.4.3 DPPH 自由基清除能力 由图 4(c)可知,DPPH 自由基清除率与浓度呈正相关,随着样品质量浓度的增加,DPPH 自由基清除率也不断提高。与维生素 C 相比,低浓度的苦荞酒酒糟对 DPPH 自由基的清除力较弱,但随着质量浓度不断增加,差距不断缩小,在 0.5 mg/mL 时清除力达到 $(82.55 \pm 0.68)\%$ 。苦荞酒酒糟和维生素 C 的 IC_{50} 值分别为 0.24,0.03 mg/mL,说明苦荞酒酒糟对 DPPH 自由基有着一定的清除能力。

2.4.4 FRAP 还原铁能力 由图 4(d)可知,随着样品质量浓度的上升,苦荞酒酒糟的 FRAP 值显著升高。当质量浓度<0.4 mg/mL 时,苦荞酒酒糟的还原力低于维生素 C 的;当质量浓度为 0.5 mg/mL 时,FRAP 值为 (2.49 ± 0.09) mmol/L,与维生素 C 的还原力基本一致,说明样品质量浓度较高时,苦荞酒酒糟具有较强的抗氧化能力。

3 结论

试验表明,苦荞酒酒糟中总黄酮含量为 (20.714 ± 0.320) mg/g,总酚酸含量为 (5.708 ± 0.250) mg/g。利用 HPLC 和 LC-MS 相结合,对苦荞酒酒糟中酚类化合物的组成进行了分析,共检测出 7 种物质(5 种黄酮类化合物和 2 种酚酸类化合物),其中芦丁含量最高达到 (9.350 ± 0.050) mg/g,其次为槲皮素、异槲皮素、山奈酚-3-*o*-芸香糖苷和山奈酚,经发酵蒸馏后,苦荞中的酚类物质基本残留在酒糟中。抗氧化评价结果显示,随着样品质量浓度的增加,其抗氧化能力逐渐提高,当样品质量浓度为 0.5 mg/mL 时,对羟自由基、ABTS⁺ 自由基、DPPH 自由

基的清除率分别为 $(73.29 \pm 0.09)\%$ 、 $(96.21 \pm 0.25)\%$ 、 $(82.55 \pm 0.68)\%$,FRAP 值为 (2.49 ± 0.09) mmol/L。在低质量浓度下,苦荞酒酒糟对羟自由基和 ABTS⁺ 自由基表现出较好的清除效果,说明苦荞酒酒糟具有较好的体外抗氧化活性。但是,研究还未对苦荞酒酒糟提取物中全部的酚类化合物进行鉴定,后续将进一步对其进行分离鉴定。

参考文献

- [1] 刘强,徐钰惟,许世亮,等.苦荞发酵酒糟对糖尿病小鼠的降糖作用[J].食品科技,2022,47(2):135-139.
LIU Q, XU Y W, XU S L, et al. Hypoglycemic effect of tartary buckwheat fermented distiller's grains on diabetic mice[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(2): 135-139.
- [2] JAECHOL K, RYUN H K, KEUM T H. Flavonoids in different parts of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and Tartary buckwheat (*F. tataricum*) during growth[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023(120): 105362.
- [3] 孙坤坤.苦荞麦酚类物质的鉴定、分布及其生物活性研究[D].荆州:长江大学,2020:12-15.
SUN K K. Compositions and biological activities of phenolic compounds of Tartary buckwheat[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2020: 12-15.
- [4] 赵佳伟,袁杰彬,安明哲,等.黄酮类化合物对肠道微生物的影响及其机制研究进展[J].酿酒科技,2021(4):89-95.
ZHAO J W, YUAN J B, AN M Z, et al. Progress in understanding the effect and mechanism of flavonoids on intestinal microorganisms[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2021(4): 89-95.
- [5] FAN Z. Chemical composition and health effects of tartary buckwheat[J]. Food Chemistry, 2016, 203(15): 231-245.
- [6] 李云龙,李红梅,胡俊君,等.响应面法优化苦荞酒糟黄酮提取工艺的研究[J].中国酿造,2013,32(7):38-42.
LI Y L, LI H M, HU J J, et al. Extraction of total flavonoids from tartary buckwheat stillage by response surface methodology[J]. China Brewing, 2013, 32(7): 38-42.
- [7] 徐健,冯俊伟,黄霜,等.酒糟水解液中己酸对丁醇发酵的影响及脱毒策略评价[J].食品与发酵工业,2023,49(23):89-95.
XU J, FENG J W, HUANG S, et al. Effect of hexanoic acid in Distillers' grain waste hydrolysate on butanol fermentation and evaluation of detoxification strategy[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(23): 89-95.
- [8] 彭昱雯,吴冬梅.酒糟发酵生物饲料的生产及其对动物生产性能的影响[J].饲料研究,2022,45(2):158-160.
PENG L W, WU D M. Production of distiller's grain fermentation biological feed and its effect on animal performance[J]. Feed Research, 2022, 45(2): 158-160.
- [9] 郭凯凯.苦荞酒酿造工艺与酒糟黄酮提取的研究[D].天津:天津科技大学,2015:10-11.

- GUO K K. Study on brewing technology of buckwheat wine and extraction of flavonoids from buckwheat [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015: 10-11.
- [10] 张伟建, 袁杰彬, 李茂, 等. 超声波辅助乙醇提取苦荞酒糟及底锅水总黄酮工艺优化[J]. 酿酒科技, 2022(1): 23-27, 35.
- ZHANG W J, YAN J B, LI M, et al. Optimization of ultrasonic-assisted ethanol extraction technology of total flavonoids from spent grains and steamer bottom water of tartary buckwheat liquor [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2022(1): 23-27, 35.
- [11] 孙丹, 黄士淇, 蔡圣宝, 等. 不同加工方式对苦荞中总酚、总黄酮及抗氧化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(1): 141-147.
- SUN D, HUANG S Q, CAI S B, et al. The effects of different processing methods on the total phenolics content (TPC), flavonoids, and antioxidant activities of tartary buckwheat[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(1): 141-147.
- [12] 胡园园. 苦荞黄酮的分离纯化及其在肝细胞和血管损伤中的调节效应[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016: 19-20.
- HU Y Y. Isolation and purification of tartary buckwheat flavone and its regulatory effect on hepatocyte and vascular injury [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2016: 19-20.
- [13] 方晓敏, 任世达, 贾睿, 等. 低频静磁场对发芽玉米酚类物质富集及降糖活性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(19): 88-94.
- FANG X M, REN S D, JIA R, et al. Effect of low-frequency static magnetic field on enrichment of phenolics and hypoglycemic activity of germinated maize (*Zea mays L.*) [J]. *Food Science*, 2022, 43(19): 88-94.
- [14] 王戎, 廖勤俭, 安明哲, 等. 白酒中酚酸及酚酸酯检测方法的研究[J]. 酿酒科技, 2019(7): 110-113.
- WANG R, LIAO Q J, AN M Z, et al. Detection methods of phenolic acids and phenolic acid esters in Baijiu[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2019(7): 110-113.
- [15] 晏俊玲, 樊扬, 秦川, 等. 苦笋总黄酮提取工艺优化及其抗炎抗氧化活性研究[J]. 四川农业大学学报, 2021, 40(2): 276-285.
- YAN J L, FAN Y, QIN C, et al. Optimization of the extraction process of total flavonoids from the shoots of *Pleioblastus amarus* and evaluation of its anti-inflammatory and antioxidant activities [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2021, 40(2): 276-285.
- [16] 张静祎, 翟爱华, 王佳男. 煮制加工对不同绿豆中黄酮含量的影响及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(3): 155-162.
- ZHANG J W, ZHAI A H, WANG J N, et al. Effect of cooking process on flavonoids content in different kind of mung beans and their antioxidant activity[J]. *China Food Additives*, 2020, 31(3): 155-162.
- [17] DU B, XU B J. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) of β -glucans from different sources with various molecular weight [J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2014, 3(1): 11-16.
- [18] 徐建国. 燕麦发芽过程中多酚含量及其抗氧化活性的变化[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 201-205.
- XU J G. Changes in the phenolic content and antioxidant activity in oats during germination[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(1): 201-205.
- [19] 余清, 陈绍军. 乌饭树叶色素提取工艺的研究[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2007, 28(6): 75-77.
- YU Q, CHEN S J. Study on extraction of pigment from *Vaccinium Bracteatum* Thunb. leaf[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science)*, 2007, 28(6): 75-77.
- [20] 李慧, 王润梅, 安志鹏, 等. 广灵苦荞黄酮类化合物的分离和鉴定[J]. 种子, 2018, 37(1): 94-97.
- LI H, WANG R M, AN Z P, et al. Separation and identification of flavonoids compounds from Guangling tartary buckwheat seeds[J]. *Seed*, 2018, 37(1): 94-97.
- [21] 徐宝财, 肖钢, 丁霄霖, 等. 液质联用分析测定苦荞黄酮[J]. 食品科学, 2003(6): 113-117.
- XU B C, XIAO G, DING L X, et al. Determination of tartary buckwheat flavonoids by liquid mass analysis[J]. *Food Science*, 2003(6): 113-117.
- [22] 吴萌萌, 刘怡, 严馨, 等. 苦荞麸皮黄酮提取物及其有效成分的抑菌活性[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(11): 77-83.
- WU M M, LIU Y, YAN X, et al. Antibacterial activities of flavonoid extracts of tartary buckwheat bran and its effective components[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2021, 40(11): 77-83.
- [23] 杨红叶, 柴岩, 王玉堂, 等. 不同种类荞麦中各种存在形式多酚含量的研究[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 60-64.
- YANG H Y, CHAI Y, WANG Y T, et al. Analysis of free and bound phenolics in different buckwheat varieties[J]. *Food Science*, 2011, 32(6): 60-64.
- [24] 陈月, 朱勇, 秦礼康. 苦荞不同部位酚类化合物组成与抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 15-19.
- CHEN Y, ZHU Y, QIN L K. Phenolic compounds profile and antioxidant activities of different fractions of tartary buckwheat[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(11): 15-19.
- [25] 谢雨寻, 叶有明, 李龙越, 等. 茶酒糟中茶多酚提取工艺优化及其抗氧化活性的研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(2): 204-209.
- XIE Y X, YE Y M, LI L Y, et al. Optimization of extraction process and antioxidant activity of tea polyphenols from tea distiller's grains[J]. *China Brewing*, 2022, 41(2): 204-209.
- [26] 王小媛, 丁俊豪, 张园园, 等. 超声波辅助提取白酒酒糟中多酚类物质及其抗氧化活性评价[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 192-197.
- WANG X Y, DING J H, ZHANG Y Y, et al. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant activity evaluation of polyphenols from liquor distiller's grains[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(8): 192-197.