

# 苦荞不同部位酚类化合物组成与抗氧化活性

## Phenolic compounds profile and antioxidant activities of different fractions of Tartary buckwheat

陈 月<sup>1</sup> 朱 勇<sup>1,2</sup> 秦礼康<sup>1,2</sup>

CHEN Yue<sup>1</sup> ZHU Yong<sup>1,2</sup> QIN Li-kang<sup>1,2</sup>

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州大学西南药食两用资源开发利用国家地方联合工程研究中心, 贵州 贵阳 550025)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. National and Local Joint Engineering Centre for the Development and Utilization Technology of Drug and Food Resources in Southwest China, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**摘要:**目的:研究苦荞不同部位酚类化合物组成与抗氧化活性。方法:利用 70%乙醇分别提取苦荞壳、苦荞麸皮和苦荞粉三部分中的酚类物质,并分析提取物的酚类化合物组成和抗氧化活性。结果:麸皮部位总酚、总黄酮分别为(3 042±31) mg GAE/100 g·DW 和(5 290±233) mg RE/100 g·DW, 分别占全苦荞的 60.8%和 67.7%。芦丁是麸皮提取物中的主要酚类化合物,其含量为(5 152±61) mg/100 g·DW。苦荞壳、苦荞麸皮和苦荞粉提取物均表现出抗氧化活性,其中苦荞麸皮提取物的抗氧化活性最强,其 ORAC、FRAP、DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率分别为(1 503.3±249.5) μmol/g·DW、(8 477.5±441.1) mg TE/100 g·DW、(5 642.4±241.3) mg TE/100 g·DW 和(16 764±742) mg TE/100 g·DW。结论:麸皮是苦荞酚类化合物的主要富集部位,这些化合物表现出较强的抗氧化活性。

**关键词:**苦荞;麸皮;酚类化合物;抗氧化活性

**Abstract: Objective:** This study aimed to investigate the phenolic compounds profile and antioxidant activities of different fractions of Tartary buckwheat. **Methods:** Tartary buckwheat was ground and sieved into shell, bran and powder. Phenolic compounds in tartary buckwheat were extracted with 70% ethanol, and phenolic compounds composition and antioxidant activity of the extract were analyzed. **Results:** In Tartary buckwheat bran, the total phenolics and flavonoids were (3 042±31) mg GAE/100 g·DW and

(5 290±233) mg RE/100 g·DW, accounting for 60.8%, 67.7% of the total Tartary buckwheat, respectively. Rutin was the dominant phenolic compounds in bran extract, and the content was (5 152±61) mg/100 g·DW. The extracts of Tartary buckwheat hull, bran and powder all showed antioxidant activities, among which the bran extracts presented the highest antioxidant activities. The ORAC, FRAP, DPPH and ABTS values were (1 503.3±249.5) μmol/g·DW, (8 477.5±441.1) mg TE/100 g·DW, (5 642.4±241.3) mg TE/100 g·DW and (16 764±742) mg TE/100 g·DW, respectively. **Conclusion:** Bran is the major fraction enriching phenolic compounds which showed elevated antioxidant activities.

**Keywords:** Tartary buckwheat; bran; phenolic compounds; antioxidant activity

苦荞属双子叶蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum esculentum*)植物,学名鞑靼荞麦<sup>[1-2]</sup>。研究<sup>[3-7]</sup>表明,苦荞具有多种保健功能,其中内源酚类化合物是使其表现出这些保健功能的重要成分。课题组前期研究<sup>[8]</sup>发现,苦荞酚类化合物包括芦丁、槲皮素、没食子酸、绿原酸和 2,3,4-三羟基苯甲酸,且芦丁是主要酚类化合物。Guo 等<sup>[9]</sup>研究表明,苦荞中的芦丁、对羟基苯甲酸、咖啡酸和绿原酸主要分布在麸皮部位,原儿茶酸是苦荞壳中含量最丰富的酚酸,对羟基苯甲酸、原儿茶酸、没食子酸、咖啡酸和绿原酸等酚类物质少量存在于苦荞壳和苦荞粉中。刘琴等<sup>[10]</sup>研究表明,苦荞壳、麸皮和粉中共鉴定出 8 个多酚组分,其中芦丁为主要成分,在麸皮中的含量最高(2.6%~5.4%),壳中次之(0.34%~1.75%),粉中最低(0.15%~0.54%)。任顺成等<sup>[11]</sup>研究表明,苦荞壳和苦荞粉中也含有一定的酚类化合物。Sinkovic 等<sup>[12]</sup>研究了

**基金项目:**贵州省科技计划项目(编号:黔科合基础[2019]1071号,黔科合支撑[2020]1Y171号);贵州大学引进人才科研项目(编号:贵大人基合字[2017]46号)

**作者简介:**陈月,女,贵州大学硕士研究生。

**通信作者:**秦礼康(1965—),男,贵州大学教授,博士。

E-mail: lkqin@gzu.edu.cn

**收稿日期:**2022-01-23 **改回日期:**2022-06-23

苦荞壳、苦荞麸皮和苦荞粉的生物化学组成、抗氧化活性和矿物质组成,但未对其酚类物质组成进行分析。

目前,苦荞加工主要集中在苦荞粉的制备及其综合利用,苦荞壳和苦荞麸皮的利用率较低。研究拟基于苦荞壳、苦荞麸皮和苦荞粉的酚类化合物组成与抗氧化活性,揭示苦荞酚类化合物及抗氧化活性在苦荞不同部位的分布规律,为苦荞精深加工与高值化利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

苦荞:黔苦 3 号,贵州省威宁自治县农牧局;

没食子酸、福林酚、荧光素钠盐:美国 Sigma-Aldrich 公司;

芦丁、槲皮素、绿原酸、冰乙酸、2,2'-联氮双-(3-乙基苯并噻唑林-6-磺酸)二胺盐(ABTS):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

2,3,4-三羟基苯甲酸、2,4,6-三(2-吡啶基)-1,3,5-三嗪(TPTZ):北京索莱宝科技有限公司;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):日本 TCI 公司;

2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐(ABAP):上海安耐吉化学有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

高效液相色谱仪:1200 Infinity 型,美国安捷伦公司;

光吸收酶标仪:SpectraMax190 型,美谷分子仪器(上海)有限公司;

多功能酶标仪:M200 PRO 型,瑞士 Tecan 公司;

台式高速冷冻离心机:H2-16KR 型,湖南可成仪器设备有限公司;

旋转蒸发器:RE-52AA 型,上海亚荣生化仪器厂;

高速万能粉碎机:FW100 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

恒温摇床:TS-100C 型,上海天呈实验仪器制造有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 样品处理 苦荞研磨后过 40 目钢筛,筛上物为苦荞壳;筛下物再过 60 目钢筛后,筛上物为苦荞麸皮,筛下物为苦荞粉。

1.2.2 酚类化合物提取 根据文献[13-14]修改如下:1.0 g 样品与 15 mL 70%乙醇混合并振荡提取 15 min,8 000 r/min 离心 5 min,收集上清液。剩余残渣继续提取 2 次,合并所有上清液,用 70%乙醇定容至 50 mL,每个样品做 3 次平行,此提取液用于总酚、总黄酮、HPLC 以及抗氧化活性分析。

1.2.3 总酚测定 根据文献[15-16]修改如下:用去离

子水配制一系列浓度的没食子酸标准品溶液,并将提取液稀释至适当倍数,100  $\mu$ L 提取液、100  $\mu$ L 没食子酸标准溶液分别与 400  $\mu$ L 蒸馏水混合,向混合液中加入 100  $\mu$ L 福林酚试剂,混匀并静置 6 min,向其中加入 1 mL 7%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液和 0.8 mL 蒸馏水,室温避光反应 1.5 h,测定 760 nm 处反应液的吸光度,以没食子酸标准液的浓度与吸光度绘制标准曲线。

1.2.4 总黄酮测定 根据文献[17]修改如下:用 60%无水乙醇配制一系列浓度的芦丁标准品溶液,并将提取液稀释至适当倍数,0.5 mL 提取液、0.5 mL 芦丁标准溶液分别与 2.25 mL 蒸馏水和 0.15 mL 5%  $\text{NaNO}_2$  混合并反应 6 min,加入 0.3 mL 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  并反应 5 min,加入 1.0 mL 1 mol/L  $\text{NaOH}$  室温避光反应 15 min 后,测定 510 nm 处反应液的吸光度,以芦丁标准溶液的浓度与吸光度绘制标准曲线。

1.2.5 酚类化合物分析 根据文献[8]修改如下:提取液过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜,采用装有  $\text{C}_{18}$  色谱柱(Agilent ZORBAX 250 mm $\times$ 4.6 mm,5  $\mu\text{m}$ )的高效液相色谱仪,流动相包括乙腈(A)和 1%冰乙酸(B),洗脱程序:0~5 min,5%~15% A;5~35 min,15%~35% A;35~40 min,35%~45% A;40~50 min,45%~5% A。流速 1.0 mL/min,柱温 30  $^{\circ}\text{C}$ ,进样量 20  $\mu\text{L}$ ,检测波长 360 nm。利用酚类化合物标准品保留时间对样品中未知化合物进行定性,以酚类化合物标准溶液浓度与峰面积绘制标准曲线。

1.2.6 氧自由基吸收能力(ORAC)测定 根据文献[18-19]修改如下:用磷酸缓冲液(75 mmol/L, pH 7.4)配制一系列浓度的标准品溶液,并将提取液稀释至适当倍数,取 20  $\mu\text{L}$  提取液和标准液于 96 孔黑板中,37  $^{\circ}\text{C}$  孵育 10 min,向每孔中加入 200  $\mu\text{L}$  荧光素钠盐溶液并再次孵育 20 min,最后加入 20  $\mu\text{L}$  ABAP,并立即于激发波长 485 nm,发射波长 535 nm 下检测反应液的荧光强度。每隔 5 min 记录一次,共记录 35 次。以时间为横坐标,荧光强度为纵坐标绘制荧光强度随时间变化曲线,通过标准品的浓度对曲线下净面积绘制标准曲线。

1.2.7 铁离子还原抗氧化能力(FRAP)测定 根据文献[20-21]修改如下:FRAP 工作液由 300 mmol/L 醋酸缓冲液(pH 3.6),10 mmol/L TPTZ 溶液(溶于 40 mmol/L  $\text{HCl}$ )和 20 mmol/L  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  溶液按体积比 10:1:1 混合制备而成。用甲醇溶液配制一系列浓度的 Trolox 标准品溶液,并将样品稀释至适当倍数,取 30  $\mu\text{L}$  提取液和 Trolox 标准溶液,加入 90  $\mu\text{L}$  水和 900  $\mu\text{L}$  FRAP 工作液,37  $^{\circ}\text{C}$  下避光反应 10 min,测定 593 nm 处反应液的吸光度,以 Trolox 标准品浓度与吸光度绘制标准曲线。

1.2.8 DPPH 自由基清除能力测定 根据文献[17,22]

修改如下:用甲醇配制一系列浓度的 Trolox 标准品溶液,并将提取液稀释至适当倍数,将 100  $\mu$ L 提取液和 Trolox 标准溶液与 4 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液混匀,室温下避光反应 30 min,测定 514 nm 处反应液的吸光度,以 Trolox 标准品浓度与吸光度绘制标准曲线。

1.2.9 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除能力测定 根据文献[23—25]修改如下:将 7.4 mmol/L ABTS<sup>+</sup> 溶液和 2.6 mmol/L 过硫酸钾溶液按体积比 1 : 1 混合,室温下避光反应 12 h 制得 ABTS<sup>+</sup> 储备液;用甲醇将 ABTS<sup>+</sup> 储备液稀释至适当倍数制得 ABTS<sup>+</sup> 工作液(734 nm 处吸光度为 1.10  $\pm$  0.02)。用甲醇配制一系列浓度的标准品溶液,并将提取液稀释至适当倍数,取 300  $\mu$ L 提取液和 Trolox 标准溶液与 6 mL ABTS<sup>+</sup> 工作液混匀,室温下避光反应 2 h,测定 734 nm 处反应液的吸光度,以 Trolox 标准品浓度与吸光度绘制标准曲线。

1.2.10 数据分析 所有数据均以平均数 $\pm$ 标准偏差表示, $n=3$ 。利用 Duncan 多重比较进行数据之间的差异性分析(SPSS version 21.0),显著性水平  $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 苦荞壳、麸皮和粉的总酚、总黄酮含量

课题组<sup>[8]</sup>前期研究发现,苦荞中的总酚、黄酮含量分别高达(3 018.82  $\pm$  57.95) mg GAE/100 g  $\cdot$  DW 和(2 778.86  $\pm$  25.18) mg RE/100 g  $\cdot$  DW。由表 1 可知,苦荞壳中总酚、总黄酮含量分别为(1 026  $\pm$  21) mg GAE/100 g  $\cdot$  DW 和(1 555  $\pm$  60) mg RE/100 g  $\cdot$  DW, 占全苦荞的 20.5% 和 19.9%。苦荞麸皮中总酚、总黄酮

含量分别为(3 042  $\pm$  31) mg GAE/100 g  $\cdot$  DW 和(5 290  $\pm$  233) mg RE/100 g  $\cdot$  DW,占全苦荞的 60.8% 和 67.7%。苦荞粉中总酚、总黄酮含量分别为(931.1  $\pm$  16.9) mg GAE/100 g  $\cdot$  DW 和 ( 973. 5  $\pm$  123.2) mg RE/100 g  $\cdot$  DW,占全苦荞的 18.6%和12.5%,说明麸皮是苦荞总酚、总黄酮的主要富集部位,也有少量存在于苦荞壳和苦荞粉中。刘琴等<sup>[10]</sup>研究表明,苦荞壳、麸皮和粉中总酚含量分别为 29.87~60.93,44.03~79.83, 1.18~10.67 mg/g,其中麸皮中的含量最高。Guo 等<sup>[9]</sup>研究表明,苦荞粉、苦荞壳和苦荞麸皮游离酚、游离黄酮含量比结合酚、结合黄酮高,游离酚含量分别为苦荞粉<苦荞壳<苦荞麸皮,游离黄酮含量分别为苦荞粉<苦荞壳<苦荞麸皮,与试验结果一致。因此,苦荞麸皮含有更高的总酚、总黄酮,具有更好的健康益处。

### 2.2 苦荞壳、麸皮和粉的酚类化合物组成

苦荞壳、苦荞麸皮和苦荞粉中酚类化合物组成如表 2 所示,液相色谱图如图 1 所示。芦丁在苦荞麸皮中的含量为(5 152  $\pm$  61) mg/100 g  $\cdot$  DW,占全苦荞的 79.8%,苦荞壳和苦荞粉中芦丁含量分别占全苦荞的 6.3%和13.9%。Guo 等<sup>[9]</sup>研究发现,苦荞中的酚类物质主要来源于麸皮,麸皮中芦丁含量为(7 431.40  $\pm$  2.14) mg/100 g  $\cdot$  DW。任顺成等<sup>[11]</sup>研究发现,苦荞麸皮中芦丁含量为36.37 mg/g,高于苦荞壳和苦荞粉中的,与试验结论一致。因此,芦丁是苦荞中的主要酚类化合物,这些酚类化合物主要富集在苦荞麸皮部位,但仍有部分存在于苦荞壳和苦荞粉中。

表 1 苦荞壳、麸皮和粉的总酚、总黄酮含量<sup>†</sup>

Table 1 Total phenolics and flavonoids of Tartary buckwheat shell, bran and powder

| 部位   | 总酚                                                                  |      | 总黄酮                                                                 |      |
|------|---------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------|------|
|      | 含量/<br>(10 <sup>-2</sup> mg GAE $\cdot$ g <sup>-1</sup> $\cdot$ DW) | 占比/% | 含量/<br>(10 <sup>-2</sup> mg GAE $\cdot$ g <sup>-1</sup> $\cdot$ DW) | 占比/% |
| 苦荞壳  | 1 026.0 $\pm$ 21.0 <sup>b</sup>                                     | 20.5 | 1 555.0 $\pm$ 60.0 <sup>b</sup>                                     | 19.9 |
| 苦荞麸皮 | 3 042.0 $\pm$ 31.0 <sup>a</sup>                                     | 60.8 | 5 290.0 $\pm$ 233.0 <sup>a</sup>                                    | 67.7 |
| 苦荞粉  | 931.1 $\pm$ 16.9 <sup>c</sup>                                       | 18.6 | 973.5 $\pm$ 123.2 <sup>c</sup>                                      | 12.5 |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

表 2 苦荞壳、麸皮和粉的酚类化合物组成<sup>†</sup>

Table 2 Phenolics profile of Tartary buckwheat shell, bran and powder

| 部位   | 芦丁                                                              |      | 槲皮素                                                             |      |
|------|-----------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------|------|
|      | 含量/<br>(10 <sup>-2</sup> mg $\cdot$ g <sup>-1</sup> $\cdot$ DW) | 占比/% | 含量/<br>(10 <sup>-2</sup> mg $\cdot$ g <sup>-1</sup> $\cdot$ DW) | 占比/% |
| 苦荞壳  | 405.4 $\pm$ 8.6 <sup>c</sup>                                    | 6.3  | 7.53 $\pm$ 0.75 <sup>c</sup>                                    | 2.5  |
| 苦荞麸皮 | 5 152.0 $\pm$ 61.0 <sup>a</sup>                                 | 79.8 | 242.30 $\pm$ 14.70 <sup>a</sup>                                 | 80.8 |
| 苦荞粉  | 898.8 $\pm$ 14.4 <sup>b</sup>                                   | 13.9 | 50.16 $\pm$ 1.99 <sup>b</sup>                                   | 16.7 |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

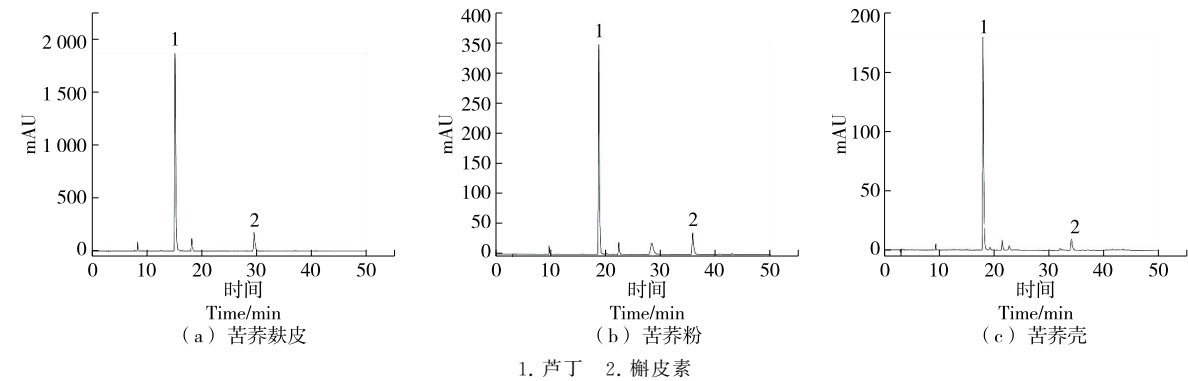


图 1 HPLC 液相色谱图

Figure 1 HPLC chromatogram

2.3 苦荞不同部位抗氧化活性

由表 3 可知,苦荞麸皮的抗氧化活性高于苦荞壳和苦荞粉,其 ORAC、FRAP、DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率分别为  $(1\,503.3 \pm 249.5) \mu\text{mol/g} \cdot \text{DW}$ 、 $(8\,477.5 \pm 441.1) \text{mg TE}/100 \text{g} \cdot \text{DW}$ 、 $(5\,642.4 \pm 241.3) \text{mg TE}/100 \text{g} \cdot \text{DW}$  和  $(16\,764.0 \pm 742.0) \text{mg TE}/100 \text{g} \cdot \text{DW}$ 。苦荞麸皮 ORAC、FRAP、DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率分别占全苦荞的 67.7%、68.7%、65.9%、76.6%。结果表明,苦荞大部

分抗氧化物质来源于麸皮部位。因此,食用全苦荞可能对健康有益,同时,苦荞麸皮具有作为功能性食品配料的潜力,可提高苦荞的附加值。苦荞麸皮总酚、总黄酮、酚类化合物和抗氧化活性最高,与前人<sup>[9]</sup>的研究一致,表明苦荞酚类物质主要集中在麸皮部位,这可能是因为苦荞麸皮中胚乳较少,含有种皮、糊粉层和胚组织(苦荞籽粒的大部分营养和功能成分集中在胚和糊粉层中)。因此,苦荞麸皮可以作为良好的功能食品原料。

表 3 苦荞壳、麸皮和粉的抗氧化活性<sup>†</sup>

Table 3 Antioxidant activities of Tartary buckwheat shell, bran and powder

| 部位   | ORAC                                                  |      | FRAP                                            |      | DPPH 自由基清除率                                     |      | ABTS 自由基清除率                                     |      |
|------|-------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------|------|
|      | 数值/                                                   | 占比/  | 数值/                                             | 占比/  | 数值/                                             | 占比/  | 数值/                                             | 占比/  |
|      | $(\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DW})$ | %    | $\text{TE} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DW}$ | %    | $\text{TE} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DW}$ | %    | $\text{TE} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DW}$ | %    |
| 苦荞壳  | $256.68 \pm 24.27^c$                                  | 11.6 | $1\,975.7 \pm 60.4^b$                           | 16.0 | $1\,631.1 \pm 62.3^b$                           | 19.1 | $2\,717.5 \pm 293.1^b$                          | 12.4 |
| 苦荞麸皮 | $1\,503.30 \pm 249.50^a$                              | 67.7 | $8\,477.5 \pm 441.1^a$                          | 68.7 | $5\,642.4 \pm 241.3^a$                          | 65.9 | $16\,764.0 \pm 742.0^a$                         | 76.6 |
| 苦荞粉  | $459.79 \pm 68.03^b$                                  | 20.7 | $1\,894.6 \pm 81.2^b$                           | 15.3 | $1\,283.6 \pm 78.7^c$                           | 15.0 | $2\,397.4 \pm 104.3^b$                          | 11.0 |

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

3 结论

试验表明,苦荞富含酚类化合物,这些酚类化合物主要富集在苦荞麸皮部位,其中芦丁是主要的酚类化合物。此外,苦荞麸皮表现出较强的抗氧化活性,其抗氧化能力占全苦荞的 65.9%~76.6%。因此,苦荞麸皮是苦荞酚类化合物主要富集部位,在苦荞功能食品加工方面具有一定的应用潜能。后续可进一步对苦荞麸皮进行深加工并开展相关产品研究。

参考文献

[1] 田世龙, 张永茂, 李守强, 等. 苦荞中黄酮微波提取方法及其动态变化研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(4): 149-152.  
TIAN S L, ZHANG Y M, LI S Q, et al. The research on extraction

of flavonoids from tartary buckwheat by microwave and changes of quantity in different growth periods[J]. Food & Machinery, 2008, 24(4): 149-152.  
[2] 童晓萌, 柴春祥, 王永强. 萌发对苦荞籽粒品质的影响及工艺优化[J]. 食品与机械, 2021, 37(4): 176-183.  
TONG X M, CHAI C X, WANG Y Q. Effects of germination on grain quality of tartary buckwheat and optimization of technology[J]. Food & Machinery, 2021, 37(4): 176-183.  
[3] 仇菊, 吴伟菁, 朱宏. 苦荞调控血糖功效及其在糖尿病人主食开发中的应用[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 352-365.  
QIU J, WU W J, ZHU H. Function of tartary buckwheat in regulating blood glucose and its application in developing staple food for diabetic patients[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(9): 352-365.  
[4] 闫文杰, 段昊, 吕燕妮, 等. 苦荞在我国保健食品中的应用进

- 展[J]. 食品科技, 2021, 46(6): 55-61.
- YAN W J, DUAN H, LU Y N, et al. Research progress of organic selenium-rich biological resources[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(6): 55-61.
- [5] 李苇舟. 蒸汽爆破对苦荞麸皮多酚释放及缓解小鼠结肠炎作用的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2021: 112.
- LI W Z. Effects of steam explosion treatment on the release of polyphenols from Tartary buckwheat bran and its alleviating influence of colitis in mice [D]. Chongqing: Southwest University, 2021: 112.
- [6] 李可心, 周冉冉, 陈茂彬, 等. 荞麦功能性成分及相关食品开发[J]. 现代农业科技, 2021(7): 236-240.
- LI K X, ZHOU R R, CHEN M B, et al. Functional components of buckwheat and related food development[J]. Xiandai Nongye Keji, 2021(7): 236-240.
- [7] RUAN J J, ZHOU Y X, YAN J, et al. Tartary buckwheat: An underutilized edible and medicinal herb for food and nutritional security[J]. Food Research International, 2020, 38(4): 440-454.
- [8] CHEN Y, QIN L K, WEN A Y, et al. Three-solvent extracting method comprehensively evaluates phenolics profile and antioxidant activities of Tartary buckwheat[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(1): e15020.
- [9] GUO X, WU C, MA Y, et al. Comparison of milling fractions of tartary buckwheat for their phenolics and antioxidant properties[J]. Food Research International, 2012, 49(1): 53-59.
- [10] 刘琴, 张薇娜, 朱媛媛, 等. 不同产地苦荞籽粒中多酚的组成、分布及抗氧化性比较[J]. 中国农业科学, 2014, 47(14): 2 840-2 852.
- LIU Q, ZHANG W N, ZHU Y Y, et al. Comparison of the constitutions, distribution, and antioxidant activities of polyphenols from different varieties of tartary buckwheat seed produced from different regions of china[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(14): 2 840-2 852.
- [11] 任顺成, 孙军涛. 荞麦粉、皮、壳及芽中黄酮类含量分析研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 210-214.
- REN S C, SUN J T. Analysis of flavonoid contents in buckwheat flour, bran, hull and sprout[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(6): 210-214.
- [12] SINKOVIC L, KOKALJ SINKOVIC D, MEGLIC V. Milling fractions composition of common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and Tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) buckwheat[J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130459.
- [13] BAO T, WANG Y, LI Y, et al. Antioxidant and antidiabetic properties of tartary buckwheat rice flavonoids after in vitro digestion[J]. Journal of Zhejiang University: Science B, 2016, 17(12): 941-951.
- [14] NAM T, LEE S M, PARK J, et al. Flavonoid analysis of buckwheat sprouts[J]. Food Chemistry, 2015, 170: 97-101.
- [15] ALARA O R, MUDALIP S K A, ABDURAHMAN N H, et al. Data on parametric influence of microwave-assisted extraction on the recovery yield, total phenolic content and antioxidant activity of *Phaleria macrocarpa* fruit peel extract[J]. Chemical Data Collections, 2019, 24: 100277.
- [16] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTÓS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent[M]. Methods in Enzymology. Academic Press, 1999: 152-178.
- [17] 王何柱, 朱勇, 朱怡, 等. 7种芸豆中酚类化合物组成及其抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(9): 28-33.
- WANG H Z, ZHU Y, ZHU Y, et al. Composition and antioxidant activity of phenolic compounds in seven kidney beans[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(9): 28-33.
- [18] 朱勇. 青稞酚类化合物组成与抗氧化、抗肿瘤细胞增殖活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 136.
- ZHU Y. Phenolic compound profile, antioxidant and antiproliferative activities of highland barley [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017: 136.
- [19] ZHU Y, LI T, FU X, et al. Phenolics content, antioxidant and antiproliferative activities of dehulled highland barley (*Hordeum vulgare* L.)[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19: 439-450.
- [20] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [21] HAN Y, CHI J, ZHANG M, et al. Changes in saponins, phenolics and antioxidant activity of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) during milling process[J]. LWT, 2019, 114: 108381.
- [22] PASKO P, BARTON H, ZAGRODZKI P, et al. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth[J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 994-998.
- [23] THAIPONG K, BOONPRAKOB U, CROSBY K, et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(6/7): 669-675.
- [24] 王何柱. 不同芸豆营养功能品质及热加工过程量变研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020: 91.
- WANG H Z. Study on nutritional function quality of different kidney beans and quantitative change of thermal processing[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020: 91.
- [25] 李俊, 卢扬, 赵刚, 等. 苦荞芽苗茶饮料发酵前后营养、风味及抗氧化活性的变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 187-192.
- LI J, LU Y, ZHAO G, et al. Variation of nutrition, flavor and antioxidant activity in tea beverage of tartary buckwheat sprout after fermentation[J]. Food & Machinery, 2019, 35(7): 187-192.