

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.01.009

于章龙, 刘瑞, 宋昱, 等. 黑小麦麸皮抗氧化活性成分提取及其抗氧化能力评价[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(1): 71-76.

YU Z L, LIU R, SONG Y, et al. Extraction of antioxidant effective components from black wheat bran and evaluation of its antioxidant capacity[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(1): 71-76.

# 黑小麦麸皮抗氧化活性成分提取 及其抗氧化能力评价

于章龙<sup>1,3</sup>, 刘 瑞<sup>2</sup>, 宋 昱<sup>1</sup>✉, 谢飒英<sup>1</sup>, 蔡 岳<sup>1</sup>,  
孙元琳<sup>2</sup>, 郭园园<sup>2</sup>, 刘峰娟<sup>3</sup>

(1. 山西农业大学 棉花研究所, 山西 运城 044000;

2. 运城学院 生命科学系, 山西 运城 044000;

3. 河津市通河食品有限公司, 山西 运城 044000)

**摘 要:** 黑小麦麸皮是黑小麦加工过程中的副产物, 其富含多种生理活性物质, 包括花青素、酚酸类物质、膳食纤维等。以黑小麦麸皮为原料, 利用不同溶剂对其抗氧化活性成分进行提取并对其抗氧化能力评价研究。结果表明, 75%乙醇提取物干物质得率最高, 为 10.72%; 50%乙醇提取总酚含量最高, 为 2.9 mg/100 mL; 50%乙醇提取物对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 清除力最强, 75%乙醇提取物对 DPPH 抗氧化物提取能力最强; 75%丙酮提取物对 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸 (ABTS) 清除力最强, 75%甲醇提取物对 ABTS 抗氧化物提取能力最强。综合比较得出, 50%乙醇更适于黑小麦麸皮抗氧化活性成分提取。

**关键词:** 黑小麦; 麸皮; 活性成分; 抗氧化能力; 评价; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼; 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸

中图分类号: TS210.9 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)01-0071-06

## Extraction of Antioxidant Effective Components from Black Wheat Bran and Evaluation of its Antioxidant Capacity

YU Zhang-long<sup>1,3</sup>, LIU Rui<sup>2</sup>, SONG Yu<sup>1</sup>✉, XIE Sa-ying<sup>1</sup>, CAI Yue<sup>1</sup>,  
SUN Yuan-lin<sup>2</sup>, GUO Yuan-yuan<sup>2</sup>, LIU Feng-juan<sup>3</sup>

(1. Shanxi Agricultural University, Institute of Cotton Research, Yuncheng, Shanxi 044000, China;

2. Yun Cheng University, Life Sciences Department, Yuncheng, Shanxi 044000, China;

3. Hejin Tonghe Food Co., Ltd., Yuncheng, Shanxi 044000, China)

**Abstract:** Black wheat bran is by-products of the black wheat processing, which is rich in many physiological active substances, including anthocyanins, phenolic acids and dietary fiber. In this study, the antioxidant activity of black wheat bran was extracted with different solvents and its antioxidant capacity was evaluated.

收稿日期: 2020-08-14

基金项目: 山西农科院“院市(县)共建”研发专项(YCX2018D2YX03); 山西农科院农业科技创新特色产业重点研发专项(YCX2019T07)

Supported by: “Institute City Co-construction” Research and Development Special Project, Shanxi Academy of Agricultural Sciences (No. YCX2018D2YX03); Key Research and Development Special Project of Agricultural Science and Technology Innovation Characteristic Industry, Shanxi Academy of Agricultural Sciences (No. YCX2019T07)

作者简介: 于章龙, 男, 1984 年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为特色农产品加工与利用。E-mail: y\_zl1230@163.com.

通讯作者: 宋昱, 女, 1966 年出生, 副研究员, 研究方向为特色小麦选育与加工。E-mail: ycmhssy@163.com.

The results showed that the dry matter yield of 75% ethanol extract was the highest, which was 10.72%. The content of total phenol extracted by 50% ethanol extract was the highest, which was 2.9 mg/100 mL. The scavenging power of DPPH was the strongest in 50% ethanol extract, and the antioxidant extraction capacity of DPPH was the strongest in 75% ethanol extract. 75% acetone extract had the strongest scavenging effect on ABTS, and 75% methanol extract had the strongest antioxidant extraction effect on ABTS. Therefore, the antioxidant capacities of different solvent extracts are different, and the comprehensive comparison shows that 50% ethanol is more suitable for the extraction of antioxidant active components from black wheat bran.

**Key words:** black wheat; bran; effective components; antioxidant capacity; evaluation; DPPH; ABTS

麸皮是谷物加工的副产物，主要由皮层和糊粉层所组成。在实际制粉工艺中，提取胚和胚乳后的残留物统归为麸皮，约占籽粒重量的 22%~25% 左右<sup>[1]</sup>。麸皮中的维生素、矿物质等较胚乳含量丰富，且富含多种生理活性物质，其中酚类物质研究是热点之一<sup>[2-3]</sup>。麸皮中主要酚类物质包括酚酸、黄酮、木酚素等。酚酸主要为阿魏酸，约占麸皮的 0.4%~0.7%，黄酮约占麸皮的 0.2%<sup>[4-6]</sup>。大量研究证明，谷物中的酚类化合物作为重要的膳食抗氧化组分，对预防人类机体氧化应激和心血管疾病具有突出的防护作用<sup>[7-8]</sup>。全谷物摄入对慢性疾病的预防作用主要归功于膳食纤维及其与之共价键连接的酚酸类物质，被称为“膳食纤维-酚类抗氧化剂复合物”<sup>[9]</sup>。而此类活性物质主要存在于谷物麸皮中。黑小麦是指种子的颜色较深，呈蓝、紫、紫黑、黑等颜色小麦的统称，是目前研究机构采取不同的育种手段而培育出来的特型优质小麦。黑小麦麸皮中不仅富含酚酸、黄酮且富含花青素<sup>[10-11]</sup>。本研究以黑小麦麸皮为原料提取抗氧化活性成分并对其抗氧化活性进行评价，为黑小麦副产物的深加工及利用提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

运黑 14207 麸皮：山西省农业科学院棉花研究所制取；1,1-二苯代苦味酰基自由基、2,2'-联氮-双-3-乙基苯噻唑啉-6-磺酸二铵盐、福林试剂、没食子酸，均为分析纯；天津市大茂化学试剂厂。

### 1.2 主要仪器设备

UV-9000S 可见-紫外分光光度计：上海元析仪器有限责任公司；2XZ-4B 型真空冷冻干燥机：浙江临海市永昊真空设备有限公司；KS-100AL

超声清洗机：深圳市洁康洗净电器有限公司；RE-2000B 旋转蒸发仪：上海亚荣生化仪器厂；JMFB70\*30 实验室小麦磨粉机：中储粮公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 运黑 14207 麸皮制备

按照 GB/T20571—2006 标准磨粉，并获得试验材料麸皮。然后，将麸皮于 -18 °C 下放置 24 h，再经真空冷冻干燥 24 h 后放入自封袋冷藏备用。

#### 1.3.2 溶剂配制及萃取方法

分别配制 50%、75%、100% 甲醇、乙醇、丙酮溶液，以蒸馏水为对照。

准确称取麦麸 20 g，按照料液比 1 : 10 分别与上述溶液混合，40 kHz 功率超声辅助提取 30 min，然后进行抽滤，在 0.09 Mpa、65 °C 旋转蒸发获得提取液，再将提取液倒入平面玻璃器皿中，放置 12 h 后放入冰箱冷冻 24 h，最后进行冷冻干燥，称重并计算得率。冻干样品真空包装冷藏备用。

#### 1.3.3 提取物总酚含量测定

参照 Folin-Ciocalteu 试剂法并稍作修改<sup>[12]</sup>。以没食子酸 (GAE) 为标准品，总酚含量以每 100 mg 提取物 (干基) 中所含相当于没食子酸的质量表示样品中总酚含量 (Total phenolic, TP)。

准确移取 100  $\mu$ L 标准液、500  $\mu$ L 斐林试剂液和 6 mL 蒸馏水于小试管中，1 400 r/min 震荡 1 min，对照样为纯水。

加入 2 mL 15%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液，继续 1 400 r/min 震荡 0.5 min。然后用蒸馏水定容至 10 mL。避光静止 2 h，然后在 750 nm 处测量吸光值。

总酚提取能力 (Total phenolic extraction capacity, TPEC) =  $\text{EY} \times \text{TP} \times 100$ 。定义为溶液提取总酚能力。

### 1.3.4 提取物对 DPPH 自由基清除力测定

测定方法参照文献<sup>[13-14]</sup>并稍作修改,清除力以半数抑制率  $IC_{50}$  值计。

称取样品干物质 0.2 g 于锥形瓶,用 50 mL 75%乙醇溶解,密封超声波辅助溶解,制备样品浓度为 4 mg/mL 溶液。称取 0.2 g DPPH 溶解于 50 mL 75%乙醇,稀释至浓度为 0.04 mg/mL,避光保存。

将上述溶液各取 5 mL 等比例混合,避光静置 30 min 后于 517 nm 处测定吸光值。样品对 DPPH 清除率 I%按照下式计算:

$$I\% = \left[ 1 - \frac{(A - A_1)}{A_0} \right] \times 100\%$$

A-样品和 DPPH 混合液的吸光度值

$A_1$ -阳性空白(无 DPPH 溶液)吸光度值

$A_0$ -阴性空白(无样品溶液)的吸光度值

将上述浓度为 4 mg/mL 样品溶液分别配制成浓度为 0.3、0.6、1.2、1.8、2.4、4 mg/mL 的样品液,然后与 DPPH 溶液等比例混合,避光静置 30 min 后测吸光度值。

抗氧化物提取能力(Antioxidants extraction capacity determined by DPPH, AEC)按照下式计算。

$$AEC_{DPPH} = EY \times 100 / IC_{50}(DPPH)$$

### 1.3.5 提取物对 ABTS 自由基清除力测定

测定方法参照文献<sup>[15-16]</sup>并稍作修改,清除力以半数抑制率  $IC_{50}$  值计。

称取样品干物质 0.2 g 于锥形瓶中,用 50 mL 的蒸馏水溶解,超声波辅助溶解,溶液澄清透明时停止,将样品液稀释为 0.02、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12 mg/mL。

取 1 mL 样品溶液与 1.5 mL ABTS 自由基溶液混合,静置 6 min,于 420 nm 处测定吸光值。清除率、 $IC_{50}$ (ABTS)和  $AEC_{ABTS}$  计算方法同 1.3.4。

### 1.3.6 数据处理

采用 origin 75 作图,利用 SPSS V13.0 软件处理数据,结果采用方差分析(ANOVA)和邓肯检验,半数抑制率  $IC_{50}$  采用 SPSS V13.0 进行计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同溶剂麸皮提取物得率

麸皮中含有主要营养成分为膳食纤维 35%~

50%、淀粉 10%~15%、粗蛋白 12%~18%、脂肪 3%~5%。由图 1 可知,不同溶剂对麸皮提取物得率不同,75%乙醇溶剂得率最高,为 10.72%,且与其他组差异显著。纯丙酮得率最低,为 1.15%。而蒸馏水组提取物得率较高,可能是因为淀粉及粗蛋白溶解较多。不同得率反应了不同溶剂可提出的可溶性物质含量不同。同时也可以看出,纯甲醇、纯乙醇溶剂提取得率相对较低。整体而言,不同浓度丙酮组提取率较低。

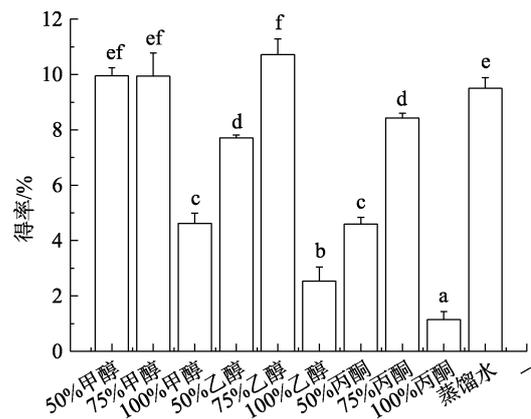


图 1 不同溶剂麸皮提取物得率

Fig.1 Extraction rates of bran extracts in different solvents

注:不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。图 2~图 7 同。

### 2.2 不同溶剂麸皮提取物总酚含量及提取能力

一般而言,游离型和结合型酚类物质为可溶性酚类,束缚型酚类物质则为不溶性酚类,以酯键、糖苷键和醚苷键等形式与其他物质相结合<sup>[17]</sup>。由图 2 可知 50%乙醇提取组总酚含量最多,为 2.9 mgGAE/100 mg,但与对照蒸馏水组差异不显著。100%丙酮提取组总酚含量最少,为 1.14 mg/

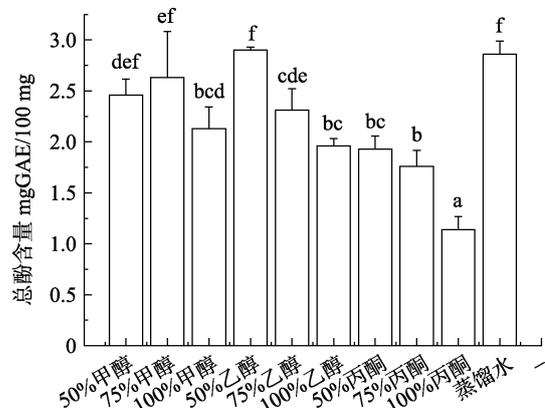


图 2 不同溶剂麸皮提取物总酚含量

Fig.2 Total phenolic content of bran extracts with different solvents

100 mg。由图 3 可知, 蒸馏水的总酚提取能力最强, 且与其他各溶剂组差异显著。50%、75%甲醇提取组和 50%、75%乙醇提取组总酚能力相对较强, 且它们之间差异不显著。100%丙酮提取组最弱。综合图 2、图 3 结果可知, 50%乙醇更适于黑麦麸皮中总酚提取。

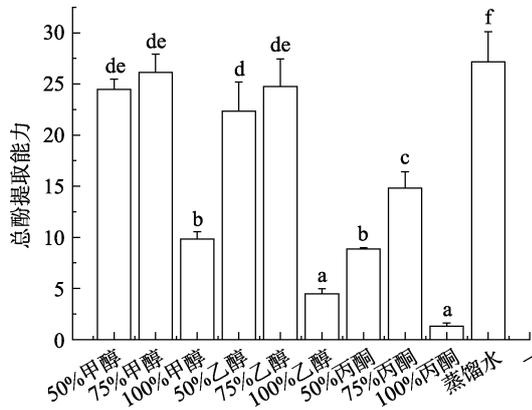


图 3 不同溶剂麸皮提取物总酚提取能力  
Fig.3 Total phenolic extraction capacity of bran extracts with different solvents

### 2.3 DPPH 自由基清除率 IC<sub>50</sub> 值和 AEC 值

DPPH 是一种稳定的有机自由基, 被广泛应用于体外评价天然产物的抗氧化性, 尤其是酚类物质, 通过测定酚酸对 DPPH 自由基的清除能力可以评估其抗氧化性的强弱<sup>[18]</sup>。不同溶剂麸皮提取物对 DPPH 自由基清除率 IC<sub>50</sub> 值见图 4, IC<sub>50</sub> 值越低, 酚类物质对 DPPH 自由基的清除能力越强, 抗氧化性越强。由图 4 可知, 50%乙醇提取物对 DPPH 自由基清除能力最强, 但与 75%乙醇和 75%丙酮组差异不显著。蒸馏水提取物对 DPPH 自由基清除能力最弱。

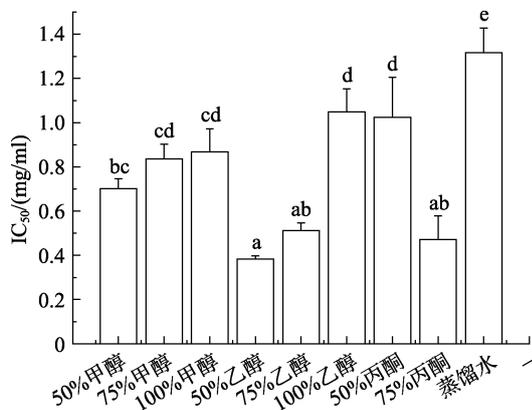


图 4 不同溶剂麸皮提取物对 DPPH 自由基清除率 IC<sub>50</sub> 值  
Fig.4 IC<sub>50</sub> value of DPPH radical scavenging rate of bran extracts with different solvents

从图 5 可看出, 50%和 75%乙醇提取物对 DPPH 的 AEC 值最高, 且与其他组差异显著。说明其提取效果最好。

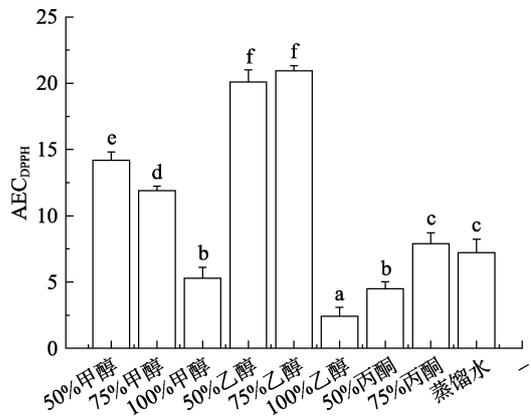


图 5 不同溶剂麸皮提取物对 DPPH 抗氧化物提取能力  
Fig.5 DPPH antioxidant capacity of bran extracts with different solvents

### 2.4 ABTS 自由基清除率 IC<sub>50</sub> 值和 AEC 值

由图 6 可知, 75%丙酮 IC<sub>50</sub> 值最小, 为 0.042 mg/mL, 所以其提取物对 ABTS 自由基清除能力最强。而 75%甲醇 IC<sub>50</sub> 值最大, 为 0.052 mg/mL, 清除能力最弱。但总体而言, 各组对 ABTS 自由基清除率 IC<sub>50</sub> 值之间差异并不是很显著。

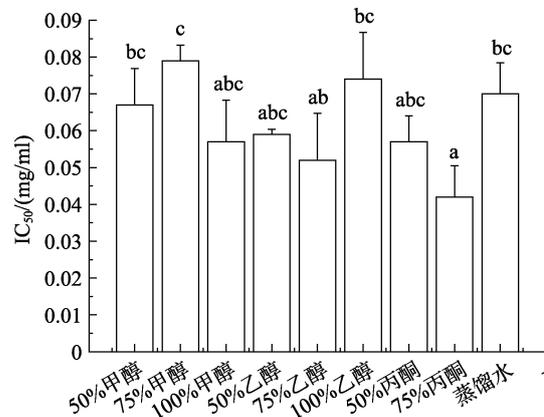


图 6 不同溶剂麸皮提取物对 ABTS 自由基清除率 IC<sub>50</sub> 值  
Fig.6 IC<sub>50</sub> value of ABTS radical scavenging rate of bran extracts with different solvents

以 ABTS 计的抗氧化物提取能力, 其值越高, 提取效果越好, 由图 7 可以看出 75%甲醇提取效果最好, 且与其他组差异显著。50%乙醇次之, 75%丙酮提取效果最弱。

### 2.5 相关性分析

为了研究黑小麦麦麸提取物多酚含量及抗氧化性之间的关系, 对各项指标进行相关性分析,

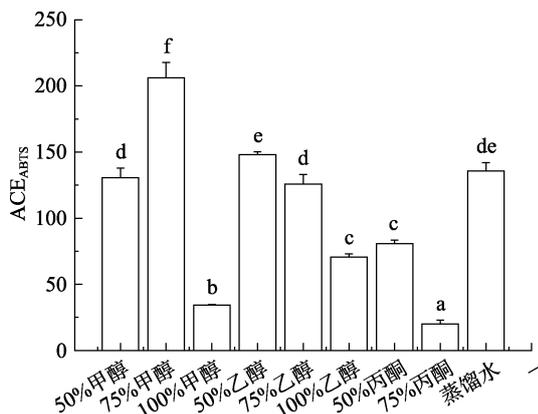


图 7 不同溶剂麸皮提取物对 ABTS 抗氧化物提取能力

Fig.7 ABTS antioxidant capacity of bran extracts with different solvents

结果如表 1 所示。总酚含量 (TP) 与 TPEC 和 AEC<sub>ABTS</sub> 呈极显著正相关, 与 AEC<sub>DPPH</sub> 呈显著正相关, 说明 TP 对 AEC<sub>ABTS</sub> 影响更大, 黑小麦麸皮提取物的抗氧化性主要来源于多酚。TPEC 和 AEC<sub>DPPH</sub> 和 AEC<sub>ABTS</sub> 呈极显著正相关, 证明溶剂对总酚提取能力的水平与对 DPPH 和 ABTS 抗氧化物提取能力一致。

表 1 相关性分析  
Table 1 Correlation analysis

	TP	TPEC	DPPH IC <sub>50</sub>	AEC <sub>DPPH</sub>	ABTS IC <sub>50</sub>	AEC <sub>ABTS</sub>
TP	1	0.853**	-0.471	0.674*	-0.752	0.857**
TPEC		1	0.230	0.782**	0.571	0.829**
DPPH IC <sub>50</sub>			1	-0.176	0.598	0.346
AEC <sub>DPPH</sub>				1	0.566	0.661*
ABTS IC <sub>50</sub>					1	0.514
AEC <sub>ABTS</sub>						1

注: \*\*极显著相关 ( $P < 0.01$ ), \*显著相关 ( $P < 0.05$ )。

### 3 结论与讨论

可食植物中天然存在的大部分多酚都是以游离或结合 (与多糖或蛋白通过酯键和醚键) 的形式存在<sup>[19-20]</sup>。在谷物中主要以结合态存在形式为主, 且 80% 以上存在于谷物的麸皮和胚乳中<sup>[21-22]</sup>。游离型酚类化合物通常可直接溶解在有机溶剂中, 所以一般选用甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯等提取。由于细胞壁的影响, 提取游离型酚类化合物后的残渣中仍有大量不溶的酚类化合物, 所以结合型酚类化合物通常是指有机溶剂提取后的残留物经酸水解、碱水解或酶水解后提取得到的酚类物质。

本研究通过提取黑小麦麸皮抗氧化活性成分并对其抗氧化能力进行评价。50%乙醇提取总酚含量最高, 为 2.86 mg/100 mL; 蒸馏水总酚提取能力最强, 三种有机溶剂浓度为 50% 和 75% 时的提取能力都比纯有机溶剂强, 可知黑小麦麸皮多酚属于中等极性物质; 50%乙醇 DPPH IC<sub>50</sub> 值最小, 对 DPPH 自由基的清除能力最强, DPPH 抗氧化物提取能力 75%乙醇提取效果最佳; 75%丙酮 ABTS IC<sub>50</sub> 值最小, 对 ABTS 自由基清除能力最强, ABTS 抗氧化物提取能力 75%甲醇提取效果最佳; 黑小麦麸皮提取物总酚含量及总酚提取能力水平与对 DPPH 和 ABTS 抗氧化物提取能力一致。因此, 不同溶剂提取物的抗氧化能力不同, 综合比较可知 50%乙醇更适于黑小麦麸皮抗氧化活性成分提取。

所以, 本研究酚类物质提取物主要为游离型酚类化合物, 且由于溶剂提取法提取的麸皮多酚粗提液中杂质较多, 会对其多酚含量及其活性评价造成干扰, 因此有必要对其多酚粗提液进行纯化, 去除蛋白质和糖分等杂质, 再结合其它辅助方法来提高得率, 从而得到纯度更高的多酚类物质, 科学地评价黑麦麸皮多酚的生物活性。

### 参考文献:

- [1] SANDRA E K, WINDHAM W R, FRANKLIN E B. Prediction of total dietary fiber by near-infrared reflectance spectroscopy in high-fat and high-sugar containing cereal[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1998, 46(3): 854-861.
- [2] 刘竞峰, 张喻, 郭红英, 等. 麦类麸皮中酚类物质提取纯化方法的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(9): 6-9.  
LIU J F, ZHANG Y, GUO H Y, et al. Research progress in method of wheat bran extraction and purification of phenolic compounds[J]. Cereals and Oils, 1998, 46(3): 854-861.
- [3] 王宝石, 谭凤玲, 李林波, 等. 不同预处理方法对改善麦类麸皮营养特性的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 265-270.  
WANG B S, TAN F L, LI L B, et al. Advances in pretreatment methods for improving nutritional properties of wheat bran[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7): 265-270.
- [4] 刘瑞, 于章龙, 柴永峰, 等. 粮谷及其发芽物质变化研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 293-298.  
LIU R, YU Z L, CHAI Y F, et al. Research advances of substances variation in grain and germinated grain[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 293-298.
- [5] ANDREASEN M F, KROON P A, WILLIAMSON G, et al. Esterase activity able to hydrolyze dietary antioxidant

- hydroxycinnamates is distributed along the intestine of mammals[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(11): 5679-5684.
- [6] ADOM K K, SORRELLS M E, LIU R H. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(6): 2297-2306.
- [7] LIU R H. Whole grain phytochemicals and health[J]. *Journal of Cereal Science*, 2007, 46(3): 207-219.
- [8] OKARTER N, LIU R H. Health benefits of whole grain phytochemicals[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2010, 50(3): 193-208.
- [9] PAOLA V, AURORA N, VINCENZO F. Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2008, 19(9): 451-463.
- [10] 于章龙, 刘瑞, 宋昱, 等. 运黑系列黑小麦营养品质分析[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(5): 558-562.  
YU Z L, LIU R, SONG Y, et al. Analysis of nutritional quality of Yunhei black kernel wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(5): 558-562.
- [11] 孙元琳, 璀璨, 顾小红, 等. 黑小麦麸皮酚酸物质的定性分析与阿魏酸含量测定[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(11): 113-117.  
SUN Y L, CUI C, GU X H, et al. Qualitative analysis of phenolic acids and content determination of ferulic acids from black-grained wheat bran[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2014, 29(11): 113-117.
- [12] 徐菲, 杨希娟, 党斌, 等. 酸法提取青稞麸皮结合酚工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(17): 301-308.  
XU F, YANG X J, DANG B, et al. Optimization of combined phenols extraction with sulfuric acid from hulless barley bran[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(17): 301-308.
- [13] 胡鲜宝. 葵花粕中绿原酸的提取纯化及其抗氧化特性研究[D]. 内蒙古农业大学, 2010.  
HU X B. Study on extraction and purification of chlorogenic acid from sunflower seed meal and its antioxidant property[D]. Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [14] 杨震峰. 杨梅果实抗氧化特性及保鲜技术研究[D]. 南京农业大学, 2007.  
YANG Z F. Study on the antioxidant property and storage techniques of Chinese bayberry[D]. Nanjing Agricultural University, 2007.
- [15] 王丹. 核桃花粉化学和营养成分提取及抗氧化活性研究[D]. 西北农林科技大学, 2014.  
WANG D. The chemistry and nutrient extraction and anti-oxidation activity of walnut staminate flowers[D]. Northwest Agriculture Forestry University, 2014.
- [16] 胡辉. 雷公藤内酯醇对耐顺铂人卵巢癌细胞体外活性影响及机制的探讨[D]. 南昌大学, 2011.  
HU H. The study of the mechanism about effecting on activity by triptolide on cisplatin-resistant human ovarian cancer in vitro[D]. 2011.
- [17] 杜小燕, 吴晖, 唐语谦, 等. 麦麸发酵前后不同存在形态酚类物质中芬酸含量的变化及其抗氧化活性分析[J]. 2016, 31(6): 17-23.  
DU X Y, WU H, TANG Y Q, et al. Analysis of phenolic compounds contents and antioxidant activities in unfermented and fermented wheat bran[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(6): 17-23.
- [18] 王会, 郭立, 谢文磊. 抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(一)[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(3): 92-97.  
WANG H, GUO L, XIE W L. Methods for determining antioxidative activity of antioxidants( I ) [J]. *Food and Fermentation industries*, 2006, 32(3): 92-97.
- [19] SUN J, CHU Y F, WU X Z, Liu R H. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(25): 7449-7454.
- [20] KLEPACKA J, GUJSKA E, MICHALAK J. Phenolic compounds as cultivar and variety distinguishing factors in some plant products[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2011, 66: 64-69.
- [21] 李富华, 郭晓晖, 夏春燕, 等. 全谷物酚类化合物抗氧化活性研究进展[J]. *食品科学*, 2012, 33(13): 299-304.  
LI F H, GUO X H, XIA C Y, et al. Research advance in antioxidant activity of phenolic compounds in whole grains[J]. *Food Sciences*, 2012, 33(13): 299-304.
- [22] PEREZ-JIMENEZ J, TORRES J L. Analysis of non-extractable phenolic compounds in foods: The current state of the art[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(24): 12713-12724. 