

米糠中不同存在形态酚类物质的抗氧化活性研究

陈彩薇, 吴晖, 赖富饶, 闵甜, 杜小燕, 唐语谦, 李晓凤

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 本文测定了米糠中的游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚和不溶酯型酚和不溶苷型酚的含量。并测定了其体外抗氧化能力, 其中包括 Fe^{3+} 还原力的测定、DPPH、超氧阴离子以及 ABTS 自由基清除率的测定实验等。实验结果表明, 米糠中游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶酯型酚和不溶苷型酚含量分别为 44.70、80.81、63.84、128.63、95.46 mg GAE/100g。不同存在形态的酚对不同体系有不同的抗氧化效果: 其中 Fe^{3+} 还原能力可溶酯型酚最好, IC_{50} 值为 37.62 $\mu\text{g/mL}$; DPPH 自由基清除能力不溶苷型酚最好, 当浓度为 16.33 $\mu\text{g/mL}$ 时, 清除率可以达到 93.56%; 超氧阴离子自由基清除能力可溶酯型酚最好, 当浓度为 9.66 $\mu\text{g/mL}$ 时, 清除率可达 91.12%; ABTS 自由基清除能力不溶酯型酚较好, 当不溶酯型酚浓度为 64.05 $\mu\text{g/mL}$ 时, 清除率可达 91.19%。结果表明, 米糠富含多酚, 具有较好的抗氧化能力。

关键词: 米糠; 粗多酚; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2015)2-42-46

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.2.008

Study on the Antioxidant Activity of Different Forms of Phenolic Compounds in Rice Bran

CHEN Cai-wei, WU Hui, LAI Fu-rao, MIN Tian, DU Xiao-yan, TANG Yu-qian, LI Xiao-feng

(School of Light Industry and food sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640 China)

Abstract: In this study, the contents of different forms of polyphenol, *viz.* free, soluble ester, soluble glycoside, insoluble ester, and insoluble glycoside forms, in rice bran were investigated. The *in vitro* antioxidant activities, including the Fe^{3+} reducing capacity and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), O_2^- , and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radical scavenging activities, were evaluated. The results showed that the polyphenol content in free, soluble ester, soluble glycoside, insoluble ester, and insoluble glycoside form in rice bran were 44.70, 80.81, 63.84, 128.63, and 95.46 mg GAE/100 g, respectively. Polyphenols existing in the different forms in rice bran had different antioxidant effects on different systems. Compared to other polyphenols, the polyphenols in the soluble ester form had the strongest Fe^{3+} reducing capacity (IC_{50} : 37.62 $\mu\text{g/mL}$). The polyphenols in the insoluble ester form exhibited the best DPPH radical scavenging ability; the DPPH scavenging rate was 93.56% at an insoluble ester concentration of 16.33 $\mu\text{g/mL}$. The polyphenols in the soluble ester form showed the strongest O_2^- scavenging capability; the O_2^- scavenging rate was 91.12% at a soluble ester concentration of 9.66 $\mu\text{g/mL}$. The polyphenols in the insoluble ester form showed good ABTS scavenging capability, and the ABTS scavenging rate was 91.19% at an insoluble ester concentration of 64.05 $\mu\text{g/mL}$. These results indicated that rice bran was rich in polyphenols, which had relatively good antioxidant abilities.

Key words: rice bran; crude polyphenols; antioxidant activity

米糠是大米加工的副产物, 是糙米碾白过程中被

收稿日期: 2014-08-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资助项目 (2013ZM0065); 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室开放基金资助项目 (201304); 广东省高等学校科技创新重点项目 (2012GXZD0009); 国家自然科学基金项目 (31201330); 广州市科技攻关项目 (201300000202); 华南理工大学百步梯攀登计划项目 (DC30715040)

作者简介: 陈彩薇, 女 (1991-), 硕士, 研究方向为食品质量与安全

通讯作者: 吴晖 (1967-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全与天然产物化学; 赖富饶, 男 (1981-), 博士, 讲师, 研究方向为农产品深加工

碾下的皮层及少量米胚和碎米的混合物, 其总量约占大米总重的5%~5.5%^[1]。最新研究证明: 米糠含有稻米64%的营养成分及90%以上的人体所需元素。在米糠中, 蛋白质含量为12%~18%, 脂肪含量为16%~20%, 矿物质含量为12%, 膳食纤维含量约为14%, 碳水化合物总量约为50%^[1]。研究表明, 米糠还具有预防心血管疾病、调节血糖、预防肿瘤、抗疲劳、减肥、美容等多种功能, 在国外被誉为“天赐营养源”^[1]。我国作为世界第一产米大国, 长期以来, 大部分地区将米糠作为饲料喂养畜禽。米糠所具有的营养价值和药理作用

未得到充分利用,造成资源的极大浪费。

多酚是植物的次级代谢产物,不仅具有很强的清除自由基能力,还可以通过抑制氧化酶和络合过渡金属离子等起到抗氧化作用^[2]。多酚主要以游离、可溶共价结合和不溶共价结合态的形式存在于植物体内,以酯键、糖苷键、醚苷键等形式与其他物质(包括蛋白质、单糖、有机酸等)相结合。对不同形态的多酚的抗氧化活性已有广泛的研究报道^[3]。有研究表明,多酚的抗氧化活性与其存在形式有关。因此,研究富含酚类活性物质不同存在形态的酚的抗氧化活性具有重大意义。目前国内外酚类物质的研究主要集中在蔬菜、水果和全谷物^[4],米糠多酚的报道多集中在其总酚的提取及抗氧化活性^[5-7],而关于米糠中不同形态酚类物质的研究报道较少。

多酚具有较好的抗氧化活性,为使米糠资源利用最大化,本实验测定了米糠中游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶酯型酚和不溶苷型酚的含量高低,并在提取纯化的基础上,对其体外抗氧化活性进行了对比分析。目前评价多酚的抗氧化活性的方法较多,本实验主要通过测定其 Fe^{3+} 还原能力、DPPH、超氧阴离子和ABTS自由基清除率等来对米糠多酚的抗氧化活性进行评价,为探讨米糠多酚类物质的抗氧化活性提供了一定的依据。

1 材料与设备

1.1 材料与试剂

米糠,购于湖南长沙,过40目筛,密封备用;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH),阿拉丁公司,2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二胺盐(ABTS),申工公司;酚试剂,上海源聚生物科技有限公司;

其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Spectrumlab 752S 紫外可见分光光度计,上海棱光技术有限公司;KQ-250DE 型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;HHS-4 数显恒温水浴锅,上海横平仪器仪表厂;RE-52 旋转蒸发器,上海亚荣系列化仪器厂;DLSB-5L/25 型低温冷却液循环泵,巩义市予华仪器有限公司;SHZ-D(III)循环水式真空泵,巩义市予华仪器有限公司;XW-80A 旋涡混合器。

2 实验方法

2.1 米糠中不同存在形态的多酚样品液制备

[8-9]

2.1.1 米糠游离酚提取

精确称取2g米糠置于60mL棕色试剂瓶里,加入50mL70%的丙酮,超声20min,离心,滤渣重复上述操作5次,合并滤液,将滤液真空浓缩(45℃)至一定体积,用6mol/L HCl调节浓缩滤液pH值为2,上清液用正己烷去脂后,用等体积乙酸乙酯萃取6次,合并乙酸乙酯相,将乙酸乙酯相真空浓缩(30℃),去除有机溶剂后用80%甲醇定容至10mL,即得到米糠游离酚。-20℃下避光保存备用。

2.1.2 米糠可溶酯型酚提取

将上述萃余水相1加入10mL4mol/L NaOH,避光放置过夜,用6mol/L HCl调节反应液pH值为2,经正己烷去脂后,用等体积乙酸乙酯萃取6次,合并乙酸乙酯相,将乙酸乙酯相真空浓缩(30℃),去除有机溶剂后用80%甲醇定容至10mL,即得到米糠可溶酯型酚。-20℃下避光保存备用。

2.1.3 米糠可溶苷型酚提取

将上述萃余水相2加入10mL6mol/L HCl,85℃水浴30min,避光放置过夜,反应液经正己烷去脂后,用等体积乙酸乙酯萃取6次,合并乙酸乙酯相,将乙酸乙酯相真空浓缩(30℃),去除有机溶剂后用80%甲醇定容至10mL,即得到米糠可溶苷型酚。-20℃下避光保存备用。

2.1.4 米糠不溶酯型酚提取

将25mL4mol/L NaOH加入残渣1中,避光超声提取4h,放置过夜,离心(10,000×g,15min),上清液用6mol/L HCl调节反应液pH值为2,经正己烷去脂后,用等体积乙酸乙酯萃取6次,合并乙酸乙酯相,将乙酸乙酯相真空浓缩(30℃),去除有机溶剂后用80%甲醇定容至10mL,即得到米糠不溶酯型酚。-20℃下避光保存备用。

2.1.5 米糠不溶苷型酚提取

滤渣2中加入25mL6mol/L HCl,85℃水浴60min,静置过夜,离心(10,000×g,15min),上清液经正己烷去脂后,用等体积乙酸乙酯萃取6次,合并乙酸乙酯相,将乙酸乙酯相真空浓缩(30℃),去除有机溶剂后用80%甲醇定容至10mL,即得到米糠不溶苷型酚。-20℃下避光保存备用。

2.1.6 米糠各种形态多酚提取流程图

米糠各种形态多酚提取流程见图1。

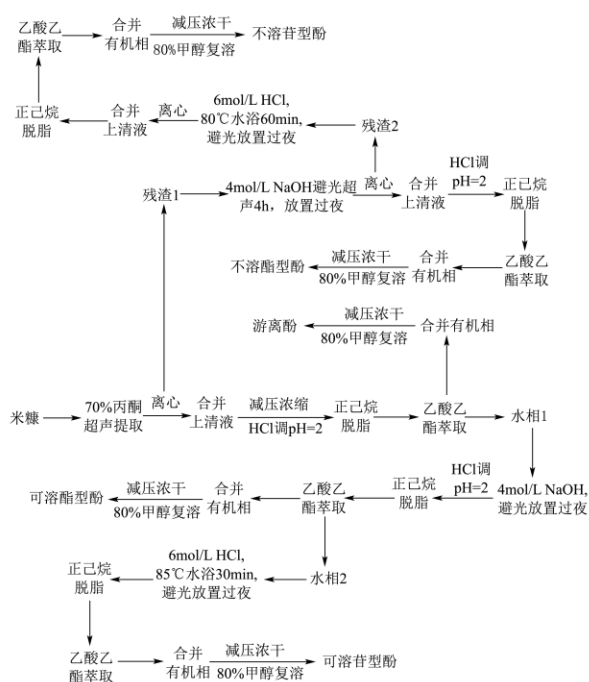


图1 米糠不同存在形态酚类物质的制备流程

Fig.1 Preparation of different forms of polyphenols from rice bran

2.2 米糠中不同存在形态的多酚含量测定

参照何志勇^[10]的方法,取 0.5 mL 米糠酚提取液,加入 0.5 mL Folin-Ciocalteu 试剂,2 mL 蒸馏水,混合均匀,静置 6 min。加入 5.0 mL 7%的 Na₂CO₃ 溶液和 4.0 mL 蒸馏水,混合均匀,室温下避光反应 90 min,测定反应体系在 760nm 处的吸光值。没食子酸做为标品,得到的回归方程为: Y=5.8651X+0.0231, R²=0.9997。其中, Y 为反应液吸光度; X 为溶液总酚浓度 (mg/mL)。

2.3 体外抗氧化能力测定

2.3.1 Fe³⁺还原能力测定^[11]

2.3.2 清除 DPPH 自由基能力测定

参考何秋彤等^[11-12]的方法,略作修改。取样品稀释液 2 mL,加入 2 mL DPPH 甲醇溶液(0.005%, m/V),立即混匀,30 min 后用溶剂作参比在 517 nm 波长测定其吸光度。以 Vc 作为阳性对照,清除 DPPH 自由基能力按下式计算:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = [1 - (A_1 - A_2)/A_0] \times 100$$

注: A₀为 2 mL 80% 甲醇+2 mL DPPH 甲醇溶液的吸光度; A₁为 2 mL 样品溶液+2 mL DPPH 甲醇溶液的吸光度; A₂为 2 mL 样品溶液+2 mL 甲醇溶液的吸光度。

2.3.3 清除超氧阴离子自由基能力^[13]测定

2.3.4 清除 ABTS 自由基能力^[14]测定

3 结果与分析

3.1 米糠中不同存在形态的多酚含量测定

表 1 米糠中不同存在形态的多酚含量及其所占比例

Table 1 Content and proportion of different forms of polyphenols in rice bran

酚酸种类	酚含量(mg GAE/100 g)	占总酚比例/%
游离酚	44.70±0.30 ^e	10.81
可溶酯型酚	80.81±1.32 ^d	19.55
可溶苷型酚	63.84±0.12 ^c	15.44
不溶酯型酚	128.63±3.62 ^b	31.11
不溶苷型酚	95.46±0.48 ^a	23.09
可溶共价结合酚	144.65±1.20	34.99
不溶共价结合酚	224.09±3.14	54.20
总酚	413.44±1.63	

注: 字母完全不同时,表示不同酚含量存在显著性差异 (p < 0.01)。

根据表 1 可知,米糠中,总酚含量为 413.44 mg GAE/100g,高于 Chatchawan Chotimarkom^[6]等人所研究的泰国的五种 long-grained 的米糠中总酚最大值 320.00 mg GAE/100g 和李青^[14]等人提到的 5 个水稻品种中谷壳总酚最大值 398.4 mg GAE/100g DW,表明本文所研究的米糠含有丰富的多酚。米糠中不同存在形态的多酚含量差异显著。其中,不溶酯型酚>不溶苷型酚>可溶酯型酚>可溶苷型酚>游离酚。游离酚:可溶共价结合型酚:不溶共价结合型酚约为 1:3:5。米糠中多以不溶共价结合型酚的形态存在。由此可见,用常规的有机试剂不能有效提取米糠中的不溶共价结合型酚,造成资源浪费。可通过改进提取工艺,采用加酸、加碱、酶处理或者用微生物发酵的方法来提高米糠多酚的提取率。

3.2 Fe³⁺还原力

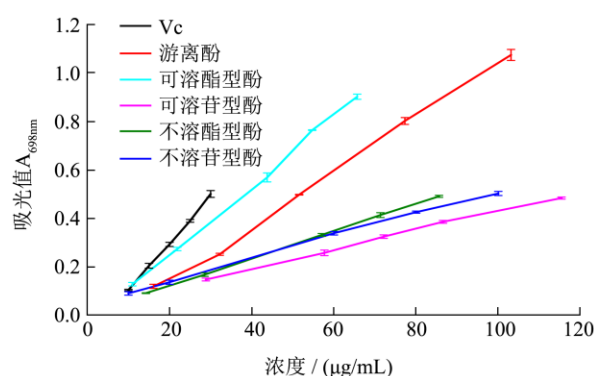


图 2 Fe³⁺还原力

Fig.2 Fe³⁺ reducing activity

一般情况下,样品的还原能力与抗氧化活性之间具有显著的相关性,还原能力的高低可间接反映抗氧化能力的强弱^[5]。样品的还原力越强,其抗氧化性则越强。即,吸光值越大,还原力越强。根据图2可知,Vc、游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶酯型酚和不溶苷型酚的IC₅₀值依次为30.51、52.16、37.62、119.69、88.04和96.89 μg/mL,即6种样液的还原能力大小为Vc>可溶酯型酚>游离酚>不溶酯型酚>不溶苷型酚>可溶苷型酚。在所研究的浓度范围内,6种样液浓度均与其还原力成线性关系,R²>0.99。酯型酚和游离酚的还原能力明显高于苷型酚,键的结合方式可能对还原能力有一定的影响。

3.3 清除DPPH自由基能力

DPPH是一种很稳定的以氮为中心的自由基,若受试物能将其清除,则表明受试物具有降低羟基自由基、烷基自由基或过氧化自由基的有效浓度和打断脂质过氧化链的作用^[6]。米糠不同存在形态酚对DPPH自由基的清除作用,如图3所示。

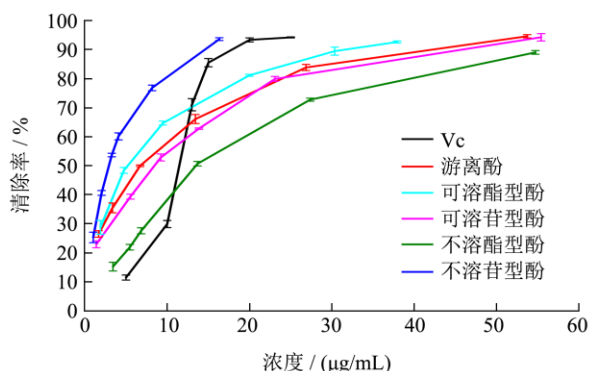


图3 DPPH自由基清除能力测定

Fig3 DPPH radical scavenging activity

根据图3可知,Vc、游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶酯型酚和不溶苷型酚对DPPH自由基都有一定的清除能力,且随浓度的增大,清除能力越强。当质量浓度较低时,6种样液对DPPH自由基清除率都较好。Vc、游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶酯型酚和不溶苷型酚清除DPPH自由基的IC₅₀值分别为10.53、5.79、4.84、6.89、13.21和2.76 μg/mL。DPPH自由基半清除能力大小为不溶苷型酚>可溶酯型酚>游离酚>可溶苷型酚>Vc>不溶酯型酚。不溶苷型酚随着浓度增加,清除率增大趋势明显,当浓度为16.33 μg/mL时,清除率可以达到93.56%;Vc在低于10.00 μg/mL时,清除率较小,10.00~15.00 μg/mL时,清除率成线性增长;当Vc浓度达到15.00 μg/mL时,DPPH清除率达到85.46%,仅低于同浓度下不溶苷型酚;而游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶

酯型酚,清除率增长相对较缓慢。6种样液的DPPH自由基清除能力整体较还原能力好。可溶酯型酚具有较好的DPPH自由基清除能力和Fe³⁺还原能力。相对于Chatchawan Chotimarkom^[6]等研究的5种米糠中,DPPH清除率的IC₅₀值0.38~0.74 mg/mL,说明本文研究的米糠的多酚DPPH自由基清除能力强。

3.4 超氧阴离子自由基清除能力

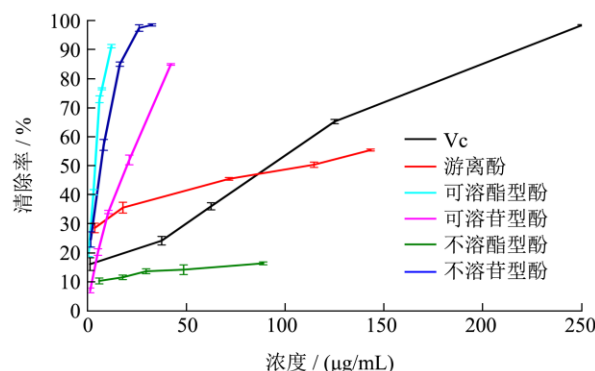


图4 O₂⁻自由基清除能力测定

Fig4 O₂⁻ radical scavenging activity

分子氧在单电子还原时生成的超氧阴离子自由基中间体能引发多种自由基的产生,与机体衰老、肿瘤、炎症、外源物代谢等生物过程密切相关。如图4所示,在一定浓度范围内,不溶酯型酚对超氧阴离子清除率很低,基本无变化;Vc、游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚和不溶苷型酚随着浓度的增大,清除能力越强。对超氧阴离子自由基的清除能力,可溶酯型酚稍>不溶苷型酚>可溶苷型酚,明显高于Vc、游离酚和不溶酯型酚。其中,可溶酯型酚、不溶苷型酚和可溶苷型酚增长快,基本呈线性增长。当可溶酯型酚浓度为9.66 μg/mL时,清除率可达91.12%;不溶苷型酚含量为13.04 μg/mL时,清除率达84.92%。游离酚增长较缓慢。Vc浓度<30.00 μg/mL时,增长较平缓,30.00~100.00 μg/mL时,增长较快,>100.00 μg/mL时,增长速度再次减缓,当Vc浓度高于80.00 μg/mL时,清除能力大于游离酚。与DPPH自由基清除能力顺序相似,可溶酯型酚和不溶苷型酚都具有较好的DPPH和超氧阴离子自由基清除能力,不溶酯型酚对两种自由基的清除能力都较弱。

3.5 ABTS自由基清除能力

如图5所示,6种样液对ABTS自由基都有一定的清除能力,不溶酯型酚与Vc清除ABTS自由基的能力相当,当浓度小于50.00 μg/mL时,不溶酯型酚的清除率要稍高于Vc,明显高于其他4种酚;Vc增长趋势较不溶酯型酚大,当不溶酯型酚浓度为64.05

$\mu\text{g/mL}$ 时,清除率可达 91.19%; Vc 浓度为 60.00 $\mu\text{g/mL}$ 时,清除率可达 93.72%。可溶酯型酚和不溶苷型酚清除能力相当,略低于游离酚,高于可溶苷型酚。清除能力酯型酚和游离酚均高于苷型酚,说明键的结合方式对 ABTS 清除能力也有一定的影响。不溶酯型和苷型酚分别大于可溶酯型和可溶苷型酚,说明酚的存在形态对 ABTS 清除能力有一定的影响。不溶酯型酚的抗氧化能力明显不同于其他酚,可能是不溶酯型酚中含有特殊种类的酚类物质。

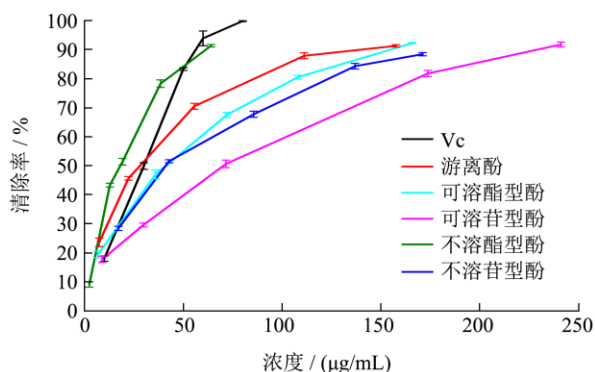


图 5 ABTS 自由基清除能力测定

Fig.5 ABTS radical scavenging activity

4 结论

4.1 通过酸碱水解,采用有机溶剂萃取的方法能提取米糠中不同形态的酚。其中,米糠中游离酚、可溶酯型酚、可溶苷型酚、不溶酯型酚和不溶苷型酚含量分别为 44.70、80.81、63.84、128.63 和 95.46 mg GAE/100g;可溶共价结合酚和不溶共价结合酚含量分别为 144.65 和 224.09 mg GAE/100g;总酚含量为 413.44 mg GAE/100g。游离酚:可溶共价结合酚:不溶共价结合酚约为 1:3:5。因此,采用传统的有机溶剂提取法将会损失大部分的不溶结合酚。

4.2 不同存在形态酚抗氧化结果: Fe^{3+} 还原能力可溶酯型酚最好; DPPH 清除能力不溶苷型酚最好;超氧阴离子清除能力可溶酯型酚和不溶苷型酚较好; ABTS 自由基清除能力不溶酯型酚最好。可溶酯型酚具有较好的 DPPH、超氧阴离子自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力;不溶苷型酚具有较好的 DPPH 和超氧阴离子自由基清除能力;不溶酯型酚具有较好的 ABTS 自由基清除能力。实验结果证明,米糠中不同存在形态的酚都具有一定的抗氧化能力。不同存在形态酚对不同体系的抗氧化作用不同,可能是不同种类的多酚、键的结合方式和多酚的存在形态对不同自由基的作用存在一定的选择性。关于米糠中不同存在形态酚的种类、结构及其与抗氧化能力之间的关系还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 闫金萍.米糠深加工产品的开发与研究进展[J].食品科技,2007,6:243-247
YAN Jin-ping. Research and development of rice bran deep-processing products [J]. Food Science and Technology, 2007, 6: 243-247
- [2] Yu L L, Moore J, Hao Z G. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid, and antioxidant properties of Maryland-Grown soft wheat [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 6649-6657
- [3] Wang B N, Liu H F, Zheng J B, et al. Distribution of phenolic acids in different tissues of Jujube and their antioxidant activity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(4): 1288-1292
- [4] Holtekjolen A K, Kinitz C, Knutsen S H. Flavanol and bound phenolic acid contents in different barley varieties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(6): 2253-2260
- [5] R Renuka Devi, C Arumughan. Phytochemical characterization of defatted rice bran and optimization of a process for their extraction and enrichment [J]. Bioresource technology, 2007, 98: 3037-3043
- [6] Chatchawan C, Soottawat B, Nattiga S. Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand [J]. Food Chemistry, 2008, 111: 636-641
- [7] Carlos A G, G, Mercedes B M, et al. Correlation of tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant capacity assays [J]. Food Chemistry, 2007, 102: 1228-1232
- [8] Ayaz F A, Hayirlioglu-Ayaz S, Gruz J, et al. Separation, characterization, and quantitation of phenolic acids in a little-known blueberry (*Vaccinium arctostaphylos* L) fruit by HPLC-MS [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(21): 8116-812
- [9] 郝杰,张长虹,曹学丽.七种谷物麸皮中的酚酸类成分分析[J].食品科学,2010,31(10):263-267
HAO Jie, ZHANG Chang-hong, CAO Xue-li. RP-HPLC analysis of phenolic acids in different varieties of cereal bran [J]. Food Science and Technology, 2007, 6: 243-247
- [10] 何志勇,夏文水.Folin-Ciocalteu 比色法测定橄榄中多酚含量的研究[J].林产化学与工业,2006,26(4):15-18
HE Zhi-yong, XIA Wen-shui. Study on determination of polyphenol content in *Canarium album*(Lour.) Rauesch. by Folin-Ciocalteu colorimetry [J]. Chemistry and Industry of

- Forest Products, 2006, 26(4): 15-18
- [11] Yu Y G, He Q T, Yuan K, et al. In vitro antioxidant activity of *Bombax malabaricum* flower extracts [J]. *Pharmaceutical Biology*, 2011, 49(6): 569-576
- [12] 李臻. 溪黄草多酚的提取、纯化、鉴定及生物活性研究[D]. 广州:华南理工大学, 2013
- LI Zhen. Study on extraction, purification, identification and biological activities of polyphenol from *Rabdosia serra*(Maxim.)Hara [D]. Guangzhou: South China of Technology, 2013
- [13] Nichols S, Quinton J C. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes [J]. *Phytochemistry*, 1989, 28(4): 1057-1060
- [14] 李青,张名位,张瑞芳. 5种籼稻品种谷壳中游离态和结合态酚类物质含量及其抗氧化活性比较[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(6): 1150-1158
- LI Qing, ZHANG Ming-wei, ZHANG Rui-fang. Free and bound phenolic contents and antioxidant activity of five varieties of *Indica* rice husk [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(6): 1150-1158
- [15] 徐亚民,赵晓燕,马越等. 紫甘蓝色素抗氧化能力的研究[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(11): 59-62
- XU Ya-min, ZHAO Xiao-yan, MA Yue, et al. Study on antioxidant activities of purple cabbage pigment[J]. *Food Research and Development*, 2006, 27(11): 59-62
- [16] 凌关庭. 抗氧化食品与健康[M]. 北京:化学出版社, 2004
- LING Guan-ting. Antioxidant food and health[M]. Beijing: Chemical industry press, 2004