# 不同来源小麦麸皮营养成分及酚类物质含量的比较

蔺艳君，刘丽娅，钟葵，佟立涛，周闲容，周素梅
（农业部农产品加工综合性重点实验室，中国农业科学院农产品加工研究所，北京 100193）

**摘要：**本文收集国内9个小麦主产省12个小麦麸皮样品，对蛋白质、总淀粉、脂肪、膳食纤维和戊聚糖，及不同形态酚类物质（游离型、可溶共价结合型、束缚型）等组分含量进行测定，采用数学统计方法对样品间组分差异和各组分相关性进行统计分析。结果表明：麸皮三大主要营养成分总膳食纤维、蛋白、总淀粉平均含量分别为47.30、19.85和16.90%，总淀粉和膳食纤维变幅较大，变异系数(CV)分别达到19.94和8.75%，蛋白变幅较小，CV值仅为3.16%，戊聚糖作为麸皮中主要膳食纤维，平均含量达到31.57%；总酚含量4470.37~5521.30 μg GAE/g，73.9~79.1%为束缚型酚酸；束缚型阿魏酸在单体酚中占主导地位，含量高达2677.4~3401.8 μg/g;，以下组分间存在极显著相关性（$p<0.01$），其中膳食纤维及碱解束缚型酚酸（BBPA）与总淀粉呈极显著负相关，戊聚糖及BBPA与膳食纤维极显著正相关，戊聚糖与BBPA极显著正相关，酸解束缚型酚酸（ABPA）与总酚极显著正相关。

**关键词：**小麦麸皮；营养成分；总酚；单体酚

**文章篇号：**1673-9078(2014)12-194-200 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.12.033

# Comparison of Nutritional and Phenolic Content of Wheat Bran Obtained from Different Sources

**LIN Yan-jun, LIU Li-ya, ZHONG Kui, TONG Li-tao, ZHOU Xian-rong, ZHOU Su-mei**
(Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Agro-Products Processing Science & Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In this study, the protein, total starch, fat, dietary fiber, pentosan, and the total free, soluble covalently bonded, and bound phenolic substance content in 12 wheat bran samples obtained from nine major wheat production provinces of China were investigated. The differences and correlation between components of the different samples were analyzed statistically. Dietary fibers, proteins, and starch were identified as the three major nutrients in wheat bran, with average contents of 47.30%, 19.85%, and 16.90%, respectively. The total starch and total dietary fiber content varied over a wide range, and the coefficient of variation (CV) was determined to be 19.94% and 8.75%, respectively. However, the protein content varied within a small range, with a CV of 3.16%. Pentosan, the major dietary fiber in wheat bran, was present in an average content of 31.57%. The total phenol content in wheat bran varied between approximately 4470.37 and 5521.30 μg gallic acid equivalents (GAE)/g, with bound phenolic acids constituting 73.9%–79.1%. Bound ferulic acids were the dominant monophenols, with the bran containing as much as 2677.4–3401.8 μg/g ferulic acid content. Many significant ($p < 0.01$) correlations were also observed between many components. Total dietary fiber and base-hydrolyzed bound phenolic acids (BBPA) showed significant negative correlation with total starch; pentosan and BBPA showed significant positive correlation with dietary fibers; pentosan displayed a significant positive correlation with BBPA; and acid-hydrolyzed bound phenolic acids (ABPA) demonstrated a significant positive correlation with total phenols.

**Key words:** wheat bran; nutritional ingredients; total phenols; monophenols

我国是小麦种植大国，小麦加工每年产生2000万 t 以上麸皮副产物，其中 85%以上直接作为原料用于酿造和饲料行业，附加值不高[1]。事实上，麸皮作为整个谷物籽粒营养价值的核心，富含膳食纤维、酚酸、维生素和矿物质等多种对人体有益的生理活性物质，如果能有效利用这些功能性成分，小麦麸皮价值有望得到充分体现。

酚类化合物是一个或多个芳香环与一个或多个羟基结合而成的一类物质。由于酚类物质苯环上的羟基极易失去氢电子，故可以作为良好的电子供体而发挥

收稿日期：2014-05-29
基金项目：科研院所技术开发研究专项(2013EG134235)；国家国际科技合作专项(2012DFA31400)；公益性行业（农业）科研专项经费项目(201303071)；国家自然科学基金项目(31271852)；国家科技支撑计划课题(2012BAD34B01)
作者简介：蔺艳君（1990-），女，硕士研究生，主要从事粮食副产物功能活性物质研究；刘丽娅，并列第一作者
通讯作者：周素梅（1971-），女，博士，研究员，主要从事粮油加工与功能食品研究

抗氧化功能。谷物麸皮酚类物质含量与果蔬相当，但主要以束缚型为主，占总酚含量的 90%以上。束缚酚多与纤维素木糖以酯键或醚键相连，耐胃肠道消化酶降解，主要在大肠中被微生物发酵释放出生物活性物质，达到预防癌症、心血管疾病、Ⅱ型糖尿病等多种慢性疾病的作用[2]。酚酸属于酚类物质中的一类，谷物中酚酸约占总酚的 1/3，常见的主要有香豆酸、咖啡酸和阿魏酸等羟化肉桂酸衍生物;及对羟基苯甲酸、香草酸和原儿茶酸等羟化苯甲酸衍生物[3~4]。

国内外对谷物麸皮酚类物质的品种间差异研究较多，已有研究表明，不同种类谷物中总酚酸由高到低依次为玉米、小麦、荞麦、燕麦；对于同类型谷物，品种间酚类物质组成和含量存在一定差异[3~5]。在副产物的实际利用中，小麦麸皮往往来源于多个小麦品种，同时样品中营养成分和活性物质的含量易受到制粉工艺等后期加工条件的影响。至今，国内外鲜有针对商品化麸皮原料营养物质和活性成分的报道。本研究小组在前期工作中，曾对我国 2012 年度商品化麸皮原料营养指标和卫生安全指标进行了全面分析[1]。基于酚类化合物在麦麸活性组分中的重要地位，本研究重新收集了我国 2013 年度小麦主产区主要面粉企业的小麦麸皮样品，在基本营养成分测定的基础上，重点分析商品化小麦麸皮中不同形式酚类物质的含量。本研究旨在掌握酚类物质在商品化小麦麸皮中的富集规律，了解各组分在含量上的相关性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

表1 小麦麸皮样品来源

**Table 1 Sources of wheat bran**

| 样品编号 | 来源 | 样品编号 | 来源 |
|---|---|---|---|
| 1 | 山东滨州 | 7 | 河南登封 |
| 2 | 山东德州 | 8 | 陕西宝鸡 |
| 3 | 河北邢台 | 9 | 安徽宿州 |
| 4 | 河北邯郸 | 10 | 北京 |
| 5 | 河北唐山 | 11 | 内蒙古巴彦淖尔 |
| 6 | 河南周口 | 12 | 江苏兴化 |

小麦麸皮：收集国内小麦主产省不同面粉生产企业的 2013 年小麦麸皮样品 12 个（样品编号见表 1），样品经旋风磨粉碎后用塑料袋包装，储存于 4 ℃冰箱备用。

原儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、对香豆酸、阿魏酸、水杨酸、肉桂酸（纯度均大于 95%）购自美国 Sigma-Aldrich 公司;色谱纯甲醇、乙酸乙酯、冰乙酸均购自美国 Fisher 公司;其它试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

Kieltec Analysister 凯氏定氮仪，丹麦 Foss 公司；Soxtec Avanti 2050 自动脂肪检测仪，丹麦 Foss 公司；Agilent 1200 高效液相色谱，美国 Agilent 公司美国；紫外可见分光光度计，UV-1201 型，北京瑞利分析仪器公司；101A-2B 型电热鼓风干燥箱，上海实验仪器厂有限公司；分析天平，TB-214，Denver 公司，美国；CT410 旋风磨，Foss 公司，丹麦；pH 计，pHS-3C，上海雷磁仪器厂。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 基本营养成分含量测定

参照 GB5497-1985，105 ℃恒重法测定籽粒水分含量；参照 GB/T 5009.5-2003 测定粗蛋白含量；参照 GB/T 14772-2008 测定粗脂肪含量;参照 AOAC 996.11 方法测定总淀粉含量；参照改进 AOAC 991.43 方法测定总膳食纤维含量；采用地衣酚-盐酸法测定戊聚糖含量[6]；采用福林酚法测定总酚含量；采用高效液相色谱法测定单体酚含量。

#### 1.3.2 酚类物质的提取[3]

1.3.2.1 游离型酚酸提取

取 0.5 g 麸皮用 10 mL 80%的甲醇浸提，室温搅拌条件下提取 3 次，每次 30 min。滤液混合后用真空旋转蒸发器蒸干，用 4 mL pH 2 的 HCl 复溶，用 4 mL 的乙酸乙酯萃取 3 次，有机相混合后蒸干，用 2 mL 甲醇复溶，得到游离型酚酸(FPA)。

1.3.2.2 可溶共价结合型酚酸提取

上述萃取后的水相蒸干，加入 4 mL 2mol/L 的 NaOH 溶液碱解 4 h，用 6 mol/L 的盐酸调 pH 2，用 4 mL 乙酸乙酯萃取 3 次，有机相用真空旋转蒸发器蒸干后，用 2 mL 甲醇复溶，得到碱解可溶共价结合型酚酸(BHPA)。水相用 3 mL 6 mol/L 的 HCl 溶液在 95 ℃水中酸解 20 min,冷却后用等体积乙酸乙酯萃取 3 次，有机相蒸干后，用 2 mL 甲醇复溶，得到酸解可溶共价结合型酚酸(AHPA)。

1.3.2.3 束缚型酚酸提取

干燥后的滤渣，用 20 mL 2 mol/L 的 NaOH 溶液碱解 4 h，于室温条件下 4000 r/min 离心 15 min，上清液调 pH 2，用等体积乙酸乙酯萃取 3 次，有机相混合后用真空旋转蒸发器蒸干后，用 2 mL 甲醇复溶，得到碱解束缚型酚酸(BBPA)。水相用 20 mL 6 mol/L 的 HCl 溶液于沸水中酸解 1 h，冷却后室温条件下 4000 r/min 离心 15 min，上清液用等体积乙醚萃取 3 次，有

机相混合后蒸干，用 2 mL 甲醇复溶，得到酸解束缚型酚酸(ABPA)。

### 1.3.3 总酚含量测定

总酚含量的测定参照 Singleton 等[7]的方法并稍有改动。移取 0.125 mL 游离酚或结合酚提取液，加入 0.5 mL 蒸馏水和 0.125 mL 的福林酚试剂，混匀后 25 ℃下静置反应 6 min 后，再加入 1.25 mL 7%（*m/V*）$Na_2CO_3$溶液和 1 mL 蒸馏水，混匀后在 25 ℃下避光静置 90 min，于 760 nm 波长下测其吸光值。同时以 0.125 mL 甲醇代替提取液作空白对照，配置不同溶度梯度没食子酸标准品制作标准曲线。总酚含量以干基每 100 g 麸皮中所含没食子酸当量（μg gallic acid equivalents/100 g dry weight）表示，简写为 μg GAE/100 g。测定重复 3 次。

### 1.3.4 单体酚含量测定

单体酚类物质含量测定采用反相高效液相色谱分析法测定，色谱仪为美国 Agilent 1200 高效液相色谱仪，配有 VWD 紫外检测器。色谱条件为：色谱柱型号 ZORBAX SB-C18(250×4.6 mm；5 μm)；流动相：乙腈(A)和 1%乙酸水溶液(B)；柱温 30 ℃；检测波长 280 nm；流速：1.0 mL/min；梯度洗脱程序：0~30 min，B 为 100%~85%；30~50 min，B 为 85%~50%；50~55 min，B 为 50%~0%；55~60 min，B 为 0%~100%。总运行时间：70 min；进样量 10 μL；进样前样品均用 0.45 μm 微孔滤膜过滤。

将不同浓度的多酚标准溶液按照上述色谱条件进行分析，以测定得到的峰面积为纵坐标、标准样品的质量浓度为横坐标，分别绘制 8 种酚酸样品的标准曲线。根据样品保留时间与标准品对照定性，峰面积外标法定量。

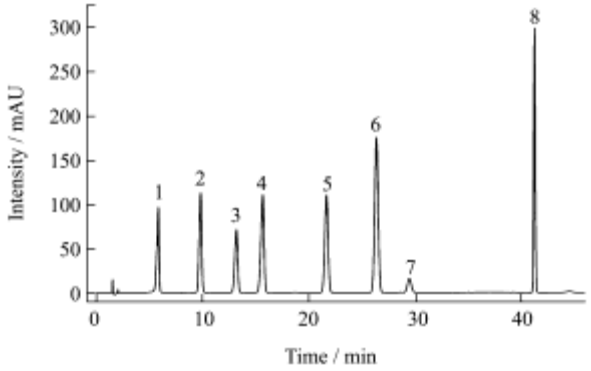



图 1 标准混合样品液相色谱图

**Fig.1 HPLC chromatogram of a mixture of eight phenolic acid standards**

注：1.原儿茶酸 （5.877 min); 2.丁香酸 （9.853 min); 3.对羟基苯甲酸（13.221 min）;4.对香豆酸（15.694 min);5.香草酸（21.689 min）;6.阿魏酸（26.387 min）;7.水杨酸（29.471 min); 8. 肉桂酸（41.248 min）。

图 1 为 8 种标准品混标的液相色谱图。由图可知，8 种标准品分离效果良好。将 8 中标准品按一定稀释倍数进行稀释，绘制标准曲线，所得工作曲线的检测范围及相关系数系数见表 2。可见，相关系数均达到 0.9991 以上。采用标准品做回收性试验，回收率达到 94%以上，满足定量分析的要求。

表2 8种酚酸标准品的检测范围及相关性系数

**Table 2 Detection range and correlation coefficients of phenolic acid standards**

| 种类 | 检测范围/(μg/mL) | 相关性系数 $R^2$ |
|---|---|---|
| 原儿茶酸 | 0.92~92.00 | 0.9998 |
| 对羟基苯甲酸 | 1.17~117.20 | 0.9992 |
| 香草酸 | 0.79~79.20 | 0.9999 |
| 丁香酸 | 0.80~80.40 | 0.9999 |
| 对香豆酸 | 0.76~76.16 | 0.9999 |
| 阿魏酸 | 4.32~432.00 | 0.9999 |
| 水杨酸 | 0.86~86.00 | 0.9999 |
| 肉桂酸 | 0.39~38.56 | 0.9999 |

### 1.3.5 数据分析

所有试验数据位 3 次重复的平均值和标准差，采用 Microsoft Excel 进行数据整理，用 SAS 9.2 软件进行显著性、相关性分析

## 2 结果与讨论

### 2.1 小麦麸皮基本营养成分含量分析

近年来的研究表明，小麦麸皮除了膳食纤维通常具有的降血脂、通便、减肥功能外，还具有显著的抗氧化、增强免疫力、抗肿瘤、降血糖等生理功能，而这些功能与其所富含的主要膳食纤维戊聚糖密切相关[9]，因此本研究除关注膳食纤维外，增加了戊聚糖（即阿拉伯木聚糖）的指标。12 种不同来源小麦麸皮样品营养成分分析结果见表 3。小麦麸皮中三大组分蛋白质、淀粉和膳食纤维，平均含量分别为 19.85%、16.90%、47.30%，占麸皮质量 80%以上。戊聚糖作为小麦麸皮中主要的膳食纤维，平均含量高达 31.57%，占总膳食纤维 66.70%。粗脂肪和灰分含量相对较低，分别为 3.77%和 5.63%。

小麦麸皮营养成分除受基因型和种植条件决定外，也会受到制粉工艺条件、面粉出率等因素的影响。整体来看，不同来源小麦麸皮总淀粉、总膳食纤维、灰分、戊聚糖含量变幅较大，粗蛋白和粗脂肪含量变幅较小。变异系数由高到低依次为总淀粉（19.94%）、粗脂肪（9.98%）、膳食纤维（8.75%）、灰分（7.95）、

戊聚糖（7.46）、蛋白质（3.16%），与本研究小组对2012年度麸皮营养组分统计分析结果基本相同[1]。本研究表明，不同来源麦麸中膳食纤维含量具有显著差异，其中河北地区小麦麸皮样品（3、4、5 号）总膳食纤维达到50%以上，且3号和4号样品中戊聚糖含量高达35%左右，显著高于其它产区样品（$p<0.05$）。

表3 不同来源小麦麸皮基本营养成分比较

**Table 3 Comparison between the major nutritional components of wheat bran obtained from different sources**

| 编号 | 样品来源 | 基本营养成分含量/% | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 蛋白 | 粗脂肪 | 总淀粉 | 灰分 | 膳食纤维 | 戊聚糖 | 水分 |
| 1 | 山东滨州 | 20.30±0.22$^{bc}$ | 4.15±0.27$^{ab}$ | 14.73±0.04$^{d}$ | 5.51±0.04$^{d}$ | 49.77±0.38$^{c}$ | 31.56±1.05$^{cde}$ | 7.83±0.12$^{c}$ |
| 2 | 山东德州 | 19.36±0.02$^{def}$ | 3.72±0.12$^{bcd}$ | 17.83±0.28$^{c}$ | 5.92±0.01$^{b}$ | 49.08±0.38$^{c}$ | 32.16±0.57$^{cd}$ | 7.68±0.04$^{d}$ |
| 3 | 河北邢台 | 19.31±0.0$^{4ef}$ | 3.39±0.13$^{cd}$ | 14.69±0.09$^{d}$ | 5.55±0.12$^{cd}$ | 52.41±0.39$^{b}$ | 34.76±0.57$^{ab}$ | 7.23±0.06$^{f}$ |
| 4 | 河北邯郸 | 19.10±0.30$^{f}$ | 3.48±0.19$^{cd}$ | 13.21±0.30$^{ef}$ | 5.93±0.01$^{b}$ | 53.88±0.26$^{a}$ | 36.57±2.18$^{a}$ | 7.23±0.03$^{f}$ |
| 5 | 河北唐山 | 19.47±0.25$^{de}$ | 3.77±0.20$^{abc}$ | 12.17±1.19$^{f}$ | 5.94±0.01$^{b}$ | 52.06±0.65$^{b}$ | 31.80±0.38$^{dce}$ | 7.64±0.02$^{d}$ |
| 6 | 河南周口 | 21.12±0.08$^{a}$ | 3.43±0.02$^{cd}$ | 21.63±0.82$^{a}$ | 4.96±0.01$^{f}$ | 41.24±0.29$^{h}$ | 29.29±0.67$^{ef}$ | 8.28±0.01$^{a}$ |
| 7 | 河南登封 | 20.07±0.18$^{c}$ | 3.21±0.20$^{d}$ | 19.39±1.32$^{b}$ | 4.88±0.02$^{f}$ | 44.10±0.03$^{gf}$ | 28.46±1.52$^{f}$ | 7.12±0.05$^{g}$ |
| 8 | 陕西宝鸡 | 19.39±0.03$^{def}$ | 4.16±0.49$^{ab}$ | 19.29±0.13$^{b}$ | 5.89±0.01$^{b}$ | 43.16±0.38$^{g}$ | 31.34±0.86$^{cde}$ | 7.72±0.00$^{d}$ |
| 9 | 安徽宿州 | 20.32±0.20$^{bc}$ | 4.28±0.01$^{a}$ | 21.77±0.12$^{a}$ | 5.09±0.02$^{e}$ | 44.37±0.24$^{f}$ | 29.87±0.57$^{def}$ | 7.96±0.02$^{b}$ |
| 10 | 北京 | 19.66±0.01$^{d}$ | 3.9±0.39$^{bac}$ | 14.68±0.53$^{d}$ | 5.61±0.06$^{c}$ | 47.64±0.71$^{d}$ | 33.04±2.38$^{bc}$ | 7.87±0.01$^{bc}$ |
| 11 | 内蒙古巴彦淖尔 | 20.63±0.00$^{b}$ | 4.25±0.18$^{a}$ | 13.92±0.22$^{de}$ | 6.15±0.02$^{a}$ | 46.17±0.34$^{e}$ | 30.50±0.48$^{cdef}$ | 7.29±0.03$^{f}$ |
| 12 | 江苏兴化 | 19.48±0.01$^{de}$ | 3.47±0.14$^{cd}$ | 19.47±0.61$^{b}$ | 6.16±0.01$^{a}$ | 43.68±0.32$^{fg}$ | 29.46±0.29$^{ef}$ | 7.52±0.04$^{e}$ |
| | 平均值 | 19.85 | 3.77 | 16.9 | 5.63 | 47.3 | 31.57 | 7.61 |
| | 变幅 | 19.1~21.12 | 3.21~4.28 | 12.17~21.77 | 4.88~6.16 | 41.24~53.88 | 28.46~36.57 | 7.12~8.28 |
| | 变异系数 CV | 3.16 | 9.98 | 19.94 | 7.95 | 8.75 | 7.46 | 4.59 |

注：除水分含量外所有指标均以干基计，同列中标的不同字母的值在0.05水平上差异显著。

## 2.2 小麦麸皮总酚含量测定

表4 不同来源小麦麸皮酚类物质含量比较

**Table 4 Comparison between the different phenolic content of wheat bran obtained from different sources (μg gallic acid equivalents [GAE]/g)**

| 序号 | 名称 | 可溶性酚酸/(μg GAE/g) | | | 不可溶性酚酸/(μg GAE/g) | | 总酚/(μg GAE/g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | FPA | BHPA | AHPA | BBPA | ABPA | |
| 1 | 山东滨州 | 213.15±9.17$^{a}$ | 217.78±5.24$^{fg}$ | 560.37±13.09$^{d}$ | 3033.52±142.73$^{b}$ | 924.26±24.88$^{f}$ | 4949.08±12.65 |
| 2 | 山东德州 | 201.11±7.86$^{ab}$ | 202.04±6.55$^{gh}$ | 479.81±24.88$^{e}$ | 2879.81±24.88$^{cd}$ | 825.19±28.81$^{g}$ | 4587.96±12.74 |
| 3 | 河北邢台 | 165.00±14.40$^{d}$ | 252.04±17.02$^{cd}$ | 340.93±1.31$^{f}$ | 3007.59±74.64$^{bc}$ | 1099.26±0.00$^{d}$ | 4864.82±32.01 |
| 4 | 河北邯郸 | 219.63±18.33$^{a}$ | 128.89±13.09$^{i}$ | 494.63±17.02$^{e}$ | 3310.37±157.13$^{a}$ | 1158.52±26.19$^{bc}$ | 5312.04±21.02 |
| 5 | 河北唐山 | 199.26±10.48$^{abc}$ | 190.00±7.86$^{h}$ | 496.48±17.02$^{e}$ | 3008.52±31.43$^{bc}$ | 1132.59±39.28$^{cd}$ | 5026.85±19.56 |
| 6 | 河南周口 | 217.78±13.09$^{a}$ | 226.11±9.17$^{ef}$ | 477.96±11.78$^{e}$ | 2580.74±20.95$^{fg}$ | 967.78±23.57$^{ef}$ | 4470.37±12.65 |
| 7 | 黑龙江北大荒 | 150.19±17.02$^{d}$ | 214.07±7.86$^{fg}$ | 860.37±65.47$^{b}$ | 2658.52±2.62$^{ef}$ | 1335.37±35.36$^{a}$ | 5218.52± 25.21 |
| 8 | 陕西宝鸡 | 177.96±17.02$^{bcd}$ | 350.19±1.31$^{a}$ | 1077.96±27.50$^{a}$ | 2715.00±43.21$^{ef}$ | 1200.19±9.17$^{b}$ | 5521.30±35.10 |
| 9 | 安徽宿州 | 205.74±14.40$^{ab}$ | 244.63±3.93$^{de}$ | 914.07±34.05$^{b}$ | 2477.04±31.43$^{g}$ | 1158.52±28.81$^{bc}$ | 5000.00± 12.30 |
| 10 | 北京 | 202.96±10.48$^{ab}$ | 284.44±5.24$^{b}$ | 902.96±23.57$^{b}$ | 2799.26±5.24$^{de}$ | 944.63±1.31$^{e}$ | 5134.25±23.02 |
| 11 | 内蒙古巴彦淖尔 | 201.11±23.57$^{ab}$ | 266.85±19.64$^{bc}$ | 755.74±9.17$^{c}$ | 2717.78±10.48$^{ef}$ | 1004.81±18.33$^{f}$ | 4946.29±25.06 |
| 12 | 江苏兴化 | 169.63±2.62$^{cd}$ | 187.22±3.93$^{h}$ | 602.96±2.62$^{d}$ | 2718.70±17.02$^{ef}$ | 867.78±31.43$^{g}$ | 4546.29±45.02 |
| | 平均值 | 193.63 | 230.35 | 663.69 | 2825.57 | 1051.57 | 4964.81 |
| | 变幅 | 150.19~219.63 | 128.89~350.19 | 340.93~1077.96 | 2477.04~3310.37 | 825.19~1335.37 | 4470.37~5521.30 |
| | 变异系数 | 11.60 | 24.25 | 34.66 | 8.22 | 14.51 | 6.37 |

注：所有指标均以干基计，同列中标的不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

12 种小麦麸皮中不同形态酚类物质含量见表 4。结果表明不同来源小麦麸皮中游离酚（FPA）含量介于 150.19~219.63 μg GAE/100 g，平均 193.63 μg GAE/100 g。碱解可溶共价结合型酚酸（BHPA）含量介于 128.89~350.19 μg GAE/g，平均 230.35 μg GAE/g。碱解束缚型酚酸（BBPA）含量介于 2477.04~3310.37 μg GAE/g，平均 2825.57 μg GAE/g。酸解束缚型酚酸（ABPA）含量介于 825.19~1335.37 μg GAE/g，平均为 1051.57 μg GAE/g。总酚含量为 4470.37~5521.30 μg GAE/g，平均为 4964.81 μg GAE/g。上述结果与目前文献报道的麸皮各部分酚酸含量基本接近，但酸解可溶共价结合型酚酸（AHPA）含量显著高于 Kim 等所报道的 151~236 μg GAE/g[9~10]。

整体来看，小麦麸皮中酚类物质以束缚型为主，占总酚 73.9~79.1%，其中碱解束缚型（BBPA）含量约为酸解束缚型（ABPA）含量的 2~3 倍。共价结合型酚酸含量占总酚含量的 10.5~25.9%，其中酸解型（AHPA）含量约为碱解型（BHPA）的 2-3 倍；游离型酚酸的含量最低，不足总酚含量的 5%。

从组间差异来看，各类酚酸含量变异系数最高为酸解可溶共价结合型酚酸（AHPA），高达 34.7%，表明不同样品间差异较大；碱解束缚型酚酸（BBPA）和游离酚（FPA）变异系数相对较低，约为 10%。总酚含量变异系数较小，仅为6.4%。

## 2.3 小麦麸皮营养成分与酚类物质含量相关性分析

为研究小麦麸皮营养成分与酚类物质含量间的关系，对 12 个小麦麸皮样品的蛋白、脂肪、淀粉、膳食纤维和不同形态酚类的含量等指标进行了相关性分析（表 5）。分析结果表明，膳食纤维含量与蛋白质含量呈显著负相关（$p<0.05$），与总淀粉含量呈极显著负相关（$p<0.01$）。可见，蛋白质和淀粉作为小麦麸皮中除膳食纤维之外的两大营养成分，其含量高低对膳食纤维含量具有重要影响，一般蛋白和淀粉含量越低，膳食纤维含量越高。同样，戊聚糖与蛋白质和总淀粉均呈现显著负相关（$p<0.05$）。碱解束缚型酚酸（BBPA）作为麦麸中主要的酚类物质，其含量与膳食纤维和戊聚糖呈极显著正相关（$p<0.01$），而与蛋白质和总淀粉呈显著负相关（$p<0.05$）。总酚含量与酸解可溶共价结合型酚酸（AHPA）呈显著正相关（$p<0.05$），与酸解束缚型酚酸（ABPA）呈极显著正相关，而与膳食纤维、戊聚糖及其它类型的酚类物质间无显著相关性。

表5 小麦麸皮营养成分与酚类物质含量相关性分析

**Table 5 Correlation analysis for nutritional and phenolic content in wheat bran**

| | 蛋白质 | 粗脂肪 | 总淀粉 | 膳食纤维 | 戊聚糖 | 灰分 | FPA | BHPA | AHPA | BBPA | ABPA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 粗脂肪 | 0.226 | | | | | | | | | | |
| 总淀粉 | 0.397 | -0.075 | | | | | | | | | |
| 膳食纤维 | -0.587* | -0.098 | -0.843** | | | | | | | | |
| 戊聚糖 | -0.644* | -0.085 | -0.674* | 0.842** | | | | | | | |
| 灰分 | -0.541 | 0.240 | -0.544 | 0.378 | 0.387 | | | | | | |
| FPA | 0.297 | 0.416 | -0.207 | 0.212 | 0.281 | 0.076 | | | | | |
| BHPA | 0.168 | 0.520 | 0.229 | -0.455 | -0.224 | -0.065 | -0.234 | | | | |
| AHPA | 0.121 | 0.502 | 0.357 | -0.563 | -0.394 | -0.137 | -0.204 | 0.659 | | | |
| BBPA | -0.603* | -0.209 | -0.800** | 0.908** | 0.843** | 0.450 | 0.231 | -0.504 | -0.567 | | |
| ABPA | -0.089 | -0.135 | 0.048 | -0.005 | -0.014 | -0.389 | -0.388 | 0.111 | 0.385 | -0.042 | |
| 总酚 | -0.347 | 0.268 | -0.279 | 0.190 | 0.306 | 0.036 | -0.136 | 0.323 | 0.599* | 0.229 | 0.724** |

注：*,**分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。

## 2.4 小麦麸皮单体酚组成及含量

表4数据表明，小麦麸皮酚酸以束缚型和酸解可溶共价结合型为主，二者占总酚含量的90.7~93.4%，游离型（FPA）和碱解可溶共价结合型酚酸（BHPA）含量较低，二者不足总酚的10%。研究指出，谷物麸皮中的束缚酚多与纤维素相连的，在大肠中经微生物降解释放出酚酸而发挥生物活性，尤其是阿魏酸在预防结肠癌等慢性疾病方面具有良好效果[8]。深入研究麸皮中单体酚组成和含量对指导其开发利用具有重要价值。以下选取酸解可溶共价结合型酚酸（AHPA）含量差异较大的4个样品（1号、3号、7号和8号）进行单体酚定性定量分析。

### 2.4.1 可溶共价结合型酚酸种类及含量

主要测定了酸解可溶共价结合型酚酸（AHPA）的种类和含量，结果见表6。数据表明，麦麸中AHPA以香草酸为主，丁香酸和水杨酸在麦麸中也有一定分布，其它酚酸未检出。不同样品间香草酸和水杨酸含量差异较大，变幅分别为121.48~409.67 μg/g和14.59~106.47 μg/g；而丁香酸含量差异较小，变幅为23.66~34.21 μg/g。Kim等[9]人在硬红麦麸皮AHPA部分仅检出香草酸和丁香酸，含量分别为10.7和14.21 μg/g，显著低于本试验中样品。郝杰等[3]在AHPA中还检出阿魏酸和肉桂酸，含量分别为23.09~23.79 μg/g和4.00~4.82 μg/g。不同样品间酚酸组成的差异主要与小麦品种及其生长环境相关。研究表明，谷物中的酚酸主要由对羟基苯甲酸和对羟基肉桂酸衍生物组成，酚酸种类随着分子结构中苯环上羟基数量和取代位置的不同而发生变化，随物种类型、栽培品种以及生长环境的差异而发生变化[10]。

表 6 不同来源小麦麸皮酸解酸解可溶共价结合型酚酸种类及含量

**Table 6 Types and content of soluble, covalently bonded phenolic acids in wheat bran obtained from different sources**

| 样品 | 酚酸/(μg/g) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 原儿茶酸 | 对羟基苯甲酸 | 香草酸 | 丁香酸(280) | 对香豆酸 | 阿魏酸 | 水杨酸 | 肉桂酸 |
| 1 | - | - | 409.67±5.32$^{a}$ | 34.21±0.54$^{a}$ | - | - | 14.59±0.75$^{c}$ | - |
| 3 | - | - | 121.48±3.21$^{d}$ | 23.66±0.69$^{b}$ | - | - | - | - |
| 7 | - | - | 160.11±1.25$^{c}$ | 31.90±2.12$^{a}$ | - | - | 81.95±2.31$^{b}$ | - |
| 8 | - | - | 188.09±3.62$^{b}$ | 32.18±1.01$^{a}$ | - | - | 106.47±3.54$^{a}$ | - |

注：所有指标均以干基计，同列中标的不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

### 2.4.2 束缚型酚酸种类及含量

小麦麸皮束缚型酚酸测定结果见表 7。4 种麸皮中束缚型阿魏酸总量约为 2677.4~3401.8 μg/g，其中碱解部分含量为 2677.42~3401.83 μg/g，远高于酸解部分的 0~148.41 μg/g。水杨酸多存在于麦麸碱解组分中，含量为 720.64.33~854.93 μg/g，约为阿魏酸含量的 24.7~29.6%。对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸在各样品酸解和碱解组分中均有分布，但含量均较低，均不足 20 μg/g。对香豆酸和肉桂酸主要存在于麸皮的碱解部分，含量分别为 79.5~105.8 μg/g 和 24.9~30.6 μg/g。原儿茶酸在不同样品的束缚型酚酸中均未检出。

表 7 不同来源小麦麸皮束缚型酚酸种类及含量

**Table 7 Types and content of bound phenolic acids in wheat bran obtained from different sources**

| 样品 | 酚酸种类 | 酚酸/(μg/g) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 原儿茶酸 | 对羟基苯甲酸 | 香草酸 | 丁香酸 | 对香豆酸 | 阿魏酸 | 水杨酸 | 肉桂酸 |
| 1 | BBPA | - | 10.03±0.54$^{de}$ | 17.44±1.56$^{bc}$ | 12.47±0.35$^{b}$ | 83.57±4.32$^{b}$ | 2999.05±6.89$^{b}$ | 736.99±5.99$^{c}$ | 29.34±1.02$^{ab}$ |
| | ABPA | - | 12.92±1.32$^{ab}$ | 9.60±0.55$^{e}$ | 9.25±0.54$^{cd}$ | 6.23±0.21$^{c}$ | 148.41±1.25$^{e}$ | 38.60±2.01$^{e}$ | 2.13±0.25$^{c}$ |
| 3 | BBPA | - | 14.11±0.63$^{a}$ | 17.68±1.45$^{bc}$ | 14.08±1.21$^{ab}$ | 105.80±0.25$^{a}$ | 3401.83±3.58$^{a}$ | 854.93±8.52$^{a}$ | 30.63±2.65$^{a}$ |
| | ABPA | - | 13.48±0.85$^{ab}$ | 11.44±1.02$^{de}$ | 9.80±0.89$^{cd}$ | - | 51.94±1.02$^{f}$ | - | - |
| 7 | BBPA | - | 11.10±0.56$^{cd}$ | 16.04±1.21$^{c}$ | 12.69±1.21$^{b}$ | 79.51±1.23$^{b}$ | 2677.42±5.08$^{d}$ | 720.64±4.56$^{d}$ | 24.95±3.01$^{b}$ |
| | ABPA | - | 8.51±0.45$^{e}$ | 13.40±0.21$^{d}$ | 10.32±0.56$^{c}$ | - | - | - | - |
| 8 | BBPA | - | 10.40±0.63$^{cd}$ | 19.23±0.65$^{ab}$ | 14.85±0.85$^{a}$ | 82.98±2.56$^{b}$ | 2751.92±6.03$^{c}$ | 825.49±8.23$^{b}$ | 25.99±2.56$^{ab}$ |
| | ABPA | - | 11.84±0.52$^{bc}$ | 21.47±0.85$^{a}$ | 8. 00±0.54$^{d}$ | - | 32.61±0.35$^{g}$ | - | - |

注：所有指标均以干基计，同列中标的不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

## 3 结论

本研究所收集的小麦主产省12个小麦麸皮样品中，主要营养成分膳食纤维、蛋白、总淀粉平均含量分别为47.30、19.85、16.90%。其中总淀粉和总膳食纤维变幅较大，变异系数（CV）分别达到19.94%和8.75%；蛋白变幅较小，CV仅为3.16%，戊聚糖作为麸皮中主要的膳食纤维，平均含量达到31.57%，CV值为7.46%。12个样品的总酚含量介于4470.37~5521.30 μg GAE/g，73.9~79.1%为束缚型酚酸。选取了酸解可溶共价结合型酚酸（AHPA）含量差异较大的4个样品（1号、3号、7号和8号）对单体酚定性定量分析。发现麸皮中主要的酚类物质有阿魏酸、水杨酸、香草酸、对香豆酸、丁香酸、肉桂酸和对羟基苯甲酸，且束缚型阿魏酸在单体酚中占主导地位，含量高达2677.42~3401.83 μg/g。相关性分析表明，以下组分间存在极显著相关性（$p<0.01$），其中膳食纤维及碱解束缚型酚酸（BBPA）与总淀粉呈极显著负相，而戊聚糖及BBPA与膳食纤维

极显著正相关，戊聚糖与BBPA极显著正相关，酸解束缚型酚酸（ABPA）与总酚极显著正相关。

## 参考文献


[1] 张梅红,钟葵,刘丽娅,等.小麦麸皮营养与质量安全品质分析[J].麦类作物学报,2012,32:1090-1095
ZHANG Mei-hong, ZHONG Kui, LIU Li-ya, et al. Quality analysis on nutrition and quality safety of merchandise wheat bran in China [J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32: 1090-1095

[2] Brouns F, Hemery Y, Price R, et al. Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2012, 52: 553-568

[3] 郝杰,张长虹,曹雪丽.七种谷物麸皮中的酚酸类成分分析[J].食品科学,2010,31:263-267
HAO Jie, ZHANG Chang-hong, CAO Xue-li. RP-HPLC analysis of phenolic acids in different varieties of cereal bran [J]. Food Chemisty, 2010, 31: 263-267

[4] Lappi J, Aura AM, Katina K, et al. Comparison of postprandial phenolic acid excretions and glucose responses after ingestion of breads with bioprocessed or native rye bran [J]. Food and Function, 2013, 4: 972-981

[5] Verma B, Hucl P, Chibbar RN. Phenolic acid composition and antioxidant capacity of acid and alkali hydrolysed wheat bran fractions [J]. Food Chemistry, 2009, 116: 947-954

[6] Hashimoto S, Shogren M D, Pomeranz Y. Cereal pentosans: their estimation and significance. I. pentosans in wheat and milled wheat [J]. Products Cereal Chemistry, 1987, 64: 30-34

[7] Singleton VL, Orthofer R, RM. Lamuela-raventos. analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178

[8] Li Cao, Xiuzhen Liu, Tianxiu Qian, et al. Antitumor and immunomodulatory activity of arabinoxylans: a major constituent of wheat bran [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 48: 160-164

[9] Kim KH, Tsao R, Yang R, et al. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions [J]. Food Chemistry, 2006, 95: 466-473

[10] Balasundram N, Sundram K, Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses [J]. Food Chemistry, 2006, 99: 191-203


现代食品科技