

王海俊, 沈诗茜, 陈泽斌, 等. 不同加工方式对黑小麦面粉抗氧化活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 204-209.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.01.033

不同加工方式对黑小麦面粉抗氧化活性的影响

王海俊¹, 沈诗茜², 陈泽斌³, 马冬云⁴

(1.河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002; 2.昆明铁路局生活段, 云南 昆明 650200; 3.昆明学院农学院, 云南 昆明 650214; 4.国家小麦工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 为研究不同加工方式对黑小麦面粉抗氧化活性的影响,以普通白小麦为对照,通过测定黑小麦面粉的总酚、总黄酮和花青素这3种抗氧化物质含量以及抗氧化活性,采用回归性分析进行试验论证。结果表明,不同的小麦品种间,黑宝石1号的总酚含量、总黄酮含量、花青素含量,在全麦粉、麦仁粉、普通粉中均为最高,其抗氧化活性在全麦粉、麦仁粉中最高。在不同的加工方式下,4种小麦的总酚含量、总黄酮含量、抗氧化活性均是全麦粉最高,麦仁粉次之,普通粉最低,花青素含量则呈现不一致的趋势。进行回归分析时,总酚、总黄酮含量对抗氧化活性影响均显著,决定系数 R^2 分别为0.916 5和0.766 4。说明,黑宝石1号是一种较好的黑色食品原料,全麦粉的抗氧化物质含量最高、活性最好。

关键词: 黑小麦; 面粉; 加工方式; 抗氧化活性

中图分类号: TS213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)01-0204-06

The effects on antioxidant activity of black wheat flour under different processing methods

WANG Hai-jun¹, SHEN Shi-qian², CHEN Ze-bin³, MA Dong-yun⁴

(1.College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2.Kunming Railway Bureau, Kunming 650200, China; 3. Agriculture College, Kunming University, Kunming 650214, China; 4.National Engineering Research Center for Wheat, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Compared with ordinary white-colored wheat, the effects on antioxidant activity of black wheat flour under different processing methods have been studied by measuring the total phenol content, flavonoids content, anthocyanin content and the antioxidant activity, and regression analysis was used to demonstrate the test conclusion. According to the results, Heibaoshi-1, the kind of wheat cultivar, was the most optimal variety. The total phenol, flavonoids and anthocyanin content of that was the highest among the three kinds of black wheat flour, which was processed under three different processing methods, including the whole wheat flour, the wheat berry flour and ordinary flour. And the antioxidant activity in its whole wheat flour and wheat berry flour was the highest. Under the three different processing methods, the total phenol content, flavonoids content and the antioxidant activity of these four wheat cultivars account for the highest, medium and lowest in the whole wheat flour, wheat berry flour and ordinary flour, respectively. However, anthocyanin content showed an

inconsistent trend. From the regression analysis, the total phenol and flavonoids content of these kinds of black wheat flour had significant effects on the antioxidant activity. The coefficient of determination was 0.916 5 and 0.766 4, respectively. In conclusion, Heibaoshi-1 is the most optimal ingredient of black-food, the content of antioxidants and its antioxidant activity of the whole wheat is the highest.

Key words: black wheat; wheat flour; processing method; antioxidant capacity

收稿日期:2016-03-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD26B00); 河南省科技攻关项目(152102110067); 云南省科技厅应用基础研究计划青年项目(2013FD040); 云南省教育厅科学研究项目(2014Y390); 昆明学院人才引进项目(YJL14005); 云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目(05000511311)

作者简介: 王海俊(1988-),男,河南安阳人,学士,研究方向为小麦品质评价。(E-mail)974500371@qq.com

通讯作者: 马冬云, (E-mail) xmxmdy@126.com

小麦作为世界第二大粮食作物,年总产量约 $6.00 \times 10^8 \text{ t}^{[1]}$,全球有 35%~40%的人口以它为主粮^[2]。小麦在很早以前就已经成为中国主要的粮食作物之一,2012 年的年产量已经达到 $1.21 \times 10^8 \text{ t}^{[3]}$ 。随着社会经济的不断发展和人民生活水平的日益改善,中国传统的饮食结构发生了巨大变化,逐渐由温饱型向营养型、功能型和保健型转变^[4]。许多研究结果表明,人体的衰老以及多种心脑血管疾病均与自由基有关^[5]。许多天然抗氧化剂能够作用于自由基^[6],故合理的膳食,摄入补充合理的抗氧化营养物质可以保持正常的抗氧化功能,减缓衰老,预防和治疗许多现代文明病^[7]。黑小麦作为一类重要的黑色食品资源,以其较高的营养价值和特殊加工用途而备受人们青睐,成为食品工业研究的新热点,市场前景广阔。黑小麦不仅具有普通小麦的一般特征,还有优于普通小麦的营养特性^[8],具有独特的营养和保健功能^[9],同时含有较普通白粒小麦高的酚酸、类黄酮和花青素等抗氧化物质^[10]。然而小麦中抗氧化物质主要集中在糊粉层中^[11],胚乳中含量较低。若采用普通磨粉工艺,不仅损失了黑小麦具有的特殊营养物质,而且粉质粗糙、面粉产量低、能耗高、面粉加工品质差^[12-13],故食用全麦的食品才有利于减少抗氧化物质的损失^[14]。全麦粉不仅营养丰富,而且还含有丰富的活性物质,可降低胆固醇,调节血压,减少心脏病的发病率^[15]。因此,如何将黑小麦加工成各种专用面粉,让黑小麦食品品种多样化、形成产业化良性循环是当务之急。

本试验选用 3 个黑小麦品种和 1 个普通白小麦品种,针对黑小麦特有的营养价值未得到合理的利用以及黑小麦系列食品种类还比较单一等问题,研究不同加工方式对黑小麦面粉抗氧化活性的影响。以填补黑小麦面食加工品质研究较少的空白,为黑小麦的加工利用,黑小麦全麦粉的开发和黑小麦产业化发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黑宝石 1 号(黑小麦)、冀紫 439(紫小麦)、山东紫农 1 号(紫小麦)、豫麦 49-198(白小麦),4 种小麦均由国家小麦工程技术研究中心提供。

1.2 试验仪器与设备

Quadrumat[®] Junior 小型试验磨粉机(由德国 Brabender 生产),CT410 旋风式样品磨(由丹麦福斯生产),BL-220H 分析天平[由岛津国际贸易(上海)有限公司生产],PL203-IC 电子天平[由梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司生产],THZ-C 恒温振荡器(由太仓实验设备厂生产),T6 新世纪紫外可见分光光度计(由北京普析通用仪器有限责任公司生产),RJ-TDL-40B-台式低速低速离心机(由安徽中科中佳科学仪器有限公司生产),5417R 小型台式高速离心机(由德国 Eppendorf 生产),HH-4 孔智能数显恒温水浴锅(由江苏金坛市中大仪器厂生产),Dragon-lab Top PettePipettor 微量移液器(由大龙兴创实验仪器有限公司生产),DHG-9030A 型电热恒温鼓风干燥箱(由上海精宏实验设备有限公司生产)。

1.3 面粉的加工处理

全籽粒粉:将小麦籽粒用旋风磨直接研磨,得到全籽粒粉。全麦仁粉:将小麦籽粒先用脱皮机脱掉外皮得到麦仁,然后用旋风磨研磨成粉。普通面粉:将小麦按照一般磨粉的方法,润麦后,用小型试验磨粉机磨成粉。为保证所用面粉粒度水平相同,所有研磨后的面粉统一过 80 目筛。

1.4 小麦粉母液的制备

根据植物酚类物质与有机溶剂之间相似相溶原理进行提取,采用甲醇-盐酸溶液(1% HCl)进行提取。准确称取 2.0 g 面粉样品于容量为 50 ml 的离心管中,加入 16 ml 甲醇-盐酸溶液(1% HCl),在 24 ℃ 恒温下提取 24 h,之后以 4 000 r/min 离心 15 min,取上清液,避光冷藏保存,即为待测母液,用于总酚和总黄酮含量的测定。

1.5 小麦粉中总酚含量的测定

没食子酸是一种酚酸,因此相关领域中通常用没食子酸的含量来标定总酚的含量^[16-17]。多酚类化合物分子上有极易氧化的羟基,在碱性条件下与 Folin—Ciocalteu 试剂反应后呈现蓝色,此反应物在 765 nm 处有最大吸收,一定条件下遵从朗伯—比耳定律,没食子酸含量与颜色的深浅呈正相关。通过测量 765 nm 下的吸光值,即可参照标准曲线得到没食子酸的浓度,计算出小麦中的总酚含量。

首先我们绘制没食子酸浓度和 765 nm 处吸光度的标准曲线。对配制好的 5 个已知浓度的没食子酸溶液进行 765 nm 处吸光度的测量,然后对测量结

果进行线性拟合,由此得到的回归方程为 $Y = 53.235 0x + 2.567 8$, $R^2 = 0.997 5$ (图 1)。

测量小麦粉母液中的总酚含量:对不同品种和加工方法的小麦粉,分别取 0.5 ml 合适浓度的母液(具体稀释比例由预试验确定)于 15 ml 试管中,依次加入 1.5 ml 去离子水,1 mol/L 的 Folin-Ciocalteu 试剂(福林酚试剂)5 ml,10% Na_2CO_3 溶液 4 ml,摇匀,在 35 ℃ 下恒温水浴 2 h 后,测定 765 nm 下的吸光值(以蒸馏水为对照)^[16-19]。然后根据前面得到的标准曲线回归方程即可计算出没食子酸的浓度,从而得到各种小麦粉中总酚的含量。

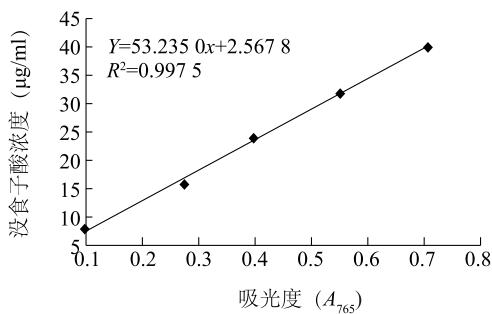


图 1 没食子酸浓度标准曲线

Fig.1 The standard curve of gallicacid

1.6 小麦粉中总黄酮含量的测定

芦丁(Rutin)是黄酮和芦丁糖化合形成的糖苷,相关领域中常用芦丁的含量来标定黄酮的含量^[16-17]。黄酮类化合物用甲醇提取后,在碱性条件下与铝络合,可呈现红色的络合物,通过测定其在 415 nm 处的吸光度,即可参照标准曲线得到芦丁的浓度,计算出小麦中的总黄酮含量。

首先我们绘制芦丁浓度和 415 nm 处吸光度的标准曲线。对调配好的 9 个已知浓度的芦丁溶液进行 415 nm 处吸光度的测量,然后对测量结果进行线性拟合,由此得到的回归方程为 $Y = 693.76x - 108.33$, $R^2 = 0.997$ (图 2)。

之后我们测量小麦粉母液中的总黄酮含量。对不同品种和加工方法的小麦粉,分别取 0.5 ml 合适浓度的母液,加入 2 ml 双蒸水,0.5 ml 5% 亚硝酸钠(5% NaNO_2)混合均匀,5 min 后加入 0.15 ml 10% 的 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,混合均匀后静置 5 min,然后加入 1 ml 1 mol/L 的 NaOH,混合均匀后静置 15 min,再测定 415 nm 处的吸光度(以蒸馏水为对照)^[16-17]。然后根据前面得到的标准曲线回归方程即可计算出总

黄酮含量。

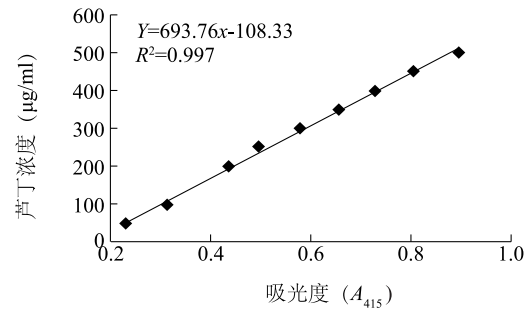


图 2 芦丁浓度标准曲线

Fig.2 The standard curve of rutin

1.7 小麦粉中花青素含量的测定

称取 0.5 g 面粉样品于 2.0 ml 离心管中,加入 1.5 ml 提取液(甲醇:盐酸:去离子水 = 25:5:70),在 35 ℃ 摇床内以 150 r/min 的转速振荡抽提 4 h。然后经室温下 12 000 r/min 的转速离心 20 min 后,吸取上清液,在 525 nm 和 657 nm 的波长下测定吸光值。计算方法: $An = (OD_{525} - 0.25OD_{657}) / Fw$ (An 表示花青素的含量,单位为 $\mu\text{g/g}$; OD_{525} 和 OD_{657} 分别为花青素提取液在波长 525 nm 和 657 nm 下的吸光值, Fw 表示样品的鲜质量)^[20-21]。

1.8 小麦粉抗氧化活性的测定

抗氧化活性采用铁离子还原法,即 FRAP 法,对总的抗氧化能力进行测定评价。参照 Benzie 等的方法^[22-24]并适当改进。取适量样品上清液(必要时稀释),加入 1.8 ml TPTZ 工作液(由 0.3 mmol/L 醋酸盐缓冲液 25.0 ml,10.0 mmol/L TPTZ 溶液 2.5 ml,20.0 mmol/L FeCl_3 溶液 2.5 ml 组成),混匀后 37 ℃ 反应 10 min,测定 593 nm 处吸光度。以 1.0 mmol/L FeSO_4 为标准物质,绘制标准曲线(图 3),由此得到的回归方程为 $Y = 1.542 6x - 0.216 1$, $R^2 = 0.998 8$ 。

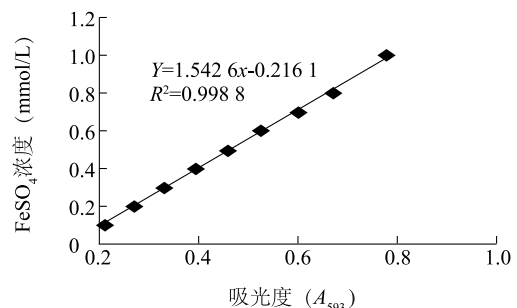


图 3 小麦抗氧化活性标准曲线

Fig.3 The standard curve of FRAP

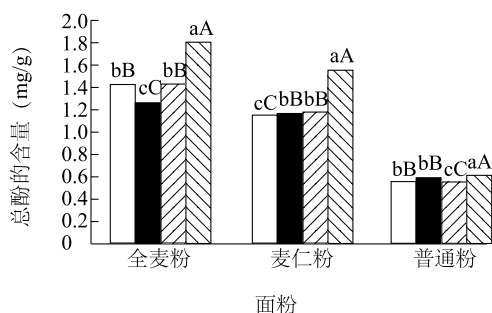
1.9 数据处理

试验数据采用 Duncan's 多重比较对数据进行差异显著性检验,采用 SPSS 13.0 (Statistical Program for Social Science 13.0) 和 Microsoft Excel 2010 进行处理制图。

2 结果与分析

2.1 小麦粉中总酚含量

从图 4 可以看出,4 个不同品种的小麦,面粉中的总酚含量有显著差异。其中,全麦粉中,不同品种小麦粉的总酚含量大小为:黑宝石 1 号>冀紫 439>豫麦 49-198>山东紫农 1 号;麦仁粉中,不同品种小麦粉的总酚含量的大小为:黑宝石 1 号>冀紫 439>山东紫农 1 号>豫麦 49-198;普通粉中,不同品种小麦粉的总酚含量的大小为:黑宝石 1 号>山东紫农 1 号>豫麦 49-198>冀紫 439。同一品种的小麦,不同的加工方式得到的面粉总酚含量不同,而且 4 个小麦品种在不同加工方式下得到的面粉总酚含量大小均是:全麦粉>麦仁粉>普通粉。



□ 豫麦49-198; ■ 山东紫农1号; ▨ 冀紫439; ▩ 黑宝石1号

不同小麦品种相同加工方式面粉间不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

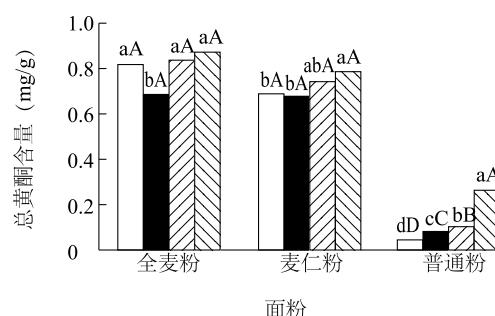
图 4 4 种小麦品种不同加工方式面粉总酚含量

Fig.4 Total phenol content of the four kinds of wheat flour under different processing methods

2.2 小麦粉中总黄酮含量

从图 5 可以看出,4 个不同品种的小麦的全麦粉总黄酮含量差异不显著;麦仁粉,总黄酮含量的大小表现为:黑宝石 1 号>冀紫 439>豫麦 49-198>山东紫农 1 号,其中黑宝石 1 号和冀紫 439 显著高于豫麦 49-198 和山东紫农 1 号;普通面粉中,不同品种小麦的总黄酮含量大小为:黑宝石 1 号>冀紫 439>山东紫农 1 号>豫麦 49-198,品种间差异均极显著。

同一品种的小麦,不同的加工方式得到的面粉总黄酮含量不同,而且 4 个小麦品种在不同加工方式下得到的面粉总黄酮含量大小均是:全麦粉>麦仁粉>普通粉。



□ 豫麦49-198; ■ 山东紫农1号; ▨ 冀紫439; ▩ 黑宝石1号
不同小麦品种相同加工方式面粉间不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

图 5 4 种小麦品种不同加工方式面粉总黄酮含量

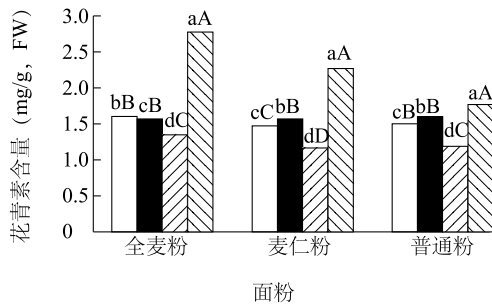
Fig.5 Total flavonoids content of the four kinds of wheat flour under different processing methods

2.3 小麦粉中花青素含量

从图 6 可以看出,4 个不同品种的小麦,面粉中的花青素含量有显著差异。其中,不同品种小麦的全麦粉,花青素含量的大小为:黑宝石 1 号>豫麦 49-198>山东紫农 1 号>冀紫 439;不同品种小麦的麦仁粉和普通粉中,花青素含量的大小为:黑宝石 1 号>山东紫农 1 号>豫麦 49-198>冀紫 439。同一品种的小麦,不同加工方式得到的面粉,花青素含量不同。其中,豫麦 49-198 和冀紫 439,不同的面粉花青素含量大小为:全麦粉>普通粉>麦仁粉;山东紫农 1 号不同的面粉花青素含量大小为:普通粉>全麦粉>麦仁粉;黑宝石 1 号的花青素含量的大小为:全麦粉>麦仁粉>普通粉。

2.4 小麦粉抗氧化活性 FRAP 值

由表 1 可以看出,4 个不同品种的小麦,面粉的 FRAP 抗氧化值有差异。其中,不同品种小麦的全麦粉,FRAP 抗氧化值的大小为:黑宝石 1 号>豫麦 49-198>冀紫 439>山东紫农 1 号;不同品种小麦的麦仁粉,FRAP 抗氧化值的大小为:黑宝石 1 号>冀紫 439>豫麦 49-198>山东紫农 1 号;不同品种小麦的普通粉,FRAP 抗氧化值的大小为:豫麦 49-198>冀紫 439>黑宝石 1 号>山东紫农 1 号。对同一品种,4 个不同品种小麦的全麦粉、麦仁粉和普通粉抗氧化物质 FRAP 值的大小均是:全麦粉>麦仁粉>普通粉。



□ 豫麦49-198; ■ 山东紫农1号; ▨ 冀紫439; ▩ 黑宝石1号
不同小麦品种相同加工方式面粉间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

图6 4种小麦品种不同加工方式面粉花青素含量

Fig.6 The anthocyanin content of the four kinds of wheat flour under different processing methods

表1 4种小麦品种不同加工方式面粉 FRAP 值

Table 1 FRAP values of the four kinds of wheat flour under different processing methods

品 种	FRAP 值 (mmol/g)		
	全麦粉	麦仁粉	普通粉
豫麦 49-198	49.11±2.79bB	35.22±1.83dC	28.80±2.71eD
山东紫农 1 号	37.57±1.66cC	34.67±0.35dC	12.82±0.52fE
冀紫 439	48.55±2.01bB	36.70±1.31dC	16.09±0.79fE
黑宝石 1 号	59.35±1.75aA	53.42±2.27bB	14.61±0.44fE

同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.5 总酚含量与 FRAP 值的回归分析

对总酚含量与 FRAP 值进行回归分析 (图 7), 得到的回归方程为 $Y = 34.2310x - 2.6673$, $R^2 = 0.9165$, $F = 0.0000046 < 5\%$, 说明抗氧化活性的变差中 91.65% 是由总酚含量的变动引起的, 且线性关系显著。

2.6 总黄酮含量与 FRAP 值的回归分析

对总黄酮含量与 FRAP 值进行回归分析 (图 8), 得到的回归方程为 $Y = 41.423x + 12.626$, $R^2 = 0.7664$, $F = 0.00057 < 5\%$, 说明抗氧化活性的变差中 76.64% 是由总黄酮的变动引起的, 且线性关系显著。

3 讨论

抗氧化物质的含量及活性, 不仅与小麦的品种有关系, 还与加工方式有关系。本研究结果表明, 对于采用同一加工方式加工的不同品种面粉, 抗氧化物质

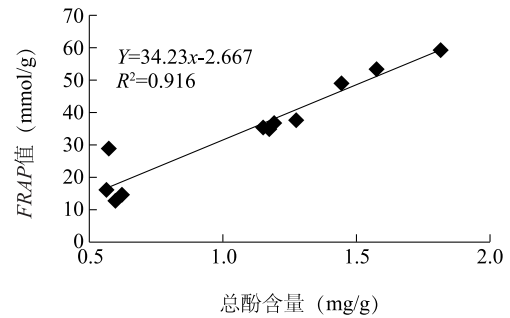


图7 总酚含量与 FRAP 值的回归分析

Fig.7 The regression analysis between total phenols content and FRAP value

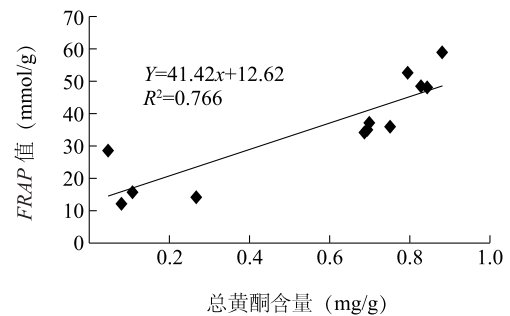


图8 总黄酮含量与 FRAP 值的回归分析

Fig.8 The regression analysis between total flavonoids content and FRAP value

的含量有显著差异。黑宝石 1 号的花青素、总酚、总黄酮在全麦粉、麦仁粉、普通粉中均为最高, 呈现一致性, 但普通粉的抗氧化活性豫麦 49-198 最高。对于总酚和总黄酮含量, 山东紫农 1 号、豫麦 49-198 分别是全麦粉、麦仁粉、普通粉中最少的品种, 与其他品种差异显著。对于花青素含量, 冀紫 439 在全麦粉、麦仁粉、普通粉中均为最低。对于抗氧化活性, 山东紫农 1 号在全麦粉、麦仁粉、普通粉中均为最低。同一品种在不同的加工方式下, 4 种小麦的总酚含量、总黄酮含量、抗氧化活性均是全麦粉最高, 麦仁粉次之, 普通粉最低, 呈现出一致性。进行回归分析时, 由决定系数 R^2 和 F 可知抗氧化活性的变差中的 91.65% 和 76.64% 是由总酚、总黄酮含量的变动引起的, 且线性关系均显著。

这种一致性和差异并存的原因, 可能是以下几个方面的原因引起: 一、小麦中虽然含有大量的抗氧化物质, 但不同品种小麦的抗氧化物质含量本身存在差异, 即抗氧化物质含量在小麦品种间存在差异;

二、由于小麦中的抗氧化活性物质并不是均匀分布, 在小麦籽粒中, 抗氧化物质主要集中在糊粉层中, 胚乳中含量较低。小麦全麦粉的加工保留了麸皮, 普通粉去掉了麸皮, 胚乳成分相对所占比例更大。因此这4种小麦的总酚含量、总黄酮含量、抗氧化活性, 均是全麦粉最高, 麦仁粉次之, 普通粉最低。黑宝石1号、豫麦49-198、冀紫439的花青素含量, 也是全麦粉中的最高, 这与之前的研究结果^[8,25-26]较一致。

总之, 不同的磨粉方式下, 小麦面粉的抗氧化物质含量和抗氧化活性存在差异, 全麦粉中各种抗氧化物质的含量最高、活性最好, 食用全麦粉食品有利于减少黑小麦中抗氧化物质的损失, 有利于降低胆固醇, 调节血压, 减少心脏病发病率等。黑宝石1号可以作为一种较好的黑色食品原料来源。

参考文献:

- [1] 刘金福. 全麦粉及其制品中活性物质的提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(8): 30-33.
- [2] 朱科学, 朱 振. 小麦胚芽油及胚芽蛋白国内外研究进展[J]. 粮食与油脂, 2006(7): 2-4.
- [3] 沈 茜. 中华人民共和国国家统计局农业主要农作物产品产量年度数据[EB/OL]. (2012-10-02) [2013-03-02]. <http://data.stats.gov.cn/workspace/index?jsessionid=F91BA519693774EA4D1C8C85B1141A88?m=hgnd.html>.
- [4] 赖来展. 黑色食品的兴起与发展[J]. 广东农业科学, 1997(5): 2-5.
- [5] 中国营养学会营养与保健食品分会. 全国公共卫生与食物营养高层论坛暨中国营养学会与保健食品分会第四届学术研讨会论文集[C]. 北京: 九州出版社, 2006.
- [6] 师 琪, 管福琴, 孙 浩. 小麦麸皮总黄酮苷抗肿瘤作用及初步的机制研究[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 220-226.
- [7] 李 磊, 王岳飞, 梁 燕, 等. 天然抗氧化物质的保健功能及抗氧化活性研究进展[J]. 茶叶, 2008, 34(2): 70-74.
- [8] 李帮秀, 宗学风, 张建奎, 等. 黑粒小麦的营养特性研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26(6): 753-755.
- [9] 裴自友, 孙 玉, 闫贵云, 等. 中国黑小麦研究利用现状[J]. 种子, 2002(4): 42-44.
- [10] 宗学风, 张建奎, 李帮秀, 等. 小麦籽粒颜色与抗氧化作用[J]. 作物学报, 2006, 32(2): 237-242.
- [11] 高向阳, 冉慧慧, 宋莲军, 等. 微波消解快速测定特殊粒色小麦10种金属元素[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(5): 140-142.
- [12] 陈志成, 秦秋萍. 黑小麦分层碾磨制粉技术研究[J]. 粮食加工, 2005(1): 8-12.
- [13] 王爱艺. 浅谈黑小麦及其制粉工艺性能[J]. 面粉通讯, 2006(5): 22-23.
- [14] 胡秋辉, 陈历程, 吴丽丽. 黑小麦营养成分及其深加工制品前景展望[J]. 食品科学, 2001(12): 50-52.
- [15] 陈 慧, 张进萍, 陆 娅, 等. 应用超微粉碎技术制备全麦粉[J]. 粮食与油脂, 2008(8): 8-11.
- [16] BAO J S, CAI Y, SUN M, et al. Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(6): 2327-2332.
- [17] SHEN Y, JIN L, XIAO P, et al. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(1): 106-111.
- [18] SHIVASHANKARA K S, ISOBES, AI-HAQMI. Fruit antioxidant activity, ascorbic acid, total phenol, quercetin, and carotene of irwin mango fruits stored at low temperature after high electric field pretreatment[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(1): 12-18.
- [19] 陈中伟, 廉文蕾, 吴保承, 等. 小麦麸皮结构层中抗氧化物质的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 66-69.
- [20] MANCINELLI A L, SCHWARTZ O M. The photoregulation of anthocyanin synthesis IX. The photosensitivity of the response in dark and light-grown tomato seedlings[J]. Plant Cell Physiol, 1984, 25: 93-105.
- [21] RABINO I, MANCINELLI A L. Light, temperature, and anthocyanin production[J]. Plant Physiology, 1986, 81(3): 922-924.
- [22] 郭长江, 杨继军, 李云峰, 等. FRAP法测定水果不同部分抗氧化活性[J]. 中国公共卫生, 2003(7): 841-843.
- [23] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of 'antioxidant power': the FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [24] 吴 青, 黄 娟, 罗兰欣, 等. 15种中草药提取物抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 284-289.
- [25] 丁 岩. 彩粒小麦麸皮中酚酸的提取分布及抗氧化活性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [26] 郭赛琴, 罗勤贵, 张国权, 等. 剥皮处理对黑小麦主要营养及加工品质的影响[J]. 粮食加工, 2011, 36(6): 2-8.

(责任编辑: 陈海霞)