

# 11种谷子营养成分及脱壳对酚类物质含量的影响

张玲艳<sup>1</sup>, 韩飞<sup>2</sup>, 范柳萍<sup>1</sup> (1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

**摘要** [目的] 分析不同地区、不同品种谷子详细的营养成分以及加工对其营养成分的影响。[方法] 收集了来自河北、河南、山西、吉林、甘肃和内蒙古这6个种植谷子较多省份的11种谷子品种, 粉碎过80目筛制得分析样品, 根据国标分别测定11种谷子中主要营养成分(粗蛋白、粗脂肪、脂肪酸、水分、灰分、16种氨基酸、8种基本矿物质), 并分析脱壳对谷子酚类物质、黄酮含量的影响。[结果] 分析表明, 供试谷子样品中脂肪含量变化范围1.81%~3.35%, 不饱和脂肪酸含量高达89.25%, 此外还含有花生酸。水分含量范围8.66%~11.47%, 灰分含量范围2.05%~3.25%, 粗蛋白含量变化范围为8.42%~10.70%, 谷氨酸和亮氨酸是含量最高的氨基酸, 同时谷子也富含矿物质钙、铁、锌。峰红谷中游离酚和结合酚都达到最大值, 分别为(2 310.0±32.6)、(4 401.0±138.6) mgGAE/kg(DW), 黄酮含量相对较高, 达到(1 876.0±84.4) mgRE/kg(DW)。这11种谷子脱壳后酚类物质含量降低, 部分谷子品种黄酮含量增加。[结论] 研究可为消费者提供更全面的谷子营养成分数据, 也可为优良谷子品种的集中栽种提供参考。

**关键词** 谷子; 小米; 多酚; 黄酮

中图分类号 S515 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)36-117-06

## The Nutritional Composition of 11 Varieties of Millet and the Effect of Shelling on Phenolics Content of Millet

ZHANG Ling-yan<sup>1</sup>, HAN Fei<sup>2</sup>, FAN Liu-ping<sup>1</sup> (1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122; 2. National Bureau of Food Science, Beijing 100037)

**Abstract** [Objective] To analyze nutritional composition of different varieties of millet from different regions and effects of processing on nutritional composition. [Method] Collecting 11 varieties of millet from Hebei, Henan, Shanxi, Jilin, Gansu and Inner Mongolia, 80 mesh sieve was crushed to analyze the sample. The main nutritional composition of 11 varieties of millet (crude protein, crude fat, fatty acids, moisture, ash, 16 kinds of amino acids, 8 kinds of essential minerals) were determined according to national standard, and effects of shelling on polyphenol and flavone content in millet were analyzed. [Result] The results showed that the fat content in the range of 1.81% - 3.35% unsaturated fatty acids up to 89.25%, in addition to containing eicosanoids. The moisture content in the range of 8.66% - 11.47%, ash content in the range of 2.05% - 3.25%, crude protein content varies from 8.42% - 10.70%, glutamic acid and leucine is the most abundant amino acids while millet is also rich in minerals Ca, Fe, Zn. Fenghonggu had the highest free phenolic content (2 310.0 ± 32.6) mgGAE/kg(DW) and bound phenolic content (4 401.1 ± 138.6) mgGAE/kg(DW). The flavonoid content of Fenghonggu also was up to (1 876.0 ± 84.4) mgRE/kg(DW). When the foxtail millet was shelled, the phenolic content of the 6 varieties of millet decreased, but the flavonoid content of some varieties of millet increased. [Conclusion] The study can provide consumers with a more comprehensive nutritional composition data, also provide a reference for the concentrated planting of fine millet varieties.

**Key words** Foxtail millet; Millet; Polyphenol; Flavone

谷子, 禾本科狗尾草属植物, 学名为 *Setaria itatica* Beauv, 是世界上最古老的农作物之一, 谷子脱壳称小米(millet)。谷子起源于我国黄河流域, 中国是主产区, 占全世界产量的80%, 其次是印度, 谷子产量占10%。澳大利亚、美国、加拿大、法国、朝鲜、日本、匈牙利等国也有少量种植<sup>[1]</sup>。谷子具有极强的适应能力, 还有耐旱、耐贫瘠、耐酸、耐碱、耐盐等特点, 因此谷子是我国干旱地区及推广节水农业地区的理想作物。谷子中的主要营养物质是碳水化合物, 其主要成分是直链淀粉和支链淀粉, 直链淀粉含量较多, 易于消化。谷子中还含有一些抗氧化性物质, 包括维生素、矿物质、酚类化合物等<sup>[2]</sup>。此外, 经常食用谷子, 不仅有益于人体健康, 还可以预防糖尿病<sup>[3]</sup>。谷子营养丰富、营养成分比例均衡并且消化率很高, 达90%以上<sup>[4]</sup>。谷子的营养成分与品种、产地等密切相关, 但目前还缺乏不同地区、品种谷子详细的营养成分分析以及加工对营养成分影响的数据。因此, 笔者收集了来自河北、山西、河南、吉林、甘肃和内蒙古等地的11种谷子, 检测其蛋白质、灰分、脂肪以及氨基酸、脂肪酸、多酚、黄酮等营养成分, 并分析脱壳对谷子多酚、黄酮的影响, 为消费

者提供更全面的营养成分数据, 也可为优良品种的集中栽种提供参考。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 该研究所采用谷子主要来自于河北、山西、河南、吉林、甘肃和内蒙古。豫谷01号和豫谷18号是来自于河南安阳; 晋汾02号、晋谷21和晋谷29来自山西汾阳, 长农35来自于山西武乡; 黄金谷和峰红谷来自内蒙古赤峰; 九谷20、冀谷31和陇谷12分别来自于吉林市、河北保定和甘肃兰州。试验中选取的样品没有蛀虫、碎粒, 无杂交污染, 样品密封于密封袋中并且储藏于4℃冰箱中。

## 1.2 方法

**1.2.1 样品制备。** 小米是使用功率为2 kW的磨谷机将谷子脱壳3次而成, 测定营养成分时将谷子和小米用粉碎机粉碎, 过80目筛备用。

**1.2.2 谷子基本营养物质检测方法。** 灰分检测方法依照国标 GB/T 22510, 2008; 脂肪检测方法依照国标 GB/T 14772, 2008; 氨基酸检测方法依照国标 GB/T 5009.124, 2003; 蛋白质检测方法依照国标 GB5009.5, 2010; 脂肪酸的检测方法是根据 Amira Jelassi 提及的气相分析方法<sup>[5]</sup>; 铜、铁、镁、锰、锌和钙检测方法根据国标 GB/T 14609, 2008; 钾和钠检测方法根据国标 GB/T5009.91, 2003。

**1.2.3 总酚提取。**

**基金项目** 国家粮食公益性行业科研专项(201313011-6-4); 江苏省科技富民强县项目(SBN2014010290)。

**作者简介** 张玲艳(1990-), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

**收稿日期** 2015-11-13

**1.2.3.1 没食子酸标准曲线的制作。**准确称取0.110 9 g 没食子酸,用蒸馏水定容于500 ml的容量瓶中备用。分别移取0.10、0.20、0.30、0.40、0.50、0.60 ml的没食子酸标准溶液于25 ml容量瓶中,加入1 ml蒸馏水,1.0 ml Folin 酚试剂,黑暗处放置8 min,加入2 ml 15%的碳酸钠溶液,用蒸馏水定容至25 ml,充分混合后,室温放置2 h后,于波长760 nm下测定吸光度。绘制标准曲线并进行回归处理,得回归标准曲线方程为: $y = 9.052 9x - 0.157 5$ [其中, $x$ 为波长760 nm处测定的吸光度值, $y$ 为没食子酸标准溶液浓度(mg/L)], $R^2 = 0.999 7$ ,具有很好的线性相关性,见图1。

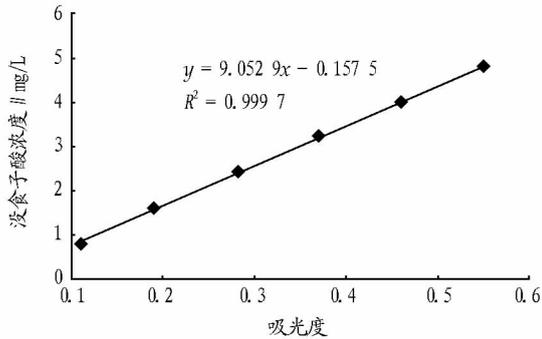


图1 没食子酸标准曲线

**1.2.3.2 游离酚提取。**称取15 g样品粉末于500 ml的酶反应器中,使用70%乙醇提取,料液比1:12 g/ml,45 ℃,搅拌4 h后,分2次提取,4 500 r/min离心10 min,取上清液。在旋转蒸发仪(50 ℃)浓缩,定容至100 ml容量瓶,于波长760 nm下测定吸光度,多酚含量以干基每1 kg样品中所含没食子酸当量(mg gallic acid equivalents/1 kg dry weight)表示,简写为mgGAE/kg(DW)。

**1.2.3.3 结合酚提取。**参考文献[6-7]中提到的方式,将提取游离多酚后的残渣真空冷冻干燥,称取样品1.000 0 g,充氮条件下加入18 ml 1.5 mol/L的氢氧化钠水解1 h,用6 mol/L的盐酸中和,使其pH维持2.0左右,正己烷(4 × 10 ml,30 min)脱脂,离心除去上清液,乙酸乙酯(4 × 10 ml,30 min)提取多酚,浓缩,用甲醇定容至5 ml,于波长760 nm下测定吸光度。

**1.2.4 黄酮。**

**1.2.4.1 芦丁标准曲线制作。**准确称取11.2 g芦丁标准品,用甲醇定容于50 ml容量瓶中备用。分别移取0.21、0.31、0.42、0.52、0.84 ml的芦丁标准溶液于10 ml容量瓶中,加入2 ml 0.1 mol/L的三氯化铝,3 ml 1.0 mol/L的乙酸钾,用30%的乙醇定容,充分混合后,室温放置90 min后,于波长420 nm下测定吸光度。绘制标准曲线并进行回归处理,得回归标准曲线方程为: $y = 0.031 4x + 0.000 5$ [其中, $x$ 为波长420 nm处测定的吸光度值, $y$ 为芦丁标准溶液浓度(mg/ml)], $R^2 = 0.999 2$ ,具有很好的线性相关性,见图2。

**1.2.4.2 黄酮提取。**称取10 g样品粉末于500 ml的酶反应器中,使用80%乙醇提取,料液比1:30 g/ml,60 ℃,搅拌3 h后,4 500 r/min离心10 min,取上清液。在旋转蒸发仪(50

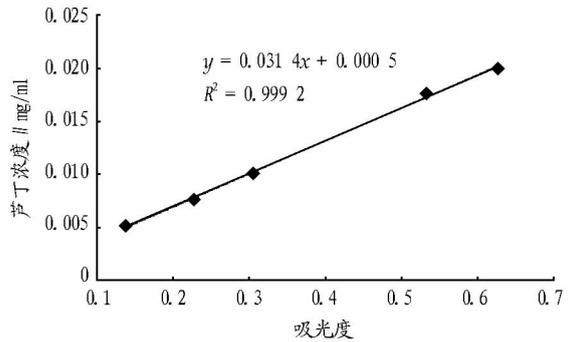


图2 芦丁标准曲线

℃)浓缩,定容至25 ml容量瓶,于波长420 nm下测定吸光度,黄酮含量以干基每1 kg样品中所含芦丁当量表示,简写为mgRE/kg(DW)。

## 2 结果与分析

### 2.1 谷子基本营养物质

**2.1.1 灰分。**表1反映了不同谷子的灰分含量,地域和品种对谷子的灰分含量影响较大。由表1看出,11种谷子的灰分范围为2.05%~3.25%,吉林市九谷20灰分值最高,达3.25%。Singh等检测了16种手指谷的灰分含量,表明这16种谷子的变化范围为1.47%~2.58%,均值为2.11%<sup>[8]</sup>,Calvin Onyango检测到的谷子灰分含量2.08%<sup>[9]</sup>,这11种谷子的灰分含量较高,均值达到2.72%,说明其内矿物质元素含量相对较高。

**2.1.2 脂肪含量。**Saldivar研究了总脂肪含量,表明谷子和手指谷粗脂肪含量变化范围为5.2%~11.0%<sup>[10]</sup>,Fatoumata Hama也报道珍珠谷内脂肪含量达到4.80%<sup>[11]</sup>,而我国的11种谷子的脂肪含量分布范围为1.81%~3.35%,均值为2.64%,低于他们测量的最低值,有利于人体健康,更加符合现代人健康饮食要求。由表1可知,豫谷18号的脂肪含量值最小,仅为1.81%,而晋谷21号和赤峰峰红谷的脂肪含量值最高,达到3.35%。

表1 11种谷子基本营养成分

品种	灰分	脂肪	蛋白质	%
晋谷21	2.59	3.35	9.87	
晋谷29	2.66	2.85	10.61	
晋汾02	2.38	2.82	10.70	
长农35	2.95	2.61	9.65	
豫谷01	2.87	2.62	9.42	
豫谷18	2.50	1.81	8.86	
黄金谷	2.05	2.46	10.00	
峰红谷	2.87	3.35	10.44	
九谷20	3.25	2.57	8.42	
冀谷31	3.05	2.24	9.41	
陇谷12	2.79	2.41	10.64	

**2.1.3 脂肪酸。**谷子中富含人体所需的不饱和脂肪酸亚油酸、亚麻酸。通过检测11种谷子的脂肪酸种类及含量,由表2可以看出,谷子中脂肪酸含量最为丰富的是亚油酸,其中晋谷21号亚油酸含量达到70.28%,不饱和脂肪酸含量最高为

89.25%。11 种谷子脂肪酸中不饱和脂肪酸最低含量也达到 78.00%，可以充分满足人体对于不饱和脂肪酸的需求，促进人们身体健康。Shaohua Liang 检测了谷子中脂肪酸组成，其中不饱和脂肪酸变化范围为 80.69%~89.04%，其中亚油酸含量最高，均值达到 67.27%<sup>[12]</sup>，而这 11 种谷子的亚油酸均值为 66.73%，与其结果相一致。由表 2 可知，山西省供试谷子脂肪含量平均值为 2.91%，相应的不饱和脂肪酸含量为 84.69%，内蒙古供试谷子粗脂肪和脂肪酸含量与山西省谷子相接近，不饱和脂肪酸含量达到 84.81%，虽然河南省谷子脂肪含量低，但是其不饱和脂肪酸含量也较低，仅为 79.69%。因此，山西省的谷子更能补充人体所需脂肪酸。另外，还检测出小米脂肪酸中还含有花生酸。Issoufou Amadou 也报道检测出二十碳花生酸<sup>[13]</sup>。

表 2 11 种谷子中脂肪酸含量

品种	脂肪酸										其他
	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C18:1	C18:2	$\alpha$ C18:3	$\gamma$ C18:3	C20:0	
晋汾 02	nd	nd	7.08	nd	8.02	12.58	66.38	2.77	nd	1.89	1.28
晋谷 21	0.04	0.04	7.16	nd	1.31	16.40	70.28	2.57	nd	0.70	1.50
晋谷 29	nd	nd	7.42	nd	6.48	13.59	68.06	2.55	nd	0.15	1.75
长农 35	nd	nd	6.47	nd	7.03	13.12	67.54	2.91	nd	1.75	1.18
豫谷 01	0.17	nd	11.31	nd	7.20	14.88	61.17	1.95	nd	1.92	1.40
豫谷 18	0.06	0.05	7.76	nd	7.42	12.56	66.61	2.21	nd	1.97	1.36
黄金谷	Nd	nd	7.51	nd	6.66	12.42	67.19	2.84	nd	1.85	1.53
峰红谷	0.04	0.04	7.47	nd	2.29	15.99	69.34	1.83	nd	0.95	2.05
九谷 20	0.25	nd	7.07	nd	6.12	13.63	66.26	3.04	nd	1.73	1.90
冀谷 31	0.04	0.05	7.26	0.03	6.81	12.54	67.28	2.52	0.04	2.02	1.41
陇谷 12	0.21	nd	8.21	nd	7.50	13.01	63.87	3.28	nd	1.76	2.16

注:nd 表示没有检测到脂肪酸。

**2.1.5 氨基酸。**谷子中含有丰富的氨基酸，检测谷子中的 16 种氨基酸，含量最为丰富的是脯氨酸 (Pro)、天冬氨酸 (Asp)、谷氨酸 (Glu)、丙氨酸 (Ala) 和亮氨酸 (Leu)，其中 Glu 含量最高，必需氨基酸中 Leu 含量最大，其含量分别为 23 509.6 mg/kg、14 620.0 mg/kg。Issoufou Amadou 检测了 4 种谷子的 18 种氨基酸，相对于其他种类，手指谷中氨基酸含量最为丰富，其中报道 Glu 含量最高，Leu 含量其次<sup>[13]</sup>。Stephen Mbithi-Mwikya 等也检测了手指谷 18 种氨基酸，也表明其中 Glu 含量最高，Leu 在必需氨基酸中含量最高，Glu 含量甚至达到 Leu 的 2 倍<sup>[17]</sup>。Calvin Onyango 也曾报道说明谷子中 Glu 含量可以达到 Leu 含量的 2 倍<sup>[9]</sup>。

由表 3 可以看出，区域和品种不同也导致谷子中氨基酸种类和含量不同，且差别显著的是 Glu 含量，山西省的晋汾 02 号氨基酸含量最为丰富，豫谷 01 号氨基酸含量较少，Glu 含量仅有 18 112.1 mg/kg，Leu 含量仅有 10 914.3 mg/kg。

**2.1.6 矿物质。**该研究检测了我国 11 种谷子中常见的 8 种矿物质元素，由表 4 可知，不同品种谷子的矿物质含量相差甚小，其中 K、Mg、Ca 元素含量最多，K 元素变化范围在 2 814.5~4 377.58 mg/kg，平均含量为 3 460.00 mg/kg，Ca 元素含量变化范围在 205.34~439.89 mg/kg，平均含量 297.00 mg/kg，Cu 元素含量最少，平均含量仅为 5.82 mg/kg。有报道曾指出，镁有利于制造出消化酵素，提高葡萄糖的新陈代

**2.1.4 蛋白质含量。**Khoulood BACHAR 研究了 28 种手指谷的蛋白质含量，报道蛋白质含量的变化范围在 0.78%~11.88%<sup>[14]</sup>，而供试的 11 种谷子蛋白质含量范围为 8.42%~10.70%，与其基本一致。由表 1 可以看出，其中晋汾 02 和晋谷 29 号的蛋白含量相对较高，达到 10.70% 和 10.61%，内蒙古地区的 2 种谷子蛋白质平均含量为 10.22%，而吉林市的九谷 20 号蛋白质含量较低，只有 8.42%。由此可见，地域对蛋白质含量影响较大。G. EJETA 测量了来自南非的 3 种珍珠粟的蛋白质含量，此 3 种谷子蛋白质含量均高于我国的谷子蛋白质含量，其中谷子 52731 蛋白质含量达到 14%，其余 2 种谷子 Kordofani 和 Zongokolo 蛋白质含量均已达到 12%<sup>[15]</sup>。此外，S. Chowdhury 报道了 2 种珍珠粟的蛋白质含量均值为 11.40%<sup>[16]</sup>。

谢，促进钙的吸收。Khoulood BACHAR 研究报道了 28 种手指谷，钾变化范围为 112.40~2 847.00 mg/kg，钙平均含量为 4 168.60 mg/kg<sup>[14]</sup>，相对而言，这我国的这些谷子 K 含量高于国外的谷子，而 Ca 的平均值含量却远低于国外的谷子。谷子品种不同，生长地域不同，其矿物质含量差别显著。由于内蒙古地表金属矿产较为丰富，因此赤峰黄金谷中 Fe、Zn 含量相对较高，可补充人体所需 Fe 和 Zn，综合各种矿物质元素，峰红谷中对人体有益矿物质元素含量较为丰富。这 11 种谷子中，Fe、Zn 的平均含量为 39.17、28.01 mg/kg，而 O. Adeola 研究了 2 种珍珠谷的矿物质含量，其中珍珠粟 B 中 Fe 含量高达 51.00 mg/kg，Zn 含量达到 43.00 mg/kg<sup>[18]</sup>。John R. N. Taylor 对比研究了大豆、谷子的性质，他们报道 Fe 含量均值为 67.73 mg/kg，Zn 含量均值为 41.56 mg/kg<sup>[19]</sup>。

## 2.2 脱壳前后谷子抗氧化物质含量

**2.2.1 脱壳前后谷子酚类物质含量。**由图 3 可知，谷子中结合酚 [(2 123.0 ± 92.50) ~ (4 401.0 ± 138.6) mg GAE/kg (DW)] 含量均高于游离酚 [(691.6 ± 41.4) ~ (2 310.0 ± 32.60) mg GAE/kg (DW)]，总酚含量最高是峰红谷，达到 (6 711.0 ± 171.2) mg GAE/kg (DW)，其游离酚和结合酚也分别达到最高值。11 种谷子总酚均值为 4 118.0 mg GAE/kg (DW)，高于珍珠粟总酚含量 1 387.0 mg GAE/kg (DW)<sup>[20]</sup>。翟玮玮等通过研究 4 种谷物酚类物质含量以及抗氧化性也

表明,糙米在谷物中总酚含量较高,而这 11 种谷子总酚含量平均值为 4 118.0 mg GAE/kg (DW),高于糙米中总酚含量<sup>[6]</sup>。张文昊等报道,糙米中总酚含量仅为 1 695.0 mg GAE/kg (DW)<sup>[21]</sup>。邵雅芳研究了 3 种颜色糙米的总酚

含量,其中黑米总酚含量最高,仅为 1 568.0 mg GAE/kg (DW)<sup>[22]</sup>。此外,山西省的晋汾 02 总酚含量最高,达到 (4 282.0 ± 221.7) mg GAE/kg (DW),游离酚 (934.3 ± 11.91) mg GAE/kg (DW)。

表 3 11 种谷子中氨基酸含量

mg/kg

氨基酸	品种										
	晋汾 02	晋谷 29	晋谷 21	长农 35	豫谷 01	豫谷 18	峰红谷	黄金谷	九谷 20	冀谷 31	陇谷 12
Lys	2 271.0	2 193.0	2 172.0	2 072.0	2 051.0	2 002.0	2 083.0	2 236.0	2 391.0	2 870.0	2 258.0
Phe	6 282.0	6 044.0	5 874.0	5 723.0	4 830.0	4 824.0	5 395.0	5 567.0	4 861.0	5 861.0	5 623.0
Met	2 179.0	1 870.0	2 059.0	1 621.0	1 501.0	1 395.0	1 533.0	2 081.0	1 242.0	2 089.0	1 649.0
Thr	4 064.0	3 977.0	3 760.0	37 755.0	3 202.0	3 144.0	3 324.0	3 647.0	3 351.0	3 801.0	3 597.0
Ile	5 161.0	5 035.0	4 933.0	4 809.0	4 145.0	4 219.0	4 379.0	4 404.0	4 072.0	4 816.0	4 791.0
Leu	14 620.0	14 191.0	13 608.0	13 209.0	10 914.0	11 297.0	11 862.0	12 588.0	1 079.0	12 680.0	13 154.0
Val	6 348.0	6 152.0	5 867.0	5 790.0	5 350.0	5 473.0	5 404.0	5 607.0	5 405.0	6 126.0	5 776.0
tyr	1 813.0	1 647.0	1 788.0	1 658.0	1 379.0	1 417.0	1 637.0	1 539.0	1 614.0	1 856.0	1 456.0
Arg	6 118.0	5 845.0	6 256.0	5 921.0	5 112.0	5 125.0	4 945.0	5 184.0	5 184.0	5 824.0	4 885.0
Ala	10 021.0	9 790.0	9 423.0	9 334.0	7 689.0	7 883.0	8 235.0	8 783.0	7 681.0	8 933.0	9 184.0
Cys	531.0	466.0	519.0	421.0	374.0	338.0	412.0	437.0	384.0	469.0	401.0
Gly	3 260.0	3 206.0	3 175.0	3 039.0	2 817.0	2 863.0	2 859.0	3 012.0	3 027.0	3 832.0	3 103.0
His	2 683.0	2 619.0	2 555.0	2 497.0	2 219.0	2 103.0	2 290.0	2 394.0	2 214.0	2 427.0	2 429.0
Ser	4 178.0	4 436.0	3 390.0	3 914.0	1 804.0	3 696.0	3 820.0	3 723.0	3 272.0	4 166.0	3 650.0
Pro	9 201.0	9 343.0	8 520.0	9 391.0	7 135.0	6 486.0	8 053.0	8 048.0	8 213.0	9 084.0	8 844.0
Asp	9 627.0	7 925.0	8 825.0	8 710.0	7 643.0	7 408.0	8 289.0	8 300.0	7 634.0	9 192.0	8 829.0
Glu	23 510.0	22 989.0	21 129.0	21 787.0	18 113.0	18 692.0	19 220.0	20 867.0	18 207.0	20 819.0	21 053.0

表 4 11 种谷子矿物质元素含量

mg/kg

品种	矿物质元素								
	Zn	Fe	Cu	Mn	K	Na	Mg	Ca	
晋汾 02	31.94	31.88	6.28	13.66	2 991	77.70	807.10	256.7	
晋谷 21	27.03	42.71	6.02	14.50	3 345	199.64	866.34	260.43	
晋谷 29	28.40	29.36	5.62	13.48	3 044	78.54	904.98	260.63	
长农 35	20.27	31.82	5.55	13.05	2 814	150.45	798.35	278.24	
豫谷 01	25.28	30.13	4.75	10.75	3 485	27.97	835.78	330.73	
豫谷 18	28.10	41.26	5.14	10.17	2 977	31.12	795.77	439.89	
黄金谷	33.41	33.66	7.08	13.71	3 725	89.23	896.05	288.36	
峰红谷	39.66	34.06	5.33	11.15	2 916	97.22	719.21	205.34	
九谷 20	29.09	47.44	5.46	17.99	4 360	35.84	981.01	283.04	
冀谷 31	25.42	75.00	6.26	14.58	4 023	87.40	1 015.45	412.80	
陇谷 12	19.53	33.50	6.56	14.24	4 378	39.54	1 016.16	250.81	

从 11 种谷子中选取酚类物质含量较多的 6 种(峰红谷、晋汾 02、晋谷 21、陇谷 12、冀谷 31、豫谷 01)研究脱壳对其影响, Kim 等<sup>[23]</sup>和 Vaher 等<sup>[24]</sup>曾报道,谷子酚类物质主要存在于糠皮层。表 5 说明,脱壳对于峰红谷总酚含量影响较大,其总酚含量只占脱壳前 15%,脱壳对于陇谷 12 影响相对较小,脱壳后的陇谷 12 总酚含量为脱壳前的 37%。但是,脱壳后冀谷 31 总酚含量最高,达到 (1 205.0 ± 99.50) mg GAE/kg (DW),豫谷 01 [(1 172.0 ± 106.2) mg GAE/kg (DW)] 含量相对较高,差别不是很显著。

对比图 3 和图 4 可知,脱壳后结合酚和游离酚差别不显著,脱壳前游离酚与结合酚差值最小的是陇谷 12,仅为 1 117.0 mg GAE/kg (DW),最大是黄金谷,达到 2 814.0 mg GAE/kg (DW),然而脱壳后游离酚和结合酚差值范围为 225.3 ~ 495.3 mg GAE/kg (DW),最小的是晋谷 21,最大为冀谷 31,由此可说明结合酚较多存在于糠皮层。Ivanišová 等也说明,谷物中酚类物质 73% 存在于糠皮层中<sup>[25]</sup>。

**2.2.2 脱壳前后谷子黄酮含量。**黄酮属于多酚,具有一定的抗氧化性<sup>[7]</sup>。由图 5 可知,这 11 种谷子中黄酮含量最少的是冀谷 31,仅为 (587.0 ± 34.0) mgRE/kg (DW),陇谷 12 黄酮含量最多,达到 (3 031.0 ± 97.5) mgRE/kg (DW)。其次,山西省的 4 种谷子(长农 35、晋汾 02、晋谷 21、晋谷 29)黄酮平均含量为 1 301.2 mgRE/kg (DW),晋谷 21 黄酮含量达到最大值 (2 974.0 ± 48.2) mgRE/kg (DW),而内蒙古中峰红谷 [(1 876.0 ± 84.4) mgRE/kg (DW)] 含量最多。同样选取 6 种谷子研究脱壳对其黄酮含量的影响,由表 6 可知,脱壳后黄酮含量增加,这可能是由于大部分黄酮与糖结合成苷类以配基的形式存在于谷子果实中<sup>[26]</sup>,糠皮层中含有极少量的黄酮。脱壳前选取的 6 种谷子黄酮含量从 (587.0 ± 34.0) mg/kg (DW) 增加到 (3 031.0 ± 97.5) mgRE/kg (DW),然而脱壳后小米黄酮含量从 (1 465.0 ± 102.4) mgRE/kg (DW) 增加到 (3 639.0 ± 93.5) mgRE/kg (DW),并且脱壳前陇谷 12 黄酮含量最多,脱壳后晋汾 02 黄酮含量最多。

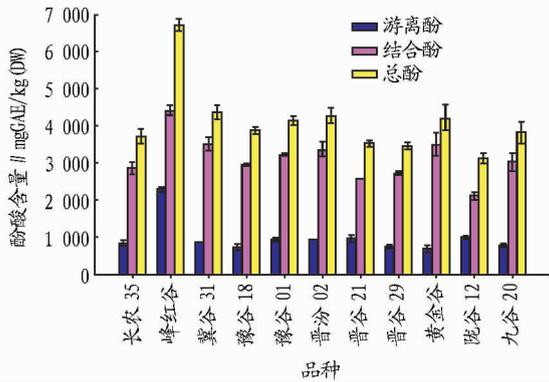


图3 11种谷子酚含量

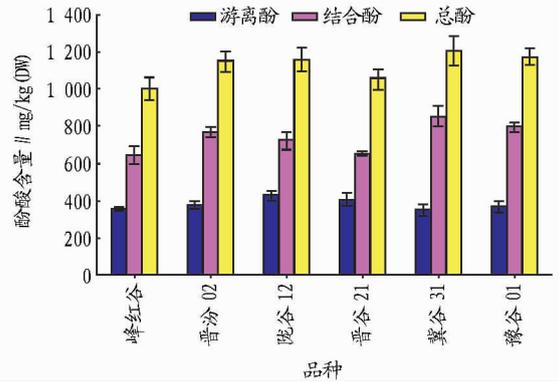


图4 6种脱壳谷子酚含量

表5 脱壳前后谷子总酚含量

mg GAE/kg(DW)

项目	峰红谷	晋汾02	陇谷12	晋谷21	冀谷31	豫谷01
谷子	6 711.0 ± 167.4	4 282.0 ± 221.7	3 129.0 ± 129.4	3 551.0 ± 79.89	4 367.0 ± 196.9	4 158.0 ± 101.4
脱壳谷子	1 000.0 ± 56.63	1 149.0 ± 50.1	1 157.0 ± 64.8	1 060.0 ± 46.92	1 205.0 ± 79.4	1 172.0 ± 47.4

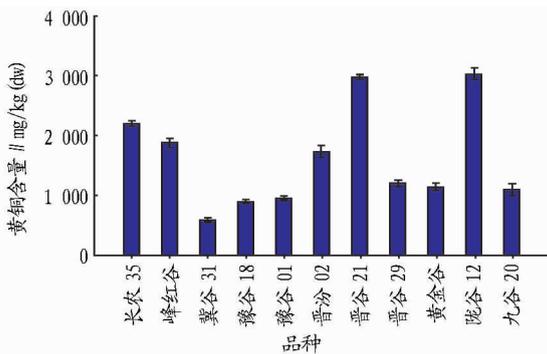


图5 11种谷子总黄酮含量

### 3 结论

该试验主要研究了我国不同地方 11 种谷子的营养组成以及脱壳对酚酸和黄酮含量的影响。山西省的 4 种谷子中

蛋白质和脂肪酸含量较其他省的谷子含量高,分别达到 10.21%、84.69%。此外,谷氨酸和亮氨酸也是最为丰富的,均值分别高达 23 509.6 和 14 620.0 mg/kg。由峰红谷和黄金谷可知,内蒙古的谷子不仅其矿物质元素铁、锌和钙含量丰富,而且不饱和脂肪酸也高达 84.81%。

峰红谷中游离酚和结合酚含量最多,黄酮含量相对较高。脱壳谷子中酚类物质含量骤减,均值 1 120.0 mg GAE/kg(DW),然而脱壳后晋汾 02 黄酮含量却从 (1 731.0 ± 100.1) mg 芦丁/kg(DW) 增加到 (3 639.0 ± 93.5) mg 芦丁/kg(DW)。谷子营养物质含量丰富,且消费者倾向健康营养的饮食方式,值得研究不同加工方式以使营养物质在加工中损失最小。

表6 脱壳前后谷子总黄酮含量

mg GAE/kg(DW)

项目	峰红谷	晋汾02	陇谷12	晋谷21	冀谷31	豫谷01
谷子	1 876.0 ± 84.4	1 731.0 ± 100.1	3 031.0 ± 97.5	2 974.0 ± 48.2	587.0 ± 34.0	946.0 ± 32.0
脱壳谷子	3 553.0 ± 105.6	3 639.0 ± 93.5	2 476.0 ± 110.5	1 753.0 ± 93.3	1 729.0 ± 83.1	1 465.0 ± 102.4

### 参考文献

- [1] LI Y, WU S. Traditional maintenance and multiplication of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) landraces in China[J]. Euphytica, 1996, 87(1): 33-38.
- [2] SHOBANA S, SREERAMA Y N, MALLESHI N G. Composition and enzyme inhibitory properties of finger millet (*Eleusine coracana* L.) seed coat phenolics; Mode of inhibition of  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic amylase[J]. Food chemistry, 2009, 115(4): 1268-1273.
- [3] KIM J S, HYUN T K, KIM M J. The inhibitory effects of ethanol extracts from sorghum, foxtail millet and proso millet on  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase activities[J]. Food chemistry, 2011, 124(4): 1647-1651.
- [4] JAYARAMAN A, PURANIK S, RAI N K, et al. cDNA-AFLP analysis reveals differential gene expression in response to salt stress in foxtail millet (*Setaria italica* L.) [J]. Molecular biotechnology, 2008, 40(3): 241-251.
- [5] JELASSI A, CHERAIEF I, JANNET H B. Chemical composition and characteristic profiles of seed oils from three Tunisian acacia species[J]. Journal of food composition and analysis, 2014, 33(1): 49-54.
- [6] 翟玮玮, 侯会斌, 孙兆远. 四种谷物中多酚含量的测定及抗氧化特性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 150-153.
- [7] ADOM K K, LIU R H. Antioxidant activity of grains[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2002, 50(21): 6182-6187.
- [8] SINGH P, SRIVASTAVA S. Nutritional composition of sixteen new varieties of finger millet[J]. J Community Mobilization Sustainable Dev, 2006, 1(2): 81-84.
- [9] ONYANGO C, NOETZOLD H, BLEY T, et al. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize-finger millet blend [J]. LWT-Food science and Technology, 2004, 37(8): 827-832.
- [10] SALDIVAR S. Cereals: Dietary importance [M]//Encyclopedia of food sciences and nutrition. Reino Unido: Academic Press, Agosto, London, 2003: 1027-1033.
- [11] HAMA F, ICARD-VERNIÈRE C, GUYOT J P, et al. Changes in micro- and macronutrient composition of pearl millet and white sorghum during in field versus laboratory decortication[J]. Journal of cereal science, 2011, 54(3): 425-433.
- [12] LIANG S, YANG G, MA Y. Chemical characteristics and fatty acid profile of foxtail millet bran oil[J]. Journal of the american oil chemists' society, 2010, 87(1): 63-67.
- [13] AMADOU I, GOUNGA M E, LE G W. Millets; Nutritional composition, some health benefits and processing-A review[J]. Journal of food and agriculture, 2013, 25(7): 501-508.
- [14] BACHAR K, MANSOUR E, Khaled A B, et al. Fiber Content and Mineral Composition of the finger millet of the Oasis of Gabes Tunisia[J]. Journal of agricultural science, 2013, 5(2): 219.

- [15] EJETA G, HASSEN M M, MERTZ E T. In vitro digestibility and amino acid composition of pearl millet (*Pennisetum typhoides*) and other cereals [J]. Proceedings of the national academy of sciences, 1987, 84(17): 6016-6019.
- [16] CHOWDHURY S, PUNIA D. Nutrient and antinutrient composition of pearl millet grains as affected by milling and baking [J]. Food/nahrung, 1997, 41(2): 105-107.
- [17] MBITHI-MWIKYA S, OOGHE W, VAN CAMP J, et al. Amino acid profiles after sprouting, autoclaving, and lactic acid fermentation of finger millet (*Eleusine coracana*) and kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2000, 48(8): 3081-3085.
- [18] ADEOLA O, ORBAN J I. Chemical composition and nutrient digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) fed to growing pigs [J]. Journal of cereal science, 1995, 22(2): 177-184.
- [19] TAYLOR J R N, BELTON P S, BETA T, et al. Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: Developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality [J]. Journal of cereal science, 2014, 59(3): 257-275.

- [20] 田志琴. 小米多酚类活性物质的提取及抗氧化性研究 [D]. 焦作: 河南工业大学, 2011.
- [21] 张文昊, 邓媛元, 魏振承. 几种糙米的营养成分及抗氧化活性对比 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1119-1122.
- [22] 邵雅芳. 稻米酚类化合物的鉴定, 分布, 遗传与相关基因的表达研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [23] KIM K H, 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(3): 466-473.
- [24] VAHER M, MATSO K, LEVANDI T, et al. Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties [J]. Procedia chemistry, 2010, 2(1): 76-82.
- [25] IVANIŠOVÁ E, ONDREJOVI Č M, ŠILHÁR S. Antioxidant activity of milling fractions of selected cereals [J]. Nova biotechnologica et chimica, 2012, 11(1): 45-56.
- [26] 蔡碧琼, 余萍, 何海斌, 等. 水稻谷壳中总黄酮提取工艺及其性质表征 [J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(1): 142-147.

(上接第 116 页)

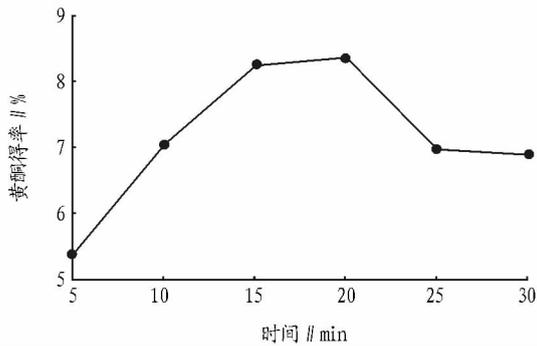


图2 不同提取时间对黄酮得率的影响

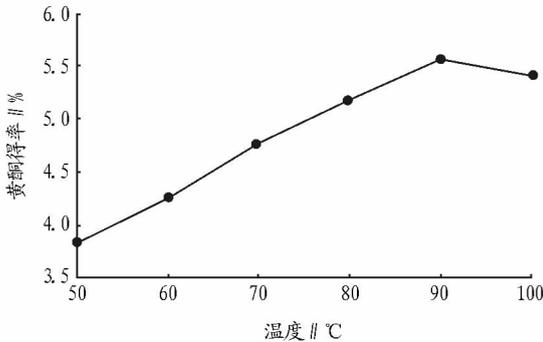


图3 不同提取温度对黄酮得率的影响

4.0 g 的条件下提取 25 min。对试验数据进行极差分析得因素 A(提取温度)影响显著,因素 B(提取时间)较显著,因素 C(投料)不显著。有一定影响因素作用的主次顺序为提取温度、提取时间、投料量,与极差分析的结果一致。按照上述最佳工艺条件对芦笋中黄酮类化合物进行提取,提取率为 4.842 mg/g。

### 3 结论

该试验对芦笋不同部位总黄酮含量的测定,可知在芦笋的不同部位总黄酮主要是在芦笋顶端含量较多,这一结果表明了在今后人们利用芦笋时,可根据所需要对芦笋进行合理的利用。

通过该试验可以从直观上了解到芦笋袋泡茶药用价值随时间、温度等因素的相关变化。通过此研究将会有利于推进芦笋种植业的发展,鼓励人们多饮用芦笋茶,促进芦笋相关食品加工业的发展,实现全民健康的目的,推动肿瘤医学的新进展,为芦笋产业及其天然资源开发利用提供理论依据。

表8 芦笋总黄酮提取工艺正交试验结果分析

编号	因素			吸光度	黄酮提取率 mg/g
	提取温度 (A) / °C	提取时间 (B) / min	投料量 (C) / g		
1	80	15	4.0	0.130	0.604
2	80	20	4.5	0.274	1.265
3	80	25	5.0	0.482	2.085
4	90	15	4.5	0.602	2.923
5	90	20	5.0	0.715	3.145
6	90	25	4.0	0.875	4.842
7	100	15	5.0	0.656	2.877
8	100	20	4.0	0.766	4.222
9	100	25	4.5	0.736	3.601
$K_1$	3.954	6.404	9.668		
$K_2$	10.911	8.632	7.790		
$K_3$	10.700	10.528	8.107		
R	6.956	4.123	1.878		

### 参考文献

- [1] 林友胜, 胡松青. 芦笋的药理和临床研究述要 [J]. 辽宁中医学院学报, 2005(6): 637-638.
- [2] 周利亘, 王春辉, 王君虹, 等. 芦笋的活性成分及其生物学功能 [J]. 安徽农学通报, 2006(2): 23-25.
- [3] 季宇彬, 许贺. 芦笋抗肿瘤活性成分及作用机制的研究进展 [J]. 药品评价, 2008(9): 428-432.
- [4] 刘俊山. 植物生产调节剂对豇豆采后生理影响的研究 [J]. 上海农学院学报, 1999, 17(4): 290-293.
- [5] MAKRI S D P, ROSSITER J T. Domestic processing of onion bulbs (*Allium cepa*) and asparagus spears (*Asparagus officinalis*): Effect on flavonol content and antioxidant status [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2001, 49(7): 3216-3222.
- [6] 孙春艳, 赵伯涛, 郁志芳, 等. 芦笋的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(5): 1-5.
- [7] 孙春艳, 赵伯涛, 郁志芳, 等. 芦笋的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2004(5): 23.
- [8] 刘树兴, 魏丽娜, 王维. 芦笋老茎中芦丁的提取工艺 [J]. 食品与发酵工业, 2005(12): 143-145.
- [9] 张素华, 王正云, 张翠英, 等. 芦笋中总黄酮的提取及初步精制 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2005, 26(3): 78-83.