

# 不同品种谷子营养成分及功能活性成分差异化分析

郑楠楠<sup>1,2</sup>, 蔡文涛<sup>2</sup>, 王春玲<sup>1</sup>, 负婷婷<sup>2</sup>, 么 杨<sup>3</sup>, 任贵兴<sup>3</sup>

(1. 天津科技大学 食品工程与生物技术学院, 天津 300222;

2. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037;

3. 中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:**对比研究了10个品种谷子营养及功能活性成分。以10个代表性谷子品种籽粒为原料,检测分析了淀粉、蛋白质、脂肪等营养组分,及多酚、黄酮、低聚糖等功能活性成分的含量。结果表明:不同品种谷子,营养成分及功能活性成分的含量差异不同,且功能性成分含量品种间差异较大。不同品种间谷子粗淀粉变异系数为5%,含量较为稳定;粗脂肪的变异系数为17.55%,品种之间差异显著( $P < 0.05$ );粗蛋白的变异系数为7%,品种之间差异显著( $P < 0.05$ );总黄酮变异系数最大,为51%,含量范围为0.55~2.01 mg/g;总多酚含量变异系数为25%,含量范围为0.65~1.41 mg/g;低聚糖含量品种间差异也较大。对选育优良品种谷子,及开发谷子相关食品和保健品具有指导意义。

**关键词:**谷子;营养成分;功能活性成分;对比分析

中图分类号:S 515 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2018)02-0034-06

## Comparative analysis of nutritional and functional components in different kinds of millet

ZHENG Nan-nan<sup>1,2</sup>, QI Wen-tao<sup>2</sup>, WANG Chun-ling<sup>1</sup>, YUN Ting-ting<sup>2</sup>, YAO Yang<sup>3</sup>, REN Gui-xing<sup>3</sup>

(1. College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222;

2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037; 3. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** The nutritional and functional ingredients of ten varieties of representative millet were researched. The contents of starch, protein, fat, and the functional active, such as polyphenols, flavonoids and oligosaccharide, were detected. The results showed that the differences of the contents of nutritional and functional ingredients were not the same among the varieties, and the differences of functional ingredients were bigger than those of nutritional ingredients. The variation coefficient of total starch was 5% which meant the contents of total starch was relatively stable. The variation coefficient of crude fat was 17.55%, and the differences among varieties were significant ( $P < 0.05$ ). The variation coefficient of crude protein was 7%, and the differences among varieties were also significant ( $P < 0.05$ ). The total flavonoids had the highest variation coefficient of 51%, and the amplitude of variation ranged from 0.55 to 2.01 mg/g. The variation coefficient of total polyphenol was 25%, and the amplitude of variation ranged from 0.65 to 1.41 mg/g. The differences of oligosaccharide were also relatively large. The data would be important references for the research and development of millet food and health care products as well as selection and breeding of fine varieties of millet.

**Key words:** millet; nutritional compositions; functional active ingredients; comparative analysis

谷子,又名粟,脱壳后称为小米,是我国传统的特色农作物之一<sup>[1]</sup>。谷子品种繁多,有糯性和粳性

之分,因其耐旱、耐贫瘠的特性,适合生长在干旱而缺乏灌溉的地区。谷子起源于我国黄河流域,在北方的干旱和半干旱地区栽培较多,内蒙古、吉林、黑龙江、辽宁、河北、河南、山东、山西和陕西9个省区<sup>[2]</sup>的种植面积较大。小米不仅各种营养成分易

收稿日期:2017-08-21

基金项目:粮食公益性行业科研专项课题(201313006-1)

作者简介:郑楠楠,1991年出生,女,在读硕士。

通讯作者:蔡文涛,1977年出生,男,副研究员。

吸收,且各营养成分间配比较合理<sup>[3]</sup>,具有很高的营养价值。小米中不饱和脂肪酸、胡萝卜素、维生素和矿物质含量均高于其他谷类。研究表明谷子不但含有比较全面均衡的氨基酸,尤其是色氨酸、蛋氨酸含量很高<sup>[4]</sup>,不饱和脂肪酸(如亚油酸、亚麻酸)含量丰富等<sup>[5]</sup>,而且谷子中还含有丰富的生物类黄酮、多酚<sup>[6]</sup>、肌醇、甾醇<sup>[7]</sup>、硒元素、黄色素、胡萝卜素等生物活性成分。

谷子的营养成分齐全,消化吸收率较高,且具有一定的医疗保健作用,经常食用谷子不仅有益于身体健康,还有助于预防糖尿病<sup>[8]</sup>。谷子的营养与品种、产地等密切相关,但目前针对不同品种谷子间营养与功能活性物质差异方面的研究鲜有报道。因此,本研究选取10种具有代表性的谷子品种作为研究对象,对其营养组分含量、功能活性成分含量等进行对比分析,为谷子食品和保健品的合理加工、科学消费提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

样品制备:分别选取全国主要产区2016年产10个代表性谷子品种(详见表1),经清洗、除杂、干燥、脱壳、粉碎(过60目筛)后得到谷子粉末,备用。

表1 谷子品种及来源

品种名称	样品产地
豫谷18号	河南安阳
张杂谷5号	河北张家口
长农35号	山西长治沁县
安塞小米	陕西延安安塞县
冀谷18号	河北石家庄
济谷16号	山西济南
龙谷25号	黑龙江哈尔滨
冀谷19号	宁夏固原
金谷2号	吉林白城
晋谷21号	山西长治沁县

### 1.2 实验试剂

硼酸、五水合硫酸铜、硫酸钾、三氯乙酸、氢氧化锂、氢溴酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠(分析纯):北京化工厂;三氟化硼乙醚液(化学纯):国药集团化学试剂有限公司;氨基酸标准品、邻苯二甲酸(OPA)、氯甲酸苄甲酯(FMOC)、戊氨酸、肌氨酸(纯度 $\geq 99\%$ ):阿拉丁试剂公司;磺基丙氨酸—蛋氨酸标准品(纯度 $\geq 99\%$ ):SIGMA公司;没食子酸、芦丁标准品:SIGMA公司;乙腈和甲醇(色谱纯):Merck公司;抗消化淀粉测定试剂盒:爱尔兰 Megazyme

公司。

### 1.3 实验仪器

紫外检器(UV6000):SpectrasystemthermoFinnigan, San Jose, CA, 美国;色谱柱为 YMC - ODS 柱(5  $\mu\text{m}$ , 250 mm  $\times$  4.6 mm): YMC, 日本;气相色谱仪(Agilent4890D型):美国安捷伦公司;SpectraMax-Plus384 酶标仪:美国 Molecular Devices (MD) 公司;751 型分光光度计:上海天普;LC - 20A 高效液相色谱仪:日本岛津公司;FOSS2012 型消化炉及排废装置:FOSS 公司瑞典;FOSS2300 型自动定氮仪:FOSS 公司瑞典;L - 8800 氨基酸自动分析仪:日立公司日本;电子分析天平(ME235S型):德国 Sartorius 公司。

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 水分测定

水分含量的测定:GB/5009.3 — 2010。

#### 1.4.2 营养组分测定

粗脂肪含量的测定:GB/T 5512 — 2010(索氏抽提法);粗蛋白质含量的测定:GB/T 5511 — 2010;粗淀粉含量的测定:GB/T 16287 — 2010;氨基酸组成的测定:采用 L - 8800 氨基酸自动分析仪测定氨基酸的种类和含量;脂肪酸的测定:参照 GB/T 17377 — 2010;快速消化淀粉、慢消化淀粉的测定:采用 Englyst 法<sup>[9]</sup>;抗性淀粉(RS)的测定:采用爱尔兰 Megazyme 抗消化淀粉测试试剂盒。

#### 1.4.3 功能活性成分的测定

多酚含量测定:采用 Folin - Ciocalteu 法<sup>[10]</sup>;黄酮含量的测定:参照 NY/T1295 — 2007 法;低聚糖的测定:采用 HPLC 法测定,检测器为示差折光检测器,色谱柱为 Inertsil NH2 柱(4.6  $\times$  250 mm, 5  $\mu\text{m}$ ),流动相为 V(乙腈):V(水) = 65:35,流速 1.0 mL/min,柱温 35  $^{\circ}\text{C}$ ,检测器温度为 40  $^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.5 数据处理与分析

每个谷子样品中的营养组分及功能活性成分分别测定三次,取平均值。采用 Excel 2007 对数据进行统计,利用 SPSS 17.0 软件进行显著性方差分析,数据以 mean  $\pm$  SD 表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 粗淀粉、粗蛋白和粗脂肪的含量分析

图1为不同品种谷子的粗淀粉、粗脂肪、粗蛋白含量。由图1可知,不同品种谷子间的粗淀粉含量存在显著性差异( $P < 0.05$ )。其中安塞小米粗淀粉

含量最低,为 63.55%, 豫谷 18 号含量最高,为 72.76%, 谷子粗淀粉含量的变异系数为 5%。因此,所选 10 个谷子品种中所含粗淀粉含量较为稳定。不同品种间粗蛋白含量存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 范围在 10.16% ~ 12.68% 之间,与文献报道一致。其中济谷 16 号中粗蛋白含量最高,为 12.68%, 豫谷 18 号粗蛋白含量最低,为 10.16%, 谷子粗蛋白含量的变异系数为 7%。粗脂肪含量以晋谷 21 含量最高,为 4.21%, 显著高于其他谷子品种中的含量 ( $P < 0.05$ ), 品种间变异系数为 17.55%。

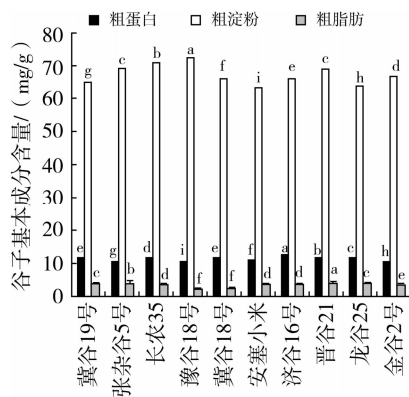


图1 不同品种谷子的粗淀粉、粗脂肪和粗蛋白含量  
注:同一指标不含相同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

结果表明,不同品种的谷子中营养组分的含量存在显著性差异。评价谷物籽粒营养价值的高低,既要看其营养成分含量的高低,也要看其营养成分的种类是否齐全,比例是否接近人体所需<sup>[11]</sup>。基于此,本研究进一步对谷子淀粉、脂肪和蛋白的组成、特性进行了对比分析,并对其品质进行了综合评价。

### 2.2 氨基酸含量分析

谷子中主要的 15 种氨基酸(8 种必需氨基酸,4 种半必需氨基酸,3 种非必需氨基酸)含量如表 2 所示。由表 2 可知,冀谷 19 号中氨基酸总量最高,为 206.13 mg/g,其中必需氨基酸含量占总氨基酸含量的 43.46%。张杂谷 5 号中氨基酸总量最低,为 92.63 mg/g,其中必需氨基酸的含量占总氨基酸含量的 41.46%。总氨基酸含量的变异系数为 28%,因此,谷子总氨基酸含量的品种差异还是比较大的。

由表中数据计算可得,在这 8 种谷子品种中,必需氨基酸/总氨基酸范围为 41% ~ 43%,必需氨基酸/非必需氨基酸范围为 0.93 ~ 1.06 (E/N),高于 FAO/WHO 标准规定的 40% 和 0.6<sup>[12]</sup>。有报道表明谷子籽粒中蛋氨酸和色氨酸的含量在粮食作物中是最高的<sup>[13]</sup>,因此深入研究谷子蛋白在食品营养和保健食品中的作用具有重要意义。

表2 不同品种谷子的氨基酸含量

mg/g

氨基酸	冀谷 19 号	张杂谷 5 号	长农 35	豫谷 18 号	冀谷 18 号	安塞小米	济谷 16 号	晋谷 21	龙谷 25	金谷 2 号	
必需氨基酸	甲硫氨酸	15.21 ± 0.14	7.05 ± 0.22	8.01 ± 0.13	6.72 ± 0.11	7.97 ± 0.12	7.19 ± 0.07	8.52 ± 0.11	7.8 ± 0.21	8.01 ± 0.07	7.45 ± 0.09
	苏氨酸	8.65 ± 0.24	3.93 ± 0.08	4.62 ± 0.17	3.86 ± 0.08	4.48 ± 0.01	4.1 ± 0.08	4.65 ± 0.11	4.68 ± 0.18	4.45 ± 0.12	4.21 ± 0.09
	缬氨酸	13.61 ± 0.33	5.27 ± 0.1	6.75 ± 0.16	5.69 ± 0.14	6.46 ± 0.22	6.14 ± 0.08	6.48 ± 0.17	5.68 ± 0.16	5.74 ± 0.19	6.2 ± 0.11
	异亮氨酸	8.69 ± 0.13	3.63 ± 0.07	4.35 ± 0.15	3.68 ± 0.1	4.03 ± 0.06	3.8 ± 0.07	4.51 ± 0.1	4.23 ± 0.09	4.1 ± 0.07	3.75 ± 0.06
	亮氨酸	30.63 ± 0.6	13.57 ± 0.57	16.69 ± 0.17	13.93 ± 0.33	14.99 ± 0.3	13.84 ± 0.44	16.83 ± 0.36	16.95 ± 0.63	15.23 ± 0.41	13.42 ± 0.04
	赖氨酸	4.55 ± 0.17	1.97 ± 0.03	1.71 ± 0.02	1.49 ± 0.01	2.34 ± 0.07	2.14 ± 0.06	2.37 ± 0.01	1.83 ± 0.03	2.23 ± 0.05	2.27 ± 0.03
	苯丙氨酸	12.07 ± 0.46	5.46 ± 0.14	6.57 ± 0.14	5.64 ± 0.11	6.2 ± 0.19	5.62 ± 0.1	6.9 ± 0.17	6.74 ± 0.17	6.29 ± 0.08	5.44 ± 0.12
	组氨酸	4.31 ± 0.1	1.91 ± 0.03	2.22 ± 0.03	1.82 ± 0.07	2.25 ± 0.04	2.05 ± 0.02	2.28 ± 0.04	2.26 ± 0.05	2.25 ± 0.08	1.99 ± 0.05
	总和	89.59	38.40	46.34	38.79	43.97	40.37	47.43	45.71	43.37	40.30
半必需氨基酸	甘氨酸	6.29 ± 0.08	2.34 ± 0.04	2.47 ± 0.03	2.15 ± 0.06	2.82 ± 0.1	2.52 ± 0.06	2.98 ± 0.06	2.51 ± 0.01	2.79 ± 0.07	2.66 ± 0.04
	丝氨酸	10.08 ± 0.19	4.59 ± 0.17	5.65 ± 0.24	4.66 ± 0.12	5.24 ± 0.13	3.54 ± 0.1	5.72 ± 0.03	5.85 ± 0.08	5.53 ± 0.1	4.92 ± 0.06
	酪氨酸	8.25 ± 0.1	4.2 ± 0.09	4.52 ± 0.06	4.2 ± 0.11	4.56 ± 0.1	4.37 ± 0.05	4.72 ± 0.17	4.81 ± 0.11	4.49 ± 0.14	4.4 ± 0.08
	精氨酸	7.93 ± 0.18	3.29 ± 0.09	3.28 ± 0.01	2.67 ± 0.09	3.93 ± 0.15	3.61 ± 0.13	3.92 ± 0.15	3.47 ± 0.08	3.7 ± 0.08	3.64 ± 0.13
	总和	32.55	14.42	15.92	13.68	16.55	14.04	17.34	16.64	16.51	15.62
非必需氨基酸	天冬氨酸	15.21 ± 0.14	7.05 ± 0.22	8.01 ± 0.13	6.72 ± 0.11	7.97 ± 0.12	7.19 ± 0.07	8.52 ± 0.11	7.8 ± 0.21	8.01 ± 0.07	7.45 ± 0.09
	丙氨酸	26.5 ± 0.61	13.18 ± 0.5	15.21 ± 0.6	13.7 ± 0.3	14.4 ± 0.34	13.6 ± 0.34	15.67 ± 0.21	15.33 ± 0.52	14.77 ± 0.49	13.3 ± 0.35
	谷氨酸	42.28 ± 0.94	19.58 ± 0.63	24.48 ± 0.56	20.95 ± 0.18	21.08 ± 0.83	19.93 ± 0.42	23.88 ± 0.77	23.3 ± 0.57	22.84 ± 0.54	19.58 ± 0.53
	总和	83.99	39.81	47.70	41.37	43.45	40.72	48.07	46.43	45.62	40.33
总氨基酸	206.13	92.63	109.96	93.84	103.97	95.13	112.84	108.78	105.50	96.25	

2.3 不同类型淀粉含量分析

表3为不同品种谷子慢消化淀粉(SDS)、快消化淀粉(RDS)以及抗性淀粉(RS)的含量。由表3可以看出,济谷16号中慢消化淀粉含量最低;除了冀谷18号和安塞小米,其他谷子品种中快消化淀粉含量偏低;抗性淀粉以豫谷18号含量最高;张杂谷5号和济谷16号所含慢消化淀粉和抗性淀粉含量占总淀粉含量的比例相对较高,分别达到80%和79%。

表3 不同品种谷子不同类型淀粉含量 %

品种名称	慢消化淀粉	快消化淀粉	抗性淀粉
冀谷19号	7.52 ± 0.23 <sup>c</sup>	19.29 ± 0.38 <sup>c</sup>	38.13 ± 0.22 <sup>c</sup>
张杂谷5号	5 ± 0.04 <sup>d</sup>	14 ± 0.16 <sup>e</sup>	50.39 ± 0.12 <sup>b</sup>
长农35	1.85 ± 0.46 <sup>f</sup>	20.31 ± 0.23 <sup>c</sup>	49.1 ± 0.64 <sup>c</sup>
豫谷18号	3.03 ± 0.13 <sup>ef</sup>	17.31 ± 0.42 <sup>d</sup>	52.41 ± 0.42 <sup>a</sup>
冀谷18号	3.61 ± 0.92 <sup>de</sup>	27.44 ± 0.76 <sup>a</sup>	37.2 ± 1.05 <sup>e</sup>
安塞小米	13.5 ± 0.51 <sup>a</sup>	21.73 ± 0.75 <sup>b</sup>	28.32 ± 0.24 <sup>g</sup>
济谷16号	1.83 ± 1.07 <sup>f</sup>	14.1 ± 0.26 <sup>e</sup>	50.46 ± 0.83 <sup>b</sup>
晋谷21	4.05 ± 0.84 <sup>de</sup>	19.65 ± 0.44 <sup>c</sup>	45.56 ± 0.4 <sup>d</sup>
龙谷25	10.18 ± 1.67 <sup>b</sup>	20.21 ± 1.18 <sup>c</sup>	33.68 ± 0.53 <sup>f</sup>
金谷2号	6.69 ± 0.1 <sup>e</sup>	14.25 ± 0.44 <sup>c</sup>	45.86 ± 0.49 <sup>d</sup>

注:淀粉含量以干基计;采用Duncan法进行多重比较,同列不含相同字母表示差异显著(P < 0.05)。

谷子的淀粉含量和种类都很丰富,但目前对谷子淀粉的研究相对较少。谷子因其中淀粉含量低于稻米、小麦粉和玉米,是糖尿病人最佳的食物选择。慢消化淀粉具有重要的生理功能,它在人体内消化吸收较为缓慢,能够持续释放能量<sup>[14]</sup>,有效维持餐后血糖的稳定,起到降血糖、降血脂的作用<sup>[15-16]</sup>,有助于预防糖尿病、肥胖症、高血压、高血脂等慢性疾病<sup>[17-18]</sup>。安塞小米中慢性淀粉含量

为13.5%,在这方面具有明显的优势。由于抗性淀粉不容易被消化吸收,食用后人体的血糖含量升高缓慢<sup>[19]</sup>,因此非常适合高血压、高血糖和肥胖症患者食用。此外抗性淀粉还能够改善大肠肠道健康,预防结肠癌<sup>[20-21]</sup>,促进有益矿物质的吸收利用<sup>[22-23]</sup>。

2.4 不同脂肪酸含量分析

检测了不同品种谷子中饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)以及不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸和亚麻酸)的含量,分析其中差异。由表4可知,不同谷子品种间各类脂肪酸含量差别明显。其中长农35、晋谷21脂肪酸含量均明显偏低;10个品种谷子不饱和脂肪酸含量丰富。龙谷25不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸比例最高,为90%;冀谷18号不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例最低,为78%。冀谷19号、张杂谷5号、长农35、豫谷18号、安塞小米、济谷16号、晋谷21、金谷2号的不饱和脂肪酸含量在总脂肪酸中所占比例分别为83%、88%、84%、87%、83%、83%、88%、85%。变异系数为3.5%,品种间差异不大。

结果表明,10个品种谷子亚油酸含量显著高于其他脂肪酸含量,不饱和脂肪酸含量在总脂肪酸中所占比例在78%~90%之间,这与文献报道<sup>[4]</sup>一致。作为一种必需脂肪酸,亚油酸不能由人体合成,必须从食物中获取<sup>[24]</sup>。亚油酸具有降低血液胆固醇,预防动脉粥样硬化<sup>[25]</sup>的生理功效。因此,常食用谷子有利于预防心脑血管疾病,降低其发病率。此外谷子中含量丰富的不饱和脂肪酸能够调控脂肪的生化合成和氧化,调节癌诱变和胆固醇<sup>[26]</sup>。

表4 不同品种谷子的脂肪酸组成 %

谷子品种	饱和脂肪酸		不饱和脂肪酸		
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
冀谷19号	0.33 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.88 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>c</sup>
张杂谷5号	0.31 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>g</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>g</sup>	2.74 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>d</sup>
长农35	0.17 ± 0.00 <sup>i</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>f</sup>	1.57 ± 0.00 <sup>i</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>h</sup>
豫谷18号	0.17 ± 0.00 <sup>j</sup>	0.23 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.23 ± 0.00 <sup>e</sup>	2.05 ± 0.00 <sup>g</sup>	0.07 ± 0.00 <sup>i</sup>
冀谷18号	0.25 ± 0.00 <sup>g</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>h</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>h</sup>	0.83 ± 0.00 <sup>j</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>g</sup>
安塞小米	0.29 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.37 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.00 <sup>b</sup>	2.66 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>
济谷16号	0.30 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.31 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.31 ± 0.00 <sup>c</sup>	2.37 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.08 ± 0.00 <sup>f</sup>
晋谷21	0.23 ± 0.00 <sup>h</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>i</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>i</sup>	1.85 ± 0.00 <sup>h</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>h</sup>
龙谷25	0.32 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>j</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>j</sup>	2.96 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>e</sup>
金谷2号	0.29 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.27 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.27 ± 0.00 <sup>d</sup>	2.54 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>

注:采用Duncan法进行多重比较,同列不含相同字母表示差异显著(P < 0.05)。

2.5 黄酮和多酚

图2显示为不同品种谷子的总黄酮和总多酚含量。金谷2号多酚含量显著高于其他谷子品种 ( $P < 0.05$ ), 为 1.41 mg/g, 是含量最低的豫谷18号 (0.65 mg/g) 的2倍多。总多酚含量变异系数为25%, 含量范围为 0.65 ~ 1.41 mg/g。总黄酮变异系数较大, 为51%, 含量范围为 0.55 ~ 2.01 mg/g。可以看出相对于其他营养物质, 不同品种谷子间多酚、黄酮含量差异较大, 尤其是黄酮含量的种间差异。由图2可知, 多酚含量高的谷子品种, 其黄酮含量相对较低, 而多酚含量低的谷子品种, 其黄酮含量相对较高, 即两者存在某种程度的负相关。如金谷2号在总多酚的分离方面具有明显优势, 但其黄酮含量较低; 张杂谷5号中黄酮含量虽显著高于其他品种, 但多酚含量不是最高。这其中的机理有待于进一步研究。

本研究表明谷子中黄酮和多酚含量的品种间差异较大, 因此, 选择合适的品种进行黄酮和多酚的提取就显得尤为重要。通常燕麦中多酚含量在 1.21 ~ 35.15 mg/g 之间, 黄酮含量在 4.74 ~ 38.41 mg/g 之间。荞麦中多酚含量在 4.38 ~ 35.15 mg/g 之间, 黄酮含量在 8.43 ~ 147.46 mg/g 之间。谷子中多酚、黄酮含量与燕麦、荞麦相比, 相对较少。因此, 下一步研究重点应当放在高含量多酚或黄酮品种谷子的选育上。

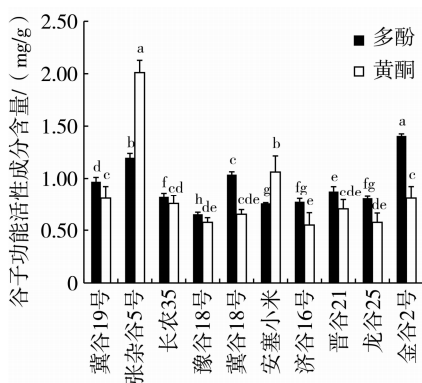


图2 不同品种谷子的总多酚和总黄酮含量

注: 不含相同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.6 蔗糖、棉籽糖和水苏糖的含量分析

不同品种谷子中蔗糖、棉籽糖、水苏糖3种低分

子糖含量如表5所示。由表5可知, 本研究所采取的10个品种谷子中低分子糖的总量以冀谷19号中含量最高, 金谷2号含量最低, 两者相差近2倍。冀谷19号的蔗糖含量最高, 且品种间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 变异系数为34%; 冀谷19号中棉籽糖含量最高, 晋谷21中棉籽糖含量最低, 变异系数为45%; 水苏糖只在冀谷19号中检出。

冀谷19号和冀谷18号源于同一生产地区, 但两者仍存在显著性差异, 可见同一地区的不同品种, 其营养及功能组分的组成和含量存在一定差异。不同地区不同品种之间的差异更为显著。但该实验并没有采集到同一品种在不同地区种植的样本, 因此对于造成谷子营养和功能活性物质种类、含量不同的主导因素是产地还是遗传因素, 还需要深入研究。

表5 不同品种谷子低聚糖含量 mg/g

品种名称	蔗糖	棉籽糖	水苏糖	总和
冀谷19号	8.78 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.76 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.02	10.060 <sup>a</sup>
张杂谷5号	3.39 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.01 <sup>d</sup>	ND	3.700 <sup>e</sup>
长农35	4.00 ± 0.08 <sup>f</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	ND	4.520 <sup>cd</sup>
豫谷18号	5.08 ± 0.13 <sup>c</sup>	0.31 ± 0.01 <sup>d</sup>	ND	5.390 <sup>b</sup>
冀谷18号	4.47 ± 0.06 <sup>d</sup>	0.3 ± 0.01 <sup>d</sup>	ND	4.770 <sup>c</sup>
安塞小米	3.72 ± 0.1 <sup>g</sup>	0.38 ± 0.01 <sup>c</sup>	ND	4.100 <sup>d</sup>
济谷16号	4.46 ± 0.1 <sup>d</sup>	0.28 ± 0 <sup>e</sup>	ND	4.740 <sup>c</sup>
晋谷21	4.27 ± 0.1 <sup>e</sup>	0.2 ± 0.01 <sup>f</sup>	ND	4.470 <sup>cd</sup>
龙谷25	5.35 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>d</sup>	ND	5.670 <sup>b</sup>
金谷2号	3.37 ± 0.01 <sup>h</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>g</sup>	ND	3.620 <sup>e</sup>

注: 低聚糖含量以干基计; ND表示未检出; 采用Duncan法进行多重比较, 同列不含相同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

3 结论

10种不同品种谷子样品中, 营养成分及功能性成分的含量差异不同, 且功能性成分含量品种间差异较大, 其中, 总黄酮变异系数最大, 为51%, 含量范围为 0.55 ~ 2.01 mg/g; 总多酚含量变异系数为25%, 含量范围为 0.65 ~ 1.41 mg/g; 低聚糖含量品种间的差异也较为明显。基本营养组分以粗脂肪变异系数最大为 17.55%, 变幅为 2.37% ~ 4.21%; 粗蛋白的变异系数为7%, 变幅为 10.16% ~ 12.68%; 总淀粉变异系数为5%, 变幅为 63.55% ~

72.76%。

谷子富含功能活性成分,符合现代人追求健康饮食的要求,因此具有很好的开发价值。同一地区不同品种谷子的营养及功能活性成分含量存在较大差异,不同地区同一品种谷子的营养及功能活性成分的含量差异可能也较大。因此,通过研究谷子中营养成分组成选育优异品种时,不仅要考虑谷子产地,还要重点考虑其品种或遗传性状造成的差异。

#### 参考文献:

- [1]董玉琛. 中国作物及其野生近缘植物[M]. 北京:中国农业出版社, 2013.
- [2]Lorenz K J, Kulp K. Handbook of cereal science and technology [M]. Marcel Dekker, Inc.: New York, 1991.
- [3]薛月圆, 李鹏, 林勤保. 小米的化学成分及物理性质的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(3):199-203.
- [4]张超, 张晖, 李冀新. 小米的营养以及应用研究进展[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(1):51-55.
- [5]刘发敏, 喻尚其, 唐章林, 等. 我国小米脂肪酸含量研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 1997(4):371-374.
- [6]Hedge P S, Chandra T S. ESR spectroscopic study reveals higher free radical quenching potential in kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*) compared to other millets[J]. Food Chemistry, 2005, 92(1):177-182.
- [7]Takatsuto S, Kosuga N, Abe B, et al. Occurrence of potential brassinosteroid precursor steroids in seeds of wheat [*Triticum aestivum*] and foxtail millet [*Setaria italica*][J]. Journal of Plant Research, 1999, 112(1105):27-33.
- [8]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.
- [9]Englyst H N, Cummings J H. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1985, 42(5):778-787.
- [10]Zhang M W, Zhang R F, Zhang F X, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(13):7580-7587.
- [11]李笑蕊, 刘珊, 王世霞, 等. 6种裸燕麦营养成分及功能活性成分对比分析[J]. 食品与机械, 2016(3):28-32.
- [12]Fao W, University U N. Energy and protein requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation[J]. World Health Organization Technical Report, 1985, 724:1.
- [13]张林生, 路莘, 曹让. 关于主要谷物的氨基酸组分评价[J]. 氨基酸和生物资源, 1989(3):30-32.
- [14]He J, Liu J, Zhang G. Slowly digestible waxy maize starch prepared by octenyl succinic anhydride esterification and heat-moisture treatment: glycemic response and mechanism[J]. Biomacromolecules, 2008, 9(1):175-84.
- [15]Zhang G, Sofyan M, Hamaker B R. Slowly Digestible State of Starch: Mechanism of Slow Digestion Property of Gelatinized Maize Starch[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(12):4695-4702.
- [16]Ells L J, Seal C B, Bal W, et al. Postprandial glycaemic, lipaemic and haemostatic responses to ingestion of rapidly and slowly digested starches in healthy young women[J]. British Journal of Nutrition, 2005, 94(6):948-955.
- [17]Leeds A R. Glycemic index and heart disease[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2002, 76(1):286S-289S.
- [18]Ludwig D S. The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease[J]. Jama the Journal of the American Medical Association, 2002, 287(18):2414-2423.
- [19]姚亚平, 田呈瑞, 张国权, 等. 糜子淀粉理化性质的分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(9):45-52.
- [20]Sajilata M G, Singhal R S, Kulkarni P R. Resistant Starch - A Review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2005, 5(1):1-17.
- [21]Nugent A P. Health properties of resistant starch[J]. Nutrition Bulletin, 2005, 30(1):27-54.
- [22]Keenan M J, Zhou J, Mccutcheon K L, et al. Effects of Resistant Starch, A Non-digestible Fermentable Fiber, on Reducing Body Fat[J]. Obesity, 2006, 14(9):1523-1534.
- [23]Jenkins DJ, Vuksan V, Kendall CW, et al. Physiological effects of resistant starches on fecal bulk, short chain fatty acids, blood lipids and glycemic index[J]. Journal of the American College of Nutrition, 1998, 17(6):609-616.
- [24]马宏峰. 亚油酸对高脂小鼠脂质代谢的影响及其机制研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2007.
- [25]周鸿, 山杉公男. 亚油酸对大白鼠血胆固醇浓度及磷脂分子组成的影响[J]. 江西科学, 2002, 20(4):207-212.
- [26]任衍开. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 健康导报:医学版, 2015(4):270. ㊞