

不同产地小麦胚芽营养成分的比较分析

赵福利, 钟葵, 佟立涛, 刘丽娅, 周闲容, 周素梅

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 为研究小麦胚芽品质状况, 从不同地区收集小麦胚芽样品, 分析其营养组成、农药及金属残留和微生物污染状况。结果表明: 12 个小麦胚芽样品中, 蛋白质平均含量为 $29.64 \pm 1.71\%$, 其中含量最高的为谷氨酸 (4.32%), 第一限制性氨基酸-赖氨酸含量为 1.85%; 脂肪酸平均含量为 $9.80 \pm 1.02\%$, 不饱和脂肪酸含量占 80% 以上, 其中亚油酸占 $60.91 \pm 0.63\%$ 。脂肪和赖氨酸含量品种变异性约为 10% 左右, 而蛋白质和亚油酸含量品种变异性不显著 ($P > 0.05$)。总糖的平均含量为 $32.75 \pm 4.82\%$, 其中总淀粉的平均含量为 $14.65 \pm 2.57\%$, 约占总糖含量的 44.73%, 灰分平均含量为 $5.12 \pm 0.41\%$ 。12 个小麦胚芽样品中农药及重金属残留 Pb、Cd 含量均未超标, Hg、As 均未检出; 菌落总数平均值为 3.9×10^3 CFU/g, 大肠杆菌均小于 3.0 MPN/g, 霉菌平均值为 4.8×10^2 CFU/g。进行小麦胚芽的品质分析, 对其深加工和综合利用具有理论参考价值。

关键词: 小麦胚芽; 营养品质; 卫生指标; 品种

文章编号: 1673-9078(2014)3-182-188

Analysis of Nutritional Components of Wheat Germ from Different Producing Areas

ZHAO Fu-li, ZHONG Kui, TONG Li-tao, LIU Li-ya, ZHOU Xian-rong, ZHOU Su-mei

(Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/
Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to study the quality of wheat germ, different wheat germ samples were collected from different areas, the nutritional composition, pesticide and metal residues as well as the microbial contamination condition were analyzed. Among 12 wheat germ samples, the average content of protein was $29.64 \pm 1.71\%$, most of which was glutamic acid (4.32%). The first limiting amino acid-lysine was 1.85%, and the average fatty acid content was $9.80 \pm 1.02\%$. The unsaturated fatty acids accounted for more than 80%, in which linoleic acid accounted for $60.91 \pm 0.63\%$. The variation coefficient of fat and lysine was about 10% among different samples, while there was no significant difference in protein and linoleic acid content ($P > 0.05$). The average content of total sugar was $32.75 \pm 4.82\%$, in which the total starch was $14.65 \pm 2.57\%$, making up about 44.73% of total sugar. The average content of ash was $5.12 \pm 0.41\%$. Heavy metals residues as Hg and As, as well as pesticide residues were not detected, while Pb and Cd contents were found to be lower than the limit range. The total number of colonies average value was 3.9×10^3 CFU/g. Escherichia coli were less than 3.0 MPN/g, and the mold had an average of 4.8×10^2 CFU/g. Analyzing the quality of wheat germ can provide an important reference value for further processing and comprehensive utilization.

Key words: wheat germ; nutritional quality; hygiene index; variation

小麦是世界上主要粮食作物, 我国小麦总产量占世界第一位, 2012 年产量约为 1.2 亿 t^[1]。小麦胚芽是面粉加工的副产物, 大约占到小麦籽粒的 2~3%, 含有丰富的蛋白质、碳水化合物、脂肪、灰分和氨基酸

收稿日期: 2013-10-25

基金支持: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303071); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2012ZL034)

作者简介: 赵福利(1989-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事粮油深加工与功能食品研究; 钟葵, 为并列第一作者

通讯作者: 周素梅(1971-), 女, 博士, 研究员, 主要从事粮油深加工与功能食品研究

及一些维生素等生理活性成分, 被誉为整个小麦籽粒的营养宝库和精华。小麦胚芽中小麦胚芽油中维生素 E 含量为植物油之冠, 蛋白质含量约占 30% 左右, 是面粉蛋白质 4 倍; 氨基酸含量丰富, 特别是谷物中短缺的赖氨酸, 其含量比大米和面粉高出几十倍; 富含多种微量元素, 特别是铁含量约为 0.12 mg/g, 是一种很好的天然食品营养源^[2-3]。研究表明, 麦胚具有促进婴幼儿生长发育、保护大脑、抗衰老、抗氧化及抗动脉粥样硬化等作用^[4]。近年来, 麦胚以其丰富的营养成分和良好的保健功能倍受重视, 已被广泛应用于各种营养、保健和疗效食品中, 如用于面包类、点心类、

糖果类、饼干类、面条类及其它食品加工,也可添加到微生物培养基或加工配合饲料^[5]。

目前对于麦胚的综合利用总体水平仍处于初级阶段,小麦胚芽资源尚未得到充分、有效利用。开展小麦胚芽资源研究及开发具有较好的经济效益和社会效益。品种、来源、加工过程及贮藏环境的不同会造成小麦胚芽营养成分与质量安全水平不同,从而影响小麦胚的稳定化、生理活性以及在食品工业中的应用^[2]。Brandolini A^[4]等、翟爱华^[6]等分别对小麦胚芽的营养成分、功能性及理化特性等进行分析,但针对不同产地来源的营养与质量安全品质的综合评价,国内外这方面的研究较少。因此,对国内小麦主产区小麦胚芽样品进行品质分析,选出优质样品,显得尤为重要。

本研究从国内小麦主产区收集了 12 个代表性小麦胚芽样品,涉及 9 个省份(河南、山东、河北、江苏、安徽、陕西、北京、内蒙古、黑龙江),测定小麦胚芽样品的基本营养指标和质量安全指标,对不同来源的小麦胚芽样品品质进行比较分析,旨在为小麦胚芽深加工和综合利用提供理论数据基础,从而加速小麦胚芽资源的研究开发,同时对于缓解我国十分紧缺的蛋白和油脂资源,丰富我国营养、保健与疗效食品的种类,提高我国人民的膳食营养与健康水平也具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 实验原料

本研究收集的小麦胚芽原料为 2013 年产新鲜麦胚,12 个小麦胚芽样品产地来源如表 1 所示,采用高速万能粉碎机磨粉后置于 4℃ 冰箱中保存。研究中所提到的小麦胚芽样品名称均以表 1 中编号为准。

表 1 供试小麦胚芽样品来源

Table 1 Sources of wheat germ samples used in this study

| 编号 | 产地 | 编号 | 产地 |
|----|-----------|----|-------------|
| 1 | 山东滨州(泰裕) | 7 | 陕西宝鸡(老牛) |
| 2 | 山东德州(永乐) | 8 | 安徽宿州(皖王) |
| 3 | 河北邢台(金沙河) | 9 | 北京(古船) |
| 4 | 河北邯郸(五得利) | 10 | 内蒙古巴彦淖尔(恒丰) |
| 5 | 河北唐山(三达) | 11 | 江苏泰州(三零) |
| 6 | 河南周口(莲花) | 12 | 黑龙江哈尔滨(北大荒) |

1.2 实验试剂

无水乙醇、石油醚、硫酸、苯酚等(均为分析纯),购于北京化工厂;甲醇、乙酰氯(均为色谱纯),购于美国 Fisher 公司;总淀粉测定试剂盒,购于爱尔兰

Megazyme 公司。

1.3 实验仪器与设备

FW-100 高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;DHG-9146A 电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;KJE LTEC2300 全自动凯氏定氮仪,丹麦 Foss 公司;Lindberg/Blue M 马弗炉,美国 AshevilleNC 公司;U-3010 紫外可见分光光度计,日本 Hitachi 公司;N-EVAP 氮气吹扫仪,杭州奥威仪器有限公司;L-8900 全自动氨基酸分析仪,日本日立公司;450-GC 气相色谱仪,Varian。

1.4 实验方法

参照 GB/T 22510-2008 测定灰分含量;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,采用总淀粉试剂盒测定总淀粉含量;参照硫酸-苯酚法^[7]测定总糖含量;参照 AOAC 996.06 方法,面积归一法计算脂肪酸组成;参照 GB/T 5009.124-2003 方法进行氨基酸组成分析;参照 GB/T 5009.12-2010 测定铅含量;参照 GB/T 5009.15-2010 测定镉含量;参照 GB/T 5009.11-2010 测定砷含量;参照 GB/T 5009.17-2010 测定汞含量;参照 GB/T 5009.20-2010 测定有机磷农药残留;参照 GB4789.2-2010 测定菌落总数;参照 GB4789.3-2010 测定大肠杆菌;参照 GB4789.15-2010 测定霉菌总数;参照 GB/T 23503-2009 测定脱氧雪腐镰刀烯醇(DON)含量;采用 ELISA 检测试剂盒的操作使用说明测定黄曲霉毒素 B₁ 的含量。

1.5 数据处理

使用 Excel 2007 对数据进行统计分析,利用 SAS 9.0 统计软件进行方差分析,标记字母法表示组间差异显著性。

2 结果与讨论

2.1 小麦胚芽营养品质分析

2.1.1 小麦胚芽样品收集

收集的 12 个小麦胚芽样品如表 1 所示。

2.1.2 基本营养组成

不同产地小麦胚芽营养组成见表 2。由表可见,小麦胚芽中总糖含量最高,平均含量达 32.75±4.82%,其中总淀粉平均含量为 14.65±2.57%,约占总糖含量 44.73%;其次含量较高的是蛋白质和脂肪,平均含量为 29.64±1.71%和 9.80±1.02%;灰分含量最低,平均

含量为 5.12±0.41%。文献报道^[4-6]中总糖含量为 27~33.4%，总淀粉含量为 10~20%，蛋白质含量为 28~31.5%脂肪含量为 10~13.8%，灰分含量为 4~5%，本研究与文献报道接近。

不同产地收集小麦胚芽各营养组成均存在不同程度差异。样品中淀粉含量变幅为 11.22~22.67%，变异系数最大 (19.83%)，表明不同产地小麦胚芽中总淀粉含量差异最显著 (P<0.05)。其中，淀粉含量最高和

最低的品种分别是 4 号样品 (22.67±0.02%) 和 2 号样品 (11.22±0.06%)。脂肪含量变异性较小，CV 值约为 10%，脂肪含量最高和最低的样品分别是 8 号样品 (11.52±0.22%) 和 4 号样品 (7.56±0.12%)。不同产地蛋白质含量变异性最小，蛋白质含量变幅为 25.58~32.18%，CV 值仅为 5.76%，蛋白质含量较高的是 5 号 (32.01±0.09%) 和 10 号样品 (32.18±0.00%)，含量较低的是 4 号样品 (25.58±0.12%)。

表 2 不同产地小麦胚芽的主要营养成分 (%)

Table 2 Proximate compositions of wheat germs from different producing areas

| 样品编号 | 灰分 | 脂肪 | 蛋白质 | 总淀粉 | 总糖 |
|------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 5.44±0.01 ^c | 9.88±0.23 ^{de} | 28.91±0.02 ^e | 13.58±0.07 ^f | 35.75±0.36 ^{cb} |
| 2 | 5.54±0.02 ^b | 10.93±0.51 ^{ba} | 31.03±0.06 ^b | 11.22±0.06 ^h | 38.47±0.63 ^a |
| 3 | 4.45±0.46 ^f | 10.15±0.03 ^{dc} | 29.63±0.00 ^d | 11.72±0.11 ^g | 36.13±0.45 ^b |
| 4 | 4.67±0.00 ^h | 7.56±0.12 ^h | 25.58±0.12 ^g | 22.67±0.02 ^a | 36.49±0.54 ^b |
| 5 | 5.90±0.04 ^a | 9.55±0.15 ^{de} | 32.01±0.09 ^a | 12.12±0.31 ^g | 38.93±0.29 ^a |
| 6 | 4.78±0.01 ^g | 9.51±0.27 ^{def} | 29.72±0.08 ^d | 14.23±0.10 ^e | 27.24±0.25 ^e |
| 7 | 4.75±0.00 ^g | 10.65±0.13 ^{bc} | 29.01±0.10 ^e | 16.18±0.13 ^c | 30.10±0.12 ^d |
| 8 | 4.88±0.02 ^f | 11.52±0.22 ^a | 30.61±0.01 ^c | 13.54±0.08 ^f | 35.78±0.62 ^b |
| 9 | 5.13±0.00 ^e | 9.41±0.24 ^{ef} | 28.95±0.09 ^e | 14.18±0.11 ^e | 27.79±0.44 ^d |
| 10 | 5.36±0.01 ^d | 10.97±0.12 ^{ba} | 32.18±0.00 ^a | 13.91±0.01 ^{fe} | 23.91±0.01 ^f |
| 11 | 5.50±0.01 ^{cb} | 8.84±0.04 ^{gf} | 28.21±0.12 ^f | 14.89±0.01 ^d | 28.12±0.35 ^e |
| 12 | 5.08±0.04 ^e | 8.61±0.08 ^g | 29.85±0.05 ^d | 17.50±0.20 ^b | 34.26±0.09 ^c |
| 平均值 | 5.12 | 9.80 | 29.64 | 14.65 | 32.75 |
| 变幅 | 4.45~5.90 | 7.56~11.52 | 25.58~32.18 | 11.22~22.67 | 23.91~38.93 |
| 标准差 | 0.41 | 1.02 | 1.71 | 2.57 | 4.82 |
| 变异系数 | 8.07 | 11.71 | 5.76 | 19.83 | 14.72 |

注：灰分、粗蛋白、粗脂肪、总淀粉、总糖含量均以干基计，组间数值的差异性用 a、b、c 表示，相同字母表示无显著性差异 (P<0.05)。

2.1.3 小麦胚芽的脂肪酸组成

小麦胚芽中脂肪含量丰富，其中饱和脂肪酸如亚油酸、油酸、亚麻酸等对人体健康非常有益。亚油酸是人体必需的营养成分，能促进乳儿组织细胞的生长发育，对于促进儿童大脑和神经发育，降低血液脂质浓度和胆固醇含量、防止动脉粥样硬化、预防高血压都发挥着重要作用^[8-9]。油酸、亚麻酸能改善高脂血症，对心血管疾病、II 型糖尿病起防治作用，对类风湿性关节炎及自身免疫性疾病具有治疗效果，对结肠炎具有保护作用^[10]。由表 3 可见，12 个小麦胚芽样品脂肪酸组成中亚油酸含量最高，为 60.91±0.63%；其次含量较高的是棕榈酸、油酸和亚麻酸，含量分别为 17.84±0.31%、12.73±0.78%、6.89±0.37%，硬脂酸和棕榈油酸含量最低，分别为 0.93±0.13% 和 0.23±0.04%。其中，饱和脂肪酸含量丰富，占总脂肪酸的 80%以上，亚油酸含量占总饱和脂肪酸的

75.42%。徐斌^[11]等报道亚油酸 58.34%，棕榈酸 16.59%，油酸占 13.39%，亚麻酸 6.49%，硬脂酸占 0.62%，棕榈油酸 0.13%，饱和脂肪酸占总脂肪酸的 80%以上，本研究与文献报道出入不大。

不同小麦胚芽样品中，棕榈油酸和硬脂酸变异系数较大，CV 值分别为 18.92% 和 13.45%，其他脂肪酸含量变异系数较小，表明品种之间不存在显著差异 (P>0.05)。

2.1.4 小麦胚芽氨基酸组成

表 2 数据表明小麦胚芽中蛋白质含量在 30%左右，含量高于大多数谷物；小麦胚芽蛋白含有人体必需的 8 种氨基酸和儿童所需的 10 种必需氨基酸，氨基酸构成比例与 FAO/WHO 推荐标准接近，是重要的优质植物蛋白源。同时，小麦胚芽中还含有其他谷物所缺乏的赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸，在营养学上具有重要意义，起到很好的平衡氨基酸的作用^[12]。本实验对

所收集的麦胚样品的氨基酸组成进行测定, 见表4。

表3 不同产地小麦胚芽脂肪酸组成

Table 3 Fatty acid composition of wheat germ from different producing areas

| 编号 | 不饱和脂肪酸/% | | | 饱和脂肪酸/% | | |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 棕榈油酸 C16:1 | 油酸 C18:1 | 亚油酸 C18:2 | 亚麻酸 C18:3 | 棕榈酸 C16:0 | 硬脂酸 C18:0 |
| 1 | 0.24±0.02 ^{bc} | 12.89±0.02 ^f | 61.12±0.06 ^d | 6.62±0.01 ^h | 18.27±0.08 ^a | 0.86±0.02 ^e |
| 2 | 0.19±0.01 ^d | 11.75±0.04 ^k | 61.93±0.02 ^a | 7.44±0.01 ^a | 17.83±0.01 ^{ed} | 0.86±0.02 ^e |
| 3 | 0.15±0.01 ^e | 12.41±0.05 ^h | 61.71±0.00 ^b | 7.08±0.02 ^e | 17.68±0.02 ^f | 0.98±0.02 ^c |
| 4 | 0.24±0.02 ^{ba} | 13.79±0.04 ^c | 60.15±0.01 ⁱ | 6.25±0.02 ^j | 18.22±0.03 ^b | 1.35±0.03 ^a |
| 5 | 0.19±0.01 ^{dc} | 12.22±0.01 ⁱ | 60.89±0.03 ^f | 7.37±0.01 ^b | 18.44±0.01 ^a | 0.89±0.01 ^d |
| 6 | 0.28±0.01 ^a | 12.00±0.04 ^j | 61.69±0.04 ^b | 7.23±0.04 ^c | 17.85±0.02 ^e | 0.96±0.02 ^{dc} |
| 7 | 0.18±0.00 ^d | 13.55±0.01 ^d | 60.60±0.00 ^g | 6.42±0.02 ⁱ | 18.27±0.02 ^b | 0.98±0.03 ^{dc} |
| 8 | 0.27±0.01 ^a | 13.44±0.02 ^e | 61.00±0.00 ^e | 6.82±0.01 ^g | 17.62±0.03 ^f | 0.86±0.02 ^e |
| 9 | 0.19±0.02 ^{dc} | 14.11±0.02 ^a | 59.76±0.02 ^j | 7.37±0.01 ^b | 17.68±0.03 ^f | 0.91±0.02 ^{dc} |
| 10 | 0.26±0.02 ^a | 13.91±0.01 ^b | 60.35±0.02 ^h | 7.21±0.05 ^c | 17.38±0.04 ^g | 0.90±0.01 ^d |
| 11 | 0.28±0.01 ^a | 12.24±0.02 ⁱ | 61.37±0.02 ^c | 7.17±0.01 ^d | 17.93±0.01 ^d | 1.02±0.01 ^b |
| 12 | 0.26±0.01 ^a | 12.85±0.03 ^g | 61.00±0.00 ^e | 6.90±0.01 ^f | 18.07±0.02 ^c | 0.92±0.00 ^{dc} |
| 平均值 | 0.23 | 12.73 | 60.91 | 6.89 | 17.84 | 0.93 |
| 变幅 | 0.15~0.28 | 11.75~14.11 | 59.76~61.93 | 6.25~7.44 | 17.38~18.44 | 0.86~1.35 |
| 标准差 | 0.04 | 0.78 | 0.63 | 0.37 | 0.31 | 0.13 |
| 变异系数 | 18.92 | 6.11 | 1.04 | 5.44 | 1.72 | 13.85 |

表4 不同产地小麦胚芽氨基酸组成及含量

Table 4 Compositions and contents of amino acids of wheat germs from different producing areas

| 编号 | 必需氨基酸 | | | | | | | 半必需氨基酸 | | | | | 非必需氨基酸 | | | | |
|------|-------|------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| | Lys | Phe | Met | Thr | Leu | Iso | Val | Arg | Gly | Ser | Tyr | Cys | Glu | Pro | Asp | Ala | His |
| 1 | 2.00 | 1.15 | 0.43 | 0.98 | 1.62 | 0.83 | 1.38 | 1.90 | 1.47 | 1.05 | 1.05 | 0.93 | 4.27 | 1.09 | 2.17 | 1.54 | 0.64 |
| 2 | 2.21 | 1.16 | 0.16 | 1.09 | 1.73 | 0.89 | 1.46 | 2.14 | 1.60 | 1.11 | 1.02 | 0.87 | 4.16 | 1.09 | 2.41 | 1.72 | 0.68 |
| 3 | 1.80 | 1.12 | 0.43 | 1.04 | 1.67 | 0.86 | 1.39 | 2.08 | 1.54 | 1.09 | 1.01 | 0.87 | 4.39 | 1.13 | 2.29 | 1.60 | 0.68 |
| 4 | 1.44 | 0.99 | 0.32 | 0.83 | 1.41 | 0.72 | 1.19 | 1.65 | 1.25 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 4.07 | 1.09 | 1.82 | 1.27 | 0.58 |
| 5 | 2.00 | 1.21 | 0.46 | 1.12 | 1.80 | 0.93 | 1.52 | 2.31 | 1.66 | 1.14 | 1.07 | 0.91 | 4.38 | 1.16 | 2.50 | 1.78 | 0.72 |
| 6 | 1.72 | 1.10 | 0.40 | 0.98 | 1.58 | 0.82 | 1.37 | 2.05 | 1.47 | 1.03 | 0.98 | 0.82 | 4.33 | 1.11 | 2.24 | 1.51 | 0.65 |
| 7 | 1.82 | 1.12 | 0.44 | 1.04 | 1.67 | 0.86 | 1.41 | 2.02 | 1.52 | 1.06 | 1.01 | 0.91 | 4.30 | 1.12 | 2.27 | 1.63 | 0.67 |
| 8 | 1.88 | 1.18 | 0.44 | 1.07 | 1.72 | 0.88 | 1.53 | 2.14 | 1.58 | 1.11 | 1.05 | 0.90 | 4.47 | 1.14 | 2.35 | 1.64 | 0.69 |
| 9 | 1.64 | 1.06 | 0.36 | 0.95 | 1.53 | 0.79 | 1.30 | 1.88 | 1.42 | 1.02 | 0.96 | 0.87 | 4.17 | 1.06 | 2.07 | 1.46 | 0.61 |
| 10 | 1.86 | 1.09 | 0.40 | 1.05 | 1.64 | 0.85 | 1.39 | 2.23 | 1.53 | 1.10 | 0.95 | 0.82 | 4.33 | 1.04 | 2.32 | 1.63 | 0.66 |
| 11 | 1.82 | 1.05 | 0.41 | 0.90 | 1.50 | 0.77 | 1.26 | 1.84 | 1.37 | 0.98 | 0.95 | 0.83 | 4.09 | 1.08 | 1.97 | 1.41 | 0.59 |
| 12 | 2.00 | 1.22 | 0.43 | 1.14 | 1.83 | 0.95 | 1.52 | 2.37 | 1.68 | 1.21 | 1.05 | 0.90 | 4.82 | 1.20 | 2.51 | 1.76 | 0.72 |
| 平均 | 1.85 | 1.12 | 0.39 | 1.02 | 1.64 | 0.85 | 1.39 | 2.05 | 1.51 | 1.07 | 1.00 | 0.87 | 4.32 | 1.11 | 2.24 | 1.58 | 0.66 |
| 最小 | 1.44 | 0.99 | 0.16 | 0.83 | 1.41 | 0.72 | 1.19 | 1.65 | 1.25 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 4.07 | 1.04 | 1.82 | 1.27 | 0.58 |
| 最大 | 2.21 | 1.22 | 0.46 | 1.14 | 1.83 | 0.95 | 1.53 | 2.37 | 1.68 | 1.21 | 1.07 | 0.93 | 4.82 | 1.20 | 2.51 | 1.78 | 0.72 |
| 变异系数 | 10.27 | 5.82 | 20.29 | 8.55 | 7.15 | 7.33 | 7.42 | 9.73 | 7.89 | 6.96 | 5.79 | 4.40 | 4.49 | 3.81 | 8.90 | 9.04 | 6.82 |

实验测得小麦胚芽样品总氨基酸平均为 24.65%，而必需氨基酸占总氨基酸的 33.47%，含量最多的为谷氨酸（平均 4.32%），被称为第一限制性氨基酸-赖氨酸

酸平均含量达到 1.85%，变幅为 1.44~2.21%，变异系数为 10.27%。徐斌^[11]等报道麦胚中总氨基酸含量为 28.70%，必需氨基酸占总氨基酸的 35.26%，含量最多

的谷氨酸为 4.74%，赖氨酸含量达 2.10%，本研究氨基酸数据与文献报道比较接近。

不同来源的小麦胚芽样品间含量差异最为显著的为蛋氨酸，其变异系数高达 20.29%，其次是赖氨酸和精氨酸，变异系数分别为 10.27%和 9.73%。差异性较小为脯氨酸（3.81%），胱氨酸（4.40%）和谷氨酸（4.49%）。

2.2 小麦胚芽卫生指标分析

2.2.1 农药及重金属残留量指标

表 5 不同产地小麦胚芽中重金属残留量

Table 5 Heavy metal residue of wheat germ from different producing area (mg/kg)

| 样品 编号 | 铅 Pb | 镉 Cd | 汞 Hg | 砷 As |
|----------|--------------------------|-------------------------|---------|---------|
| 1 | 0.07±0.00 ^{ef} | 0.06±0.00 ^e | - | - |
| 2 | 0.11±0.01 ^{cb} | 0.07±0.00 ^c | - | - |
| 3 | 0.00±0.00 ⁱ | 0.00±0.00 ^g | - | - |
| 4 | 0.07±0.00 ^{cd} | 0.07±0.00 ^{cb} | - | - |
| 5 | 0.05±0.00 ^{hfg} | 0.09±0.00 ^a | - | - |
| 6 | 0.09±0.00 ^{cd} | 0.07±0.00 ^b | - | - |
| 7 | 0.16±0.01 ^a | 0.05±0.00 ^f | - | - |
| 8 | 0.13±0.02 ^b | 0.05±0.00 ^{fe} | - | - |
| 9 | 0.10±0.00 ^c | 0.06±0.00 ^d | - | - |
| 10 | 0.05±0.00 ^{hg} | 0.05±0.00 ^{fe} | - | - |
| 11 | 0.07±0.00 ^{efg} | 0.08±0.00 ^a | - | - |
| 12 | 0.04±0.00 ^h | 0.05±0.00 ^f | - | - |

注：“-”表示其含量低于仪器最低检测限，未检出。所有指标均以干基计，同列中标的不同字母的值在 0.05 水平上显著差异。

参照国标方法对小麦胚芽中农药及重金属残留进行了测定，结果如表 5 所示。参照 GB2762-2005 食品中污染物限量标准，Pb、Cd 限量范围为（Pb<0.2 mg/kg，Cd<0.1 mg/kg），本实验样品 Pb、Cd 含量均未超标。其中 3 号样品两者均未检出（<0.01 mg/kg），2 号、6 号和 7 号样品 Pb 含量相对较高，且 7 号样品与限量值接近。农药残留测定磷化物、甲基嘧啶磷、溴氰菊酯、林丹，研究结果表明 12 个小麦胚芽样品中该 4 种物质均未检出。汞、砷、磷化物、甲基嘧啶磷、溴氰菊酯、林丹的检出限分别为：0.005 mg/kg、0.01 mg/kg、0.02 mg/kg、0.01 mg/kg。

2.2.2 卫生与真菌毒素指标

谷物中有害微生物的存在对食品安全形成极大隐患，特别是一些真菌毒素会严重危害到人类健康。有文献报道谷物中微生物主要存在于胚乳及胚表皮，因

此小麦胚芽样品中微生物含量测定尤为重要^[12]。采用国标法测定小麦胚芽样品中菌落总数、大肠杆菌、霉菌及真菌毒素含量见表 6。12 个样品中菌落总数含量为 $1.0 \times 10^3 \sim 9.8 \times 10^3$ CFU/g，其中只有 7 号、8 号和 11 号样品的菌落总数 $>6.0 \times 10^3$ CFU/g，含量相对较高，而 12 号样品菌落总数含量最低，为 1.5×10^3 CFU/g，样品中大肠杆菌均 <3.0 MPN/g，含量较低，霉菌为 $1.1 \times 10^2 \sim 9.2 \times 10^2$ CFU/g，4 号、6 号、8 号和 11 号四个样品的霉菌含量比较高，均 $>7.0 \times 10^2$ CFU/g，9 号样品霉菌含量最低，为 1.1×10^2 CFU/g，目前只有少数国家制定了小麦粉的微生物限量指标，我国尚无小麦粉微生物标准。真菌毒素方面，12 个样品中黄曲霉毒素 B₁ 和脱氧雪腐镰刀菌烯醇均未检出，其检出限分别为 1.0 μg/kg 和 500 μg/kg，参照 GB 2761-2011 得出黄曲霉毒素 B₁ 含量均在限量范围内（ <5 μg/kg），脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量同样在限量范围内（ <1 mg/kg）。微生物含量检测结果表明，个别产地小麦胚芽样品中微生物含量相对较高，主要是因为小麦胚芽水分含量高，优质蛋白和不饱和脂肪酸等营养素含量丰富，酶活力强（尤其是脂肪酶），微生物容易生长繁殖，不仅导致麦胚出现结块、霉变、发酵等变质现象，还会使脂肪酸值大幅度升高，引起小麦胚酸败，缩短小麦胚芽货架期，影响其风味^[13]，因此对小麦胚芽稳定化技术和设备开发显得尤为迫切。

表 6 不同产地小麦胚芽中卫生指标与真菌毒素含量

Table 6 Determination of health indicators and the mycotoxin of wheat germ from different producing areas

| 样品 编号 | 菌落 总数 /(CFU/g) | 大肠 杆菌 /(MPN/g) | 霉菌 /(CFU/g) | 黄曲霉 毒素 B ₁ /(μg/kg) | 脱氧雪腐 镰刀菌烯 醇/(μg/kg) |
|----------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1 | 2.1×10^3 | <3.0 | 2.0×10^2 | - | - |
| 2 | 2.8×10^3 | <3.0 | 3.9×10^2 | - | - |
| 3 | 2.2×10^3 | <3.0 | 2.0×10^2 | - | - |
| 4 | 1.5×10^3 | <3.0 | 7.8×10^2 | - | - |
| 5 | 4.0×10^3 | <3.0 | 5.4×10^2 | - | - |
| 6 | 2.0×10^3 | <3.0 | 9.2×10^2 | - | - |
| 7 | 9.8×10^3 | <3.0 | 3.3×10^2 | - | - |
| 8 | 7.2×10^3 | <3.0 | 9.1×10^2 | - | - |
| 9 | 3.8×10^3 | <3.0 | 1.1×10^2 | - | - |
| 10 | 4.3×10^3 | <3.0 | 4.6×10^2 | - | - |
| 11 | 6.7×10^3 | <3.0 | 7.2×10^2 | - | - |
| 12 | 1.0×10^3 | <3.0 | 2.9×10^2 | - | - |

注：均以干基计。

2.3 小麦胚芽的聚类分析

小麦胚芽含有丰富蛋白质、油脂、维生素和矿物质等,比例合理均衡,是优秀的人类营养素来源。但由于麦胚富含多种活性酶和不饱和脂肪酸,容易发生酸败变质,不耐储藏,稳定性差,限制了麦胚的开发应用,影响对小麦副产物的深加工综合利用。故以脂肪和蛋白质含量为指标,用 SAS 软件采用离差平方和法对所收集的小麦胚芽进行聚类分析。

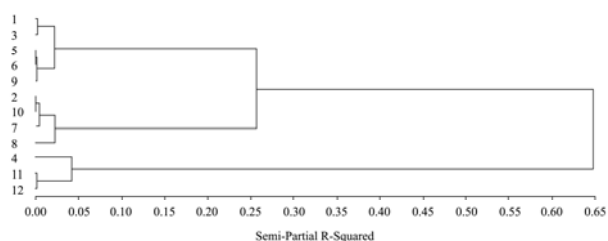


图1 小麦胚芽样品脂肪含量聚类图

Fig.1 Clusters of wheat germ samples based on the nutritional quality of fat

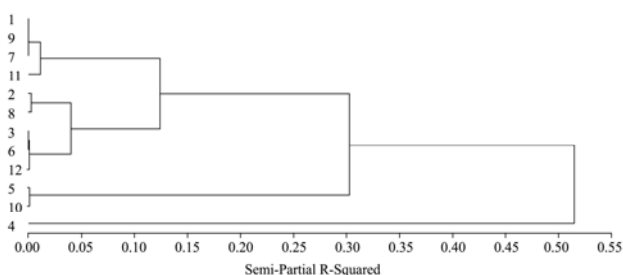


图2 小麦胚芽样品蛋白质含量聚类图

Fig.2 Clusters of wheat germ samples based on the nutritional quality of protein

以脂肪含量为指标,树形图(图1)结果表明,距离0.15时样品被分为3类,其中脂肪含量最高的2-山东德州(永乐)、10-内蒙古巴彦淖尔(恒丰)、7-陕西宝鸡(老牛)、8-安徽宿州(皖王)4个样品聚为一类,其脂肪含量的变幅为10.65~11.52%,平均为11.02%,将其定为高脂肪含量小麦胚芽样品。4-河北邯郸(五得利)、11-江苏泰州(三零)、12-黑龙江哈尔滨(北大荒)聚为一类,其脂肪含量变幅为7.56~8.84%。平均为8.34%,将这3个样品定为低脂肪含量的小麦胚芽。

以蛋白质含量为指标,从树形图(图2)可知,在距离0.15时样品被分为3类,蛋白质含量最高的5-河北唐山(三达)、10-内蒙古巴彦淖尔(恒丰)聚为一类,为高蛋白含量样品,分别为 $32.01\pm 0.09\%$ 和 $32.18\pm 0.00\%$,平均为32.10%,而4-河北邯郸(五得利)为低蛋白含量样品,含量为 $25.58\pm 0.12\%$ 。

另外基于对12个小麦胚芽样品的重金属残留、真菌毒素、微生物等卫生状况的分析,1号、3号、5号、10号及12号样品卫生指标良好。由此筛选出脂肪、

蛋白含量相对较高的样品为3号、5号和10号,进行后期开发应用。而12号为脂肪含量相对较低,蛋白含量相对较高的样品。

3 结论

3.1 不同来源的小麦胚芽样品在营养组成上均有大小不等的差异性。总淀粉变异系数最大(CV:19.83%),其次是总糖(CV:14.72%),粗蛋白含量的差异最小(CV:5.76%)。样品中总糖的含量居于营养成分的首位,平均值32.75%,其次含量较高的为粗蛋白,平均值29.64%,含量较低的为灰分,平均值为5.12%。2号、8号和10号样品的粗蛋白和粗脂肪含量较高。

3.2 小麦胚芽含有丰富的脂肪酸,尤其是不饱和脂肪酸的亚油酸,含量高达60%左右,且不同来源样品间没有显著差异(CV:1.04%)。含量较低的为棕榈油酸和硬脂酸,平均值分别为0.23%和0.93%,且其不同样品之间均有显著差异(CV:17.95%和CV:13.85%)。不同样品的不同氨基酸变异程度不同,变异系数最大的为蛋氨酸(CV:20.29%),最小的为脯氨酸(CV:3.81%)。小麦胚芽谷氨酸含量最多,为4.32%,并且含有人体所需要的8种必需氨基酸,其中第一限制性氨基酸-赖氨酸平均含量为1.85%。

3.3 本试验样品重金属均未超标,农药残留未检出。12个样品的微生物污染状况为:菌落总数和霉菌含量有不同程度的差异,大肠杆菌均 <3.0 MPN/g。真菌毒素黄曲霉毒素 B_1 和脱氧雪腐镰刀菌烯醇均未检出。

3.4 通过聚类分析结合卫生状况,从未来开发小麦胚芽为营养保健食品角度考虑,3号、5号和10号样品为优势原料。从麦胚储藏稳定性,延长货架期角度考虑,12号样品为优势原料。

参考文献

- [1] GE Yi-qiang, SUN Ai-dong, NI Yang-ying, et al. Some Nutritional and Functional Properties of De-fatted Wheat Germ Protein [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2000, 48(12): 6215-6218
- [2] 袁超,吴豪,刘欣.小麦胚芽稳定化和功能性成分提取[J].粮食与油脂,2011,5:1-3
YUAN C, WU H, LIU X. Stabilization and Functional Components Extraction of Wheat Germ [J]. Cereals and Oils, 2011, 5: 1-3
- [3] Rizzillo C G, Nionelli L, Coda R, et al. Use of Sourdough Fermented Wheat Germ for Enhancing the Nutritional, Texture and Sensory Characteristics of the White Bread [J]. European Food Research Technology, 2010, 230(4): 645-654

- [4] Brandolini A, Hidalgo A. Wheat Germ: Not Only a By-product [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 63(1): 71-74
- [5] XU Bin, ZHOU Shi-long, MIAO Wen-Juan, et al. Study on the Stabilization Effect of Continuous Microwave on Wheat Germ [J]. *Journal of Food Technology*, 2013, 117(1): 1-7
- [6] 翟爱华. 麦胚成分及营养价值和功能性[J]. *食品研究与开发*, 2004, 25(2): 6-8
ZHAI A H. Composition and Nutritive Value and Function of Wheat Germ [J]. *Food Research and Development*, 2004. 25(2): 6-8
- [7] 范传颖, 陶正明, 吴志刚. 苯酚硫酸法与蒽酮硫酸法测定铁皮石斛中多糖含量的比较[J]. *浙江农业科学*, 2013, 7: 799-801
FAN Chuan-ying, TAO Zheng-ming, WU Zhi-gang. Comparison of Methods in Determination of Polysaccharides in *Dendrobium Officinale* [J]. *Journal of Zhe Jiang Agricultural Sciences*, 2013, 7: 799-801
- [8] 朱功良, 周伟国, 黎曙光, 等. 长林系列品种油茶籽含油率和脂肪酸组成分析研究[J]. *湖北林业科技*, 2013, 42(4): 21-23
ZHU G L, ZHOU Wei G, LI S G, et al. Research on Oil Contents and Fatty Acid Composition of Different Changlin Varieties of *Camellia Oleifera* Seeds [J]. *HuBei Forestry Science and Technology*, 2013, 42(4): 21-23
- [9] Brown M J, Willis T, Omalu B, et al. Deaths Resulting From Hypocalcemia after Administration of Edetate Disodium: 2003- 2005 [J]. *Pediatrics*, 2006, 118(2): 534-536
- [10] 张志平. n-3 多不饱和脂肪酸通过 AA 代谢通路促进骨折愈合[D]. 广州: 南方医科大学, 2012
ZHANG Z P. n-3 Polyunsaturated Fatty Acids Promote Fracture Healing through Arachidonic Acid Arachidonic Acid Metabolism Pathwa [D]. Guang Zhou: Southen Medical University, 2012
- [11] 徐斌, 苗文娟, 董英, 等. 中国小麦胚芽资源分布及深加工相关品质[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 244-248
XU B, MIAO W J, DONG Y, et al. Resource Distribution and Processing Quality of Commercial Wheat Germ in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(2): 244-248
- [12] Rizzillo C G, Nionelli L, Coda R, et al. Effect of Sourdough Fermentation on Stabilisation, and Chemical and Nutritional Characteristics of Wheat Germ [J]. *Food Chemistry*, 2010, 1079-1089
- [13] Laca A, Mousia Z, Díaz M, et al. Pandiella Distribution of Microbial Contamination within Cereal Grains [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 72(4): 332-338