

4种不同产地黑豆营养成分及花青素含量的分析与评价

王舒璇¹, 王若琼¹, 张裕¹, 张涛², 王大凤², 初子入¹, 王欣^{1*}, 吕欣^{1*}

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

(2. 陕西大凤良品贸易有限公司, 陕西西安 710000)

摘要: 该研究以来自辽宁朝阳、山东临沂、黑龙江哈尔滨、陕西延川的黑豆(HD1、HD2、HD3、HD4)为原料, 采用直接干燥法、灼烧法、凯氏定氮法等多种营养成分测定方法, 结合氨基酸评分(Amino Acid Score)和化学评分(Chemical Score)分析了不同黑豆样品的水分、灰分、总蛋白、粗脂肪、还原糖、粗纤维、氨基酸组成、脂肪酸组成及花青素含量。结果表明四种黑豆原料的营养组成类似, 总蛋白含量最高, 还原糖含量最低, 单一营养素含量差异明显, HD4可溶性蛋白含量最高, HD2粗脂肪含量最高, 分别适合蛋白类及油脂类产品的开发; 四种黑豆均检测出16种氨基酸, 必需氨基酸含量丰富, 占总氨基酸含量的37%~38%, 蛋氨酸和苏氨酸是四种黑豆原料中的限制性氨基酸, 在产品的开发过程中, 需要通过营养强化或原料搭配保证产品的营养品质; 四种黑豆均检测出5种脂肪酸, 饱和脂肪酸含量达85.62%~87.1%, 花青素含量为2.14%~2.26%, 适于作为功能食品原料进行开发。研究结果为黑豆加工、功能成分的提取及相关产品的开发提供参考依据。

关键词: 黑豆; 营养成分; 花青素含量; 评价

文章编号: 1673-9078(2023)03-156-163

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.3.0300

Nutritional Components and Anthocyanidin Content of Black Soybeans from Different Producing Areas in China

WANG Shuxuan¹, WANG Ruoqiong¹, ZHANG Yu¹, ZHANG Tao², WANG Dafeng², CHU Ziru¹, WANG Xin^{1*}, LYU Xin^{1*}

(1.College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

(2.Shaanxi DafengLiangpin Trading Co. Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: The different black beans from Chaoyang, Liaoning Province (HD1), Linyi, Shandong Province (HD2), Harbin, Heilongjiang Province (HD3), and Yanchuan, Shaanxi Province (HD4) were used as raw materials. Various nutritional components were determined by the direct drying method, ignition method, and Kjeldahl method. The moisture, ash, total protein, crude fat, reducing sugar, crude fiber, amino acid composition, fatty acid composition, and anthocyanin content of the different samples were analyzed by combining the amino acid and chemical scores. The results showed that the nutritional composition of the four types of black soybean was similar; total protein was proportionally the greatest component and reducing sugar the lowest. However, there were clear differences between the sample groups in terms of content of individual nutrients. Soluble protein content was greatest in the HD4 group, and HD2 showed the highest level of crude fat, suggesting that black soybean from these two growing areas are the most suitable for the development of protein and oil products, respectively. Altogether, 16 types of amino acids were detected in the samples from the four groups; essential amino acids were the most abundant (37%~38% of total amino acid content).

引文格式:

王舒璇,王若琼,张裕,等.4种不同产地黑豆营养成分及花青素含量的分析与评价[J].现代食品科技,2023,39(3):156-163.

WANG Shuxuan, WANG Ruoqiong, ZHANG Yu, et al. Nutritional components and anthocyanidin content of black soybeans from different producing areas in China [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 156-163.

收稿日期: 2022-03-17

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(32001652)

作者简介: 王舒璇(1998-),女,本科,研究生方向:食品营养与健康, E-mail: 13759824368@163.com; 共同第一作者: 王若琼(1999-),女,本科,研究生方向:食品加工, E-mail: 2105300850@qq.com

通讯作者: 王欣(1988-),男,博士,副教授,研究方向:功能食品开发及加工, E-mail: wangxin_2018@nwsuaf.edu.cn; 共同通讯作者: 吕欣(1975-),男,博士,教授,研究方向:食品发酵工程, E-mail: xinlu@nwsuaf.edu.cn

content). Methionine and threonine are the limiting amino acids, requiring nutrition fortification or raw material matching to guarantee the nutritional quality during the process of product development. Five fatty acids were detected in the four groups, and the unsaturated fatty acid content reached 85.62%~87.1%. The anthocyanidin content, which was found to range from 2.14% to 2.26%, indicates that these black soybeans are optimal raw material for the development of functional (nutritional) foods. These results provide a reference for further refinement of processing methods for black soybeans, with the goal of extracting functional components for the development of useful products.

Key words: black soybean; nutritional component; anthocyanidin content; evaluation

黑豆 (*Glycine max* (L.) Merr.) 又名“乌豆”、“黑大豆”，为豆科大豆属植物的干燥成熟种子，蛋白含量丰富，是一种药食两用的豆类，全国均有产地分布，主要产区集中在东北^[1]、河北、山西和陕西等地^[2]。《本草纲目》记载：“药黑豆有补肾养血、清热解毒、活血化瘀、乌发明目、延年益寿功效”。现代研究表明，黑豆具有抗氧化、降血压^[3]、抗肿瘤、抗炎等作用^[4]。

黑豆因其具有多种药理作用而受到了研究者的广泛关注。Yamamoto 等^[5]的研究表明黑豆具有很强的抗氧化活性，黑豆多酚对 3 种 NAFLD/NASH 动物模型均表现出一定的预防作用。赵屹等^[6]以肝细胞系 HL-7702 为模型，考察黑豆多糖对肝细胞中活性氧的清除作用，结果显示黑豆多糖能有效降低 H₂O₂ 诱导的活性氧水平。胡懿化等^[7]从黑豆中分离出两种蛋白 HDJS2 和 HDJS5-2，二者均能促进脾淋巴细胞增殖。Tanaka 等^[8]评估了每日摄入黑豆种皮提取物对载脂蛋白 E 缺陷型小鼠的影响，结果表明膳食干预可影响小鼠血液及肝脏中胆固醇和甘油三酯的水平，起到预防血脂异常的作用。Moriyasu 等^[9]以黑豆种皮粉喂养肥胖模型小鼠，实验结果显示黑豆种皮粉可明显抑制小鼠体重增加及白色脂肪组织重量的增加，并显著降低与内脏脂肪相关的血清瘦素水平。Domae 等^[10]的研究表明黑豆种皮提取物可通过促进 NO 的产生改善血管功能。黑豆因种皮颜色深于其他豆类而含有更多的花青素^[11]，已成为花青素的主要获取途径之一。Chen 等^[12]的研究表明黑豆种皮提取物中的花青素以矢车菊素-3-O-葡萄糖苷为主要成分，在体外和高脂饮食诱导的小鼠体内均表现出有效的降血糖和降血脂作用。此外，黑豆花青素还具有明显的抗肥胖^[13]、抗炎及抗癌作用^[14]，能够抑制炎症相关基因的表达^[15]，可提高氧化应激暴露的胶质细胞的存活率^[16]。

虽然黑豆具有良好的生物活性，但药理作用的发挥还需要以物质为基础，活性成分的功能与营养物质的含量息息相关。近年来，许多报道揭示了同一地区不同豆类的营养成分差异性，以及同一地区不同种类黑豆的营养成分的差异，但鲜有将不同地区黑豆一同进行比较分析。因此，本研究以不同产地的黑豆为原料，对其基础营养成分（还原糖、粗纤维、粗脂肪、

总蛋白、灰分和水份）、氨基酸组成、脂肪酸组成及花青素含量进行分析评价，以期黑豆及其功能性成分的综合开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源

选取自带包装、成熟干燥且来自不同产地的黑豆 4 种，于 23 ℃ 储藏。黑豆样品编号及产地如表 1 所示。取表皮完整、颗粒圆润、成色良好的黑豆样品粉碎后过 50 目筛，备用。

表 1 黑豆样品信息

Table 1 Samples information of black soybeans

序号	样品编号	样品产地
1	HD1	辽宁朝阳
2	HD2	山东临沂
3	HD3	黑龙江哈尔滨
4	HD4	陕西延川

1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；马弗炉，Nabertherm 公司；TU-1901 双光束紫外可见分光光度计，北京普析通用仪器有限公司；LDP-1000A 型高速多功能粉碎机，浙江永康市红太阳机电有限公司；TG1650-WS 台式高速离心机，上海卢湘仪离心机仪器有限公司；Chromaster Ultra Rs 日立超高效液相色谱仪，日立高新技术公司；KH-400KDE 型高功率数控超声波清洗机，昆山禾创超声仪器有限公司；SCINOST310 索氏抽提仪，FOSS 公司；S433D 氨基酸分析仪，Sykam 公司；HH-S 数显恒温水浴锅，天津赛得利斯实验分析仪器制造厂。

1.3 基础营养成分测定

水分含量测定：直接干燥法，参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》；灰分含量测定：灼烧法，参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》；总蛋白含量测定：凯氏定氮法，参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》；粗脂肪含量测定：索氏抽提法，参照 GB

5009.6-2016《食品中脂肪的测定》；还原糖含量测定：3,5-二硝基水杨酸法^[17]；粗纤维含量测定：减重法^[18]。

1.4 营养品质分析评价

1.4.1 蛋白质分析评价

可溶性蛋白含量测定方法：考马斯亮蓝法^[19]。称取 1.0 g 样品粉末置于离心管中，加入 20 mL 蒸馏水，超声（30 min，4 000 r/min），离心取上清液置于 50 mL 容量瓶中。沉淀加入 10 mL 蒸馏水离心，合并上清加水定容得蛋白提取液。取 1 mL 蛋白提取液放入试管，加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液，混匀后室温静置 2 min，在 595 nm 波长处测定吸光度。以 0.1 mg/mL 牛血清蛋白配置标准溶液。

氨基酸组成分析：氨基酸分析仪法，参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》。试样水解：精确称取一定量样品于水解管中，加入 HCl（10 mL，6.0 mol/L），抽真空（接近 0 Pa），充氮气，重复 3 次后将水解管封口，水解（110 °C，22 h）、冷却、过滤，取滤液 2 mL 于比色管中，水浴（60 °C，10 min），减压干燥，加入适量 HCl（0.02 mol/L），静置 30 min，得待测液。试样测定：使用混合氨基酸标准工作液注入氨基酸自动分析仪，参照 JJG1064-2011 氨基酸分析仪检定规程及仪器说明书，测定 570 nm 和 440 nm 波长处吸光度。

氨基酸营养评价分析：根据 1973 年联合国粮农组织和世界卫生组织（FAO/WHO）建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋的氨基酸模式基准，按照以下公式分别计算四种黑豆各自蛋白质的氨基酸评分（Amino Acid Score, AAS）、化学评分（Chemical Score, CS）^[20]，和必需氨基酸指数（Essential Amino Acid Index, EAAI）^[21]。

$$AAS = \frac{C_S}{C_{FAO/WHO}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{C_S}{C_{Egg}} \quad (2)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{A_S \times B_S \times \dots \times G_S}{A_{Egg} \times B_{Egg} \times \dots \times G_{Egg}}} \quad (3)$$

式中：

C_S ——样品蛋白质中氨基酸含量，mg/g N；

$C_{FAO/WHO}$ ——FAO/WHO 评分标准模式中相应必需氨基酸含量，mg/g N；

C_{Egg} ——鸡蛋相应必需氨基酸含量，mg/g N；

n ——比较的氨基酸数；

A_S, B_S, \dots, G_S ——样品蛋白质中必需氨基酸含量，mg/g N；

$A_{Egg}, B_{Egg}, \dots, G_{Egg}$ ——鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量，mg/g N；

N ——蛋白质含量，以蛋白氮计算。

1.4.2 脂肪酸含量测定

脂肪酸组成参照 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》，采用归一化法。取 30~100 mg（约 2~6 滴）油脂置于 10 mL 容量瓶内，加入 1~2 mL 石油醚和苯的混合溶剂，轻轻摇动使油脂溶解。加入 1~2 mL 氢氧化钾-甲醇溶液（0.4 mol/L）混匀。室温静置 5~10 min 后，加蒸馏水使全部油相升至瓶颈上部，放置待澄清。吸取上清液，室温下吸入氮气浓缩，所得浓缩液用于气相色谱分析。

a) 色谱柱：毛细管色谱柱 HP-INNOWax（30 m×0.25 mm，ID×0.25 μm）。

b) 升温程序：初始温度：150 °C，持续 2 min；150 °C~235 °C，升温速率 8 °C/min，保持 10.6 min；235 °C，保持 15 min。

c) 载气：氮气。

d) 进样体积：1.0 μL。

e) 进样口温度：230 °C；检测器温度：250 °C。

f) 分流比：80:1。

1.4.3 花青素含量测定

采用比色法测定花青素含量。选取较为完整优质的黑豆种皮，研磨后过 50 目筛。精确称取 1 g，按料液比 1:60 加入 $\varphi=70\%$ 乙醇溶液，用 2 mol/L 的盐酸溶液调 pH 值至 1.0。50 °C 下超声提取 30 min，定容于 250 mL 容量瓶，取 1 mL 测定 530 nm 波长处吸光值^[22]。花青素含量计算公式如下所示：

$$A = \frac{C \times v \times M}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

A ——花青素含量，%（ m/m ）；

C ——标准曲线上吸光度所对应的质量浓度，mg/mL；

v ——样品体积，mL；

M ——稀释倍数；

m ——样品质量，mg。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 数据分析工具对实验数据进行分析处理，并采用 Origin 软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 黑豆样品外观描述分析

四种黑豆样品外观见图 1。

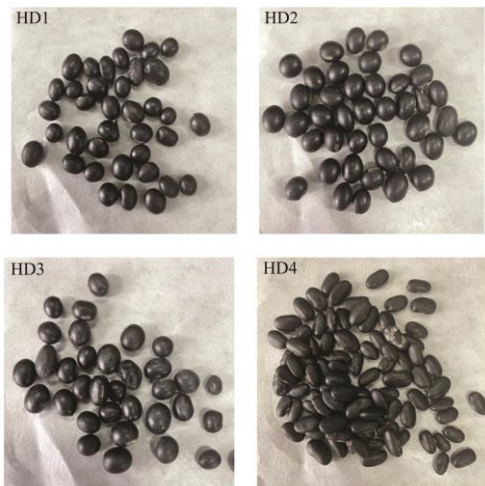


图1 黑豆样品外观

Fig.1 Appearance of black soybean samples

由图1可知四种黑豆籽粒均黑亮、饱满、大小较均匀、品质较好。杨卫民^[23]的研究表明,外形饱满黑亮的种子具有较高的生物活性物质含量,因此推测四种黑豆样品具备进行深度开发的潜质。与此同时,陕西延川黑豆(HD4)呈现出扁平的肾形外观,与其余三种黑豆的椭圆形籽粒外观相比,差异较大。

2.2 基础营养成分含量分析比较

四种黑豆基础营养成分含量的测定结果见图2。

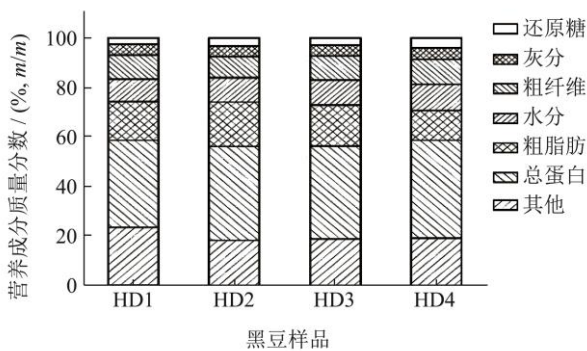


图2 黑豆的基础营养成分含量

Fig.2 Basic nutrient content in the black soybeans

由图2可知,四种黑豆样品的基础营养成分组成相似,总蛋白含量最高,占总成分的35.09%~39.50%,其次是粗脂肪,占12.10%~17.93%,粗纤维(9.55%)与水分(9.91%)含量次之,灰分含量占4.30%~4.61%,还原糖含量最少,占2.45%~3.89%。研究检测结果与刘柏林等^[24]测定的安徽黑豆营养成分比例相近,但蛋白含量略低于陕北小粒黑豆(41.29%)^[25],表明不同地区黑豆营养成分的构成比例大体一致,但各营养素的含量存在一定差异。与此同时,分析数据表明,陕西延川黑豆(HD4)的水分、灰分、总蛋白、粗纤维和还原糖的含量均高于其余三种黑豆,而粗脂肪含量

小于其余三种黑豆,这其中山东临沂黑豆(HD2)的粗脂肪含量最高(17.93%),约是HD4的1.48倍。因此,陕西延川黑豆更适于以蛋白及粗纤维为产品开发目标的原料,也更为符合当代膳食中“减油减脂”的消费需求。朱怡霖等^[26]测定了18种大豆的总脂肪含量,结果表明陕西榆林地区大豆总脂肪含量低于东北地区和山西地区大豆的总脂肪含量,这也暗示豆类作物的营养组成与地域密切相关,而陕西北部地区的豆类,如黑豆、大豆等的总脂肪含量偏低,更适于蛋白类产品的开发利用。

2.3 蛋白质分析评价

2.3.1 可溶性蛋白含量及氨基酸组成分析

四种黑豆的可溶性蛋白含量见图3,氨基酸组成见表2。

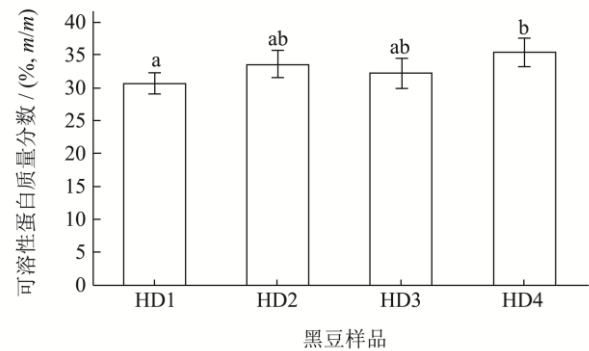


图3 黑豆可溶性蛋白含量

Fig.3 Soluble protein content of black soybeans

注:柱状图上方不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由图3可知,HD1与HD4在可溶性蛋白含量上存在显著差异($P < 0.05$),此外,四种黑豆的可溶性蛋白质量分数由高到低依次是:HD4(35.33%)、HD2(33.58%)、HD3(32.17%)、HD1(30.77%),其含量差异与四种黑豆总蛋白测定结果一致,进而表明延川黑豆在总蛋白及可溶性蛋白含量上都要优于其它三种原料。由表2可知,四种黑豆样品氨基酸总量(TAA)由高到低依次为:HD4(36.96%)、HD2(36.15%)、HD3(35.47%)、HD1(34.98%),这与四种黑豆的蛋白质含量检测结果顺序基本一致。从氨基酸组成看,四种黑豆样品均检测出16种氨基酸,其中必需氨基酸7种,不含色氨酸,非必需氨基酸9种,且各氨基酸占比相近。在检出的16种氨基酸中,谷氨酸含量最高,均值为6.23 g/100 g,天冬氨酸(4.37 g/100 g)、丙氨酸(4.06 g/100 g)次之,蛋氨酸含量最低,均值为0.11 g/100 g,与惠君玉等^[27]结果一致。根据FAO/WHO的标准,优质蛋白质的必需氨基酸含量与总氨基酸含量之比(EAA/TAA)应达到0.4,必需氨基酸与非必需

需氨基酸之比 (EAA/NEAA) 应达到 0.6。HD2、HD3 和 HD4 的 EAA/TAA 均为 0.37, HD1 的 EAA/TAA 为 0.38, 四种黑豆均未达到 0.4, 这主要与氨基酸组成中必需氨基酸色氨酸含量未测定有关^[26], 研究表明, 黑豆中色氨酸含量可达 54.17 mg/g N, 远高于 FAO/WHO 标准模式中色氨酸的含量 (10 mg/g N)^[24], 所以四种

黑豆的 EAA/TAA 可能会高于 0.4。进一步分析发现, 除 HD1 的 EAA/NEAA 为 0.62 外, 其余三种黑豆的 EAA/NEAA 为 0.58~0.59, 接近 0.6, 因此总体来看, 四种黑豆均属于优质的蛋白质资源, 在产品开发过程中可以强化补充蛋氨酸以提高产品的营养特性。

表 2 黑豆氨基酸组成分析 (g/100 g)

氨基酸	HD1	HD2	HD3	HD4
天冬氨酸 (Asp)	4.32±0.12	4.39±0.05	4.32±0.02	4.37±0.07
苏氨酸* (Thr)	0.78±0.00	0.77±0.04	0.77±0.02	0.83±0.04
丝氨酸 (Ser)	1.16±0.04	1.16±0.06	1.33±0.05	1.24±0.04
谷氨酸 (Glu)	5.90±0.15	6.23±0.18	6.56±0.19	6.24±0.11
脯氨酸 (Pro)	1.18±0.01	1.25±0.04	1.27±0.01	1.25±0.02
甘氨酸 (Gly)	1.36±0.04	1.37±0.07	1.25±0.04	1.43±0.06
丙氨酸 (Ala)	3.92±0.12	4.12±0.03	3.81±0.06	4.37±0.08
缬氨酸* (Val)	2.15±0.05	2.15±0.06	2.00±0.06	2.16±0.02
蛋氨酸* (Met)	0.12±0.01	0.11±0.00	0.11±0.01	0.10±0.00
异亮氨酸* (Ile)	1.46±0.01	1.51±0.03	1.48±0.13	1.50±0.00
亮氨酸* (Leu)	3.17±0.04	3.20±0.07	3.15±0.18	3.10±0.11
酪氨酸* (Tyr)	1.04±0.00	1.04±0.01	1.02±0.06	1.00±0.03
苯丙氨酸* (Phe)	1.94±0.01	1.99±0.04	1.85±0.00	1.95±0.04
组氨酸 (His)	1.23±0.01	1.23±0.05	1.18±0.02	1.23±0.02
赖氨酸* (Lys)	2.74±0.07	2.70±0.02	2.67±0.01	2.87±0.07
精氨酸 (Arg)	2.51±0.03	2.93±0.04	2.70±0.05	3.32±0.22
TAA	34.96±0.31	36.15±0.78	35.48±0.28	36.95±0.11
EAA	13.38±0.06	13.46±0.26	13.06±0.33	13.51±0.03
NEAA	21.57±0.25	22.69±0.52	22.42±0.05	23.44±0.14
EAA/NEAA	0.62±0.00	0.59±0.00	0.58±0.02	0.58±0.00
EAA/TAA	0.38±0.00	0.37±0.00	0.37±0.01	0.37±0.00

注: *为必需氨基酸。

2.3.2 氨基酸组成营养评价

四种黑豆必需氨基酸含量如表 3 所示, 氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 和必需氨基酸指数如表 4 所示。

氨基酸模式用于反应人体蛋白质及各种食物蛋白质在必需氨基酸的种类和数量上的差异, 食物蛋白质模式与人体蛋白质模式越接近, 必需氨基酸被机体利用程度就越高, 食物蛋白质的营养价值也就越高。HD1 (381.88 mg/g N)、HD2 (355.03 mg/g N) 必需氨基酸总含量高于 FAO/WHO 标准 (350.0 mg/g N), 而 HD3 (348.65 mg/g N)、HD4 (342.03 mg/g N) 必需氨基酸总含量低于 FAO/WHO 标准, 四种黑豆必需氨基酸总量均低于全鸡蛋蛋白质模式。从单个氨基酸含量看, 四种黑豆除苏氨酸、蛋氨酸及异亮氨酸含量低于

FAO/WHO 标准外, 其余氨基酸含量均高出 FAO/WHO 模式, 可知四种黑豆的第一、第二限制性氨基酸分别为蛋氨酸、苏氨酸。以全鸡蛋蛋白质模式为标准时, 四种黑豆除 HD1 的亮氨酸外, 均只有赖氨酸含量超过全鸡蛋蛋白质模式, 可见赖氨酸为黑豆中的优势氨基酸。

AAS 和 CS 用于评价某种氨基酸与模式蛋白质的贴近程度。以 AAS 为评价标准时, 四种黑豆的蛋氨酸 (0.08~0.10) 和苏氨酸 (0.51~0.56) 评分低于 1, 二者为黑豆原料中的限制性氨基酸, 异亮氨酸评分除 HD1 高于 1 外, 其余三种黑豆评分 (0.95~0.99) 接近 1, 剩余氨基酸评分均高于 1, 其中赖氨酸的评分最高 (1.29~1.42), 高于聂刚等^[25]测定的陕北小粒黑豆的赖氨酸评分 (0.92~0.97)。以 CS 作为评价标准时, 四

种黑豆只有赖氨酸评分(1.02~1.12)均高于1,除HD1的亮氨酸评分高于1外,其余氨基酸评分均低于1,蛋氨酸和苏氨酸仍为四种黑豆的第一限制氨基酸和第二限制氨基酸。EAAI用于反映蛋白的所有必需氨基酸组成与全鸡蛋蛋白模式中必需氨基酸组成的接近程度,EAAI越接近1,营养价值越高。以EAAI为评价标准时,指数从高到低依次为HD1(0.61)、HD2(0.56)、HD3(0.56)、HD4(0.54),表明四种黑豆中HD1的营养价值最高,HD2与HD3次之,HD4营养价值最低。

表3 黑豆必需氨基酸含量(mg/g N)

必需氨基酸	HD1	HD2	HD3	HD4	FAO/WHO 标准模式	全鸡蛋蛋白质
苏氨酸	22.23	20.30	20.57	21.01	40	47
缬氨酸	61.27	56.67	53.43	54.68	50	66
蛋氨酸	3.42	2.90	2.94	2.53	35	37
异亮氨酸	41.61	39.80	39.54	37.97	40	54
亮氨酸	90.34	84.34	84.16	78.48	70	86
苯丙氨酸+酪氨酸	84.92	79.86	76.68	74.68	60	93
赖氨酸	78.08	71.16	71.33	72.66	55	70
总含量	381.88	355.03	348.65	342.03	350	453

表4 黑豆氨基酸评分、化学评分和必需氨基酸指数

必需氨基酸	氨基酸评分				化学评分			
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD1	HD2	HD3	HD4
苏氨酸	0.56	0.51	0.51	0.53	0.47	0.43	0.44	0.45
缬氨酸	1.23	1.13	1.07	1.09	0.93	0.86	0.81	0.83
蛋氨酸	0.10	0.08	0.08	0.07	0.09	0.08	0.08	0.07
异亮氨酸	1.04	0.99	0.99	0.95	0.77	0.74	0.73	0.70
亮氨酸	1.29	1.20	1.20	1.12	1.05	0.98	0.98	0.91
苯丙氨酸+酪氨酸	1.42	1.33	1.28	1.24	0.91	0.86	0.82	0.80
赖氨酸	1.42	1.29	1.30	1.32	1.12	1.02	1.02	1.04
EAAI	61.55	56.48	55.85	54.10				

2.4 脂肪酸组成分析评价

四种黑豆的脂肪酸组成分析结果如图4所示。

由图4可知,四种黑豆均检测出5种主要脂肪酸,包括棕榈酸和硬脂酸两种饱和脂肪酸,油酸、亚油酸和亚麻酸3种不饱和脂肪酸。5种脂肪酸含量由高到低依次为:亚油酸(51.1%~59.0%)、油酸(13.4%~26.9%)、亚麻酸(7.62%~14.7%)、棕榈酸(10%~10.4%)、硬脂酸(2.83%~4.06%),主要成分为油酸及亚油酸,同杨亚琴等^[28]的测定结果一致。不饱和脂肪酸是人体不可缺少的脂肪酸,有助于心脑血管等疾病的预防,四种黑豆不饱和脂肪酸含量达85.62%~87.1%,具有很高的营养价值^[29]。四种黑豆的脂肪酸

但本研究测定的EAAI值相比刘柏林等^[24]所测定的黑豆EAAI值(0.86~0.95)普遍偏低,可能是由于样品中色氨酸含量未测定,进而导致原料的氨基酸营养评价较低。综合AAS、CS和EAAI的评分结果,蛋氨酸和苏氨酸是四种黑豆原料中的限制性氨基酸,因此,从营养学的角度出发,在产品的开发过程中,需要通过营养强化或原料搭配保证产品的营养品质。赖氨酸作为四种黑豆原料中的优势氨基酸,在利用过程中可注意与其余营养素协同以更好发挥功能。

含量差异主要表现为油酸与亚麻酸含量的差异。HD2所含油酸高于其他三种黑豆,含量达26.9%,而亚麻酸含量低于其他三种黑豆,含量为7.62%。HD1和HD3的油酸与亚麻酸含量接近,而HD4所含油酸含量低于其他三种黑豆,含量为13.4%,亚麻酸含量高于其他三种黑豆,含量达14.7%。据Sanjeev等^[30]的研究,黑豆中油酸与亚麻酸的含量呈显著负相关,这与本研究呈现结果一致,但亚麻酸不稳定,易氧化变质,因此相较于其它三种黑豆,HD4原料贮存过程中要强化防氧化处理。有研究者结合大豆两个油脂相关基因设计分子标记以筛选出高油酸和低亚麻酸的大豆种质^[31],因油酸可降低血液中胆固醇并软化动脉血管,故提高豆类的油酸含量并降低亚麻酸含量已成为

豆类品质育种的目标。因此本研究的四种黑豆中,HD2的脂肪酸含量配比更符合人们对豆类品质的要求,可作为以油脂为开发目标的产品生产原料。

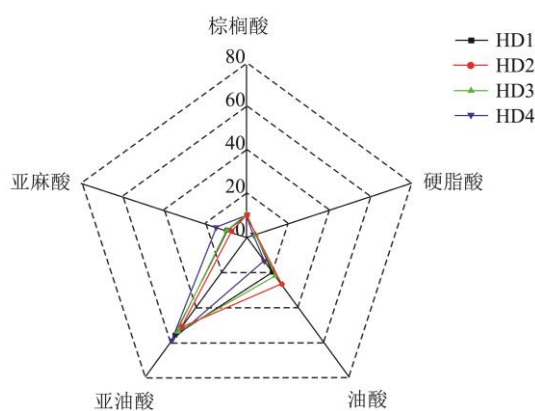


图4 黑豆脂肪酸组成

Fig.4 Fatty acid content of the black soybeans

2.5 花青素含量分析评价

四种黑豆的花青素含量测定结果如图5所示。

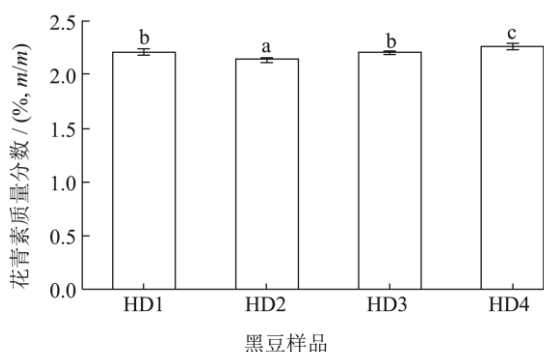


图5 黑豆花青素含量

Fig.5 Anthocyanidin content of black soybeans

注:柱状图上方不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

测定结果表明四种黑豆的花青素质量分数在2.14%~2.26%之间,Zhang等^[32]对60种中国地区黑豆种皮花青素进行鉴定,含量为98.8~2132.5 mg/100 g,与本研究测定结果相比略低。而张泽生等^[33]测定的山东、湖北、东北、内蒙古等不同地区的黑豆皮花青素含量(3.61%~5.59%)均高于本研究测定结果,表明黑豆种皮花青素含量存在地域差异,同时也受到提取方法的影响。四种黑豆花青素含量由高到低依次是HD4(2.26%)、HD1(2.22%)、HD3(2.20%)、HD2(2.14%),HD1与HD3的花青素含量无显著差异,而二者同HD2及HD4在含量上存在显著差异($P < 0.05$)。花青素具有调节免疫、抗氧化等作用^[11],黑豆皮是花青素的丰富来源,除增加黑豆本身的功能特性外,还可对黑豆皮花青素进行提取并应用于食品、医药及美容护肤行业,拓宽黑豆相关产品的开发^[34]。

3 结论

四种黑豆样品基础营养成分组成相似,总蛋白含量最高,还原糖含量最低,其中HD4总蛋白含量及可溶性蛋白含量最高,优于其余三种黑豆,适于蛋白类产品的开发;四种黑豆均检测出16种氨基酸,综合AAS、CS和EAAI的评分结果,蛋氨酸及苏氨酸是四种黑豆原料的限制性氨基酸,产品开发过程中需通过营养强化或原料搭配保证产品的营养品质;四种黑豆不饱和脂肪酸含量高达85.62%~87.1%,具有很高的营养价值,HD2的脂肪酸配比更符合人们需求,适于作为以油脂为开发目标的生产原料;四种黑豆花青素含量为2.14%~2.26%,适于作为功能食品原料进行开发。

参考文献

- [1] 林王敏,翁倩倩,邓爱平,等.黑豆的本草考证[J].中国中药杂志,2020,45(18):4519-4527.
- [2] 刘秀玉,王利丽,左瑞庭,等.药用黑豆的研究进展[J].亚太传统医药,2017,13(20):82-85.
- [3] Jeong Eun Woo, Park Se Yeong, Yang Yun Sun, et al. Black soybean and adzuki bean extracts lower blood pressure by modulating the renin-angiotensin system in spontaneously hypertensive rats [J]. Foods, 2021, 10(7): 1571.
- [4] 徐飞,葛阳阳,刘新春,等.黑豆营养成分及生物活性的研究进展[J].中国食物与营养,2019,25(9):55-61.
- [5] Yamamoto Mio, Yoshioka Yasukiyo, Kitakaze Tomoya, et al. Preventive effects of black soybean polyphenols on non-alcoholic fatty liver disease in three different mouse models [J]. Food & Function, 2022(13): 1000-1014.
- [6] 赵屹,胡东艳,车雨晴,等.黑豆皮多糖的提取及对肝细胞的抗氧化性能研究[J].广东化工,2021,48(17):10-12.
- [7] 胡懿化,王星滢,张武霞,等.黑豆糖蛋白的结构分析及抗氧化和免疫活性[J].食品科学,2021,42(17):19-26.
- [8] Wataru Tanaka, Hiroki Matsuyama, Daigo Yokoyama, et al. Daily consumption of black soybean (*Glycine max* L.) seed coat polyphenols attenuates dyslipidemia in apolipoprotein E-deficient mice [J]. Journal of Functional Foods, 2020, 72: 104054.
- [9] Moriyasu Yuuki, Fukumoto Chiho, Wada Maki, et al. Validation of antiobesity effects of black soybean seed coat powder suitable as a food material: comparisons with conventional yellow soybean seed coat powder [J]. Foods, 2021, 10(4): 841.
- [10] Domae Chiaki, Nanba Fumio, Maruo Toshinari, et al. Black soybean seed coat polyphenols promote nitric oxide

- production in the aorta through glucagon-like peptide-1 secretion from the intestinal cells [J]. *Food & Function*, 2019, 10(12): 7875-7882.
- [11] Bhartiya Anuradha, Aditya JP, Pal RS, et al. Bhat (Black Soybean): A traditional legume with high nutritional and nutraceutical properties from NW Himalayan region of India [J]. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 2020, 19(2): 307-319.
- [12] Zhongqin Chen, Weiwei Li, Qingwen Guo, et al. Anthocyanins from dietary black soybean potentiate glucose uptake in L6 rat skeletal muscle cells via up-regulating phosphorylated Akt and GLUT4 [J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 52: 663-669.
- [13] Kun Young Park, Sun Hwa Kwon, In Sook Ahn, et al. Weight reduction and lipid lowering effects of black soybean anthocyanins in rats fed high fat diet [J]. *FASEB JOURNAL*, 2007, 21(6): A1080-A1080.
- [14] Mi Young Park, Jung Mi Kim, Jong Sang Kim, et al. Chemopreventive action of anthocyanin-rich black soybean fraction in *APC* (Min/+) intestinal polyposis model [J]. *Journal of cancer prevention*, 2015, 20(3): 193-201.
- [15] Konstantin Tsoyi, Hyeong Bin Park, Young Min Kim, et al. Anthocyanins from black soybean seed coats inhibit UVB-induced inflammatory cyclooxygenase-2 gene expression and PGE(2) production through regulation of the nuclear factor-kappa B and phosphatidylinositol 3-kinase/Akt pathway [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(19): 8969-8974.
- [16] Yong Kwan Kim, Hye Hyeon Yoon, Young Dae Lee, et al. Anthocyanin extracts from black soybean (*Glycine max* L.) protect human glial cells against oxygen-glucose deprivation by promoting autophagy [J]. *Biomolecules & Therapeutics*, 2012, 20(1): 68-74.
- [17] 高文军,李卫红,王喜明,等.3,5-二硝基水杨酸法测定蔓菁中还原糖和总糖含量[J].*中国药业*,2020,29(9):113-116.
- [18] 沈园,郭亚东,王淑红.植物类食品中粗纤维测定方法的改进[J].*中国卫生工程学*,2005,4:231-232.
- [19] 王伟,王洪伦,周昌范,等.考马斯亮蓝 G-250 染色法测定柠条锦鸡儿种子中可溶性蛋白含量[J].*氨基酸和生物资源*, 2011,33(3):74-76.
- [20] 周鹏程,张黎明,崔燕,等.红缘拟层孔菌子实体和发酵菌丝体营养成分比较分析[J].*食品科学*,2021,42(24):159-165.
- [21] 程小飞,宋锐,向劲,等.不同养殖模式和野生克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J].*现代食品科技*,2021,37(4): 87-95.
- [22] 姜慧,陈树俊,王亚东,等.超声波辅助提取黑豆花青素的工艺优化[J].*农产品加工*,2012,12:60-64.
- [23] 杨卫民.黑豆种质检验及生化质量指标的评价[J].*中国种业*, 2010,10:61-64.
- [24] 刘柏林,于雪荣,赵紫薇,等.7 种杂豆营养成分含量分析及营养评价[J].*安徽预防医学杂志*,2020,26(4):270-276.
- [25] 聂刚,刘朝霞,杜双奎,等.陕北小粒黑豆营养成分分析与评价[J].*营养学报*,2014,36(5):511-513.
- [26] 朱怡霖,张海生,杨淑芳,等.18 种大豆种子蛋白质、氨基酸和脂肪酸的组成成分分析[J].*中国油脂*,2017,42(1):144-148.
- [27] 惠君玉,熊江红,杨安树,等.不同豆类蛋白组成、结构和功能特性[J].*南昌大学学报(理科版)*,2020,44(6):562-569.
- [28] 杨亚琴,周其芳,刘进玺,等.气相色谱法测定食用豆中主要脂肪酸含量[J].*食品安全质量检测学报*,2017,8(2):574-578.
- [29] 雷雅坤,宋晓昆,关中波,等.大豆 5 种脂肪酸含量的早代选育[J].*华北农学报*,2017,32(S1):114-118.
- [30] Sanjeev Kumar Dhungana, Jeong Hyun Seo, Beom Kyu Kang, et al. Protein, Amino Acid, Oil, Fatty Acid, Sugar, Anthocyanin, Isoflavone, Lutein, and Antioxidant Variations in Colored Seed-Coated Soybeans [J]. *Plants-Basel*, 2021, 10(9).
- [31] 陆亮,贺建波,苗龙,等.大豆 *GmDGK7* 和 *GmTPR* 基因与油脂相关性状的关联分析[J].*大豆科学*,2015,34(6):938-944.
- [32] Ruifen Zhang, Fangxuan Zhang, Mingwei Zhang, et al. Phenolic composition and antioxidant activity in seed coats of 60 Chinese black soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties. *Journal of agricultural and food chemistry* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(11): 5935-5944.
- [33] 张泽生,林纪伟,王志平,等.比色法测定不同产地黑豆皮中花青素含量食品研究与开发[J].*食品研究与开发*,2012,33(5):143-145.
- [34] Chiraporn Inman, Nattaya Lourith and Mayuree Kanlayavattanakul. Alternative application approach on black bean: hair coloring product [J]. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2020, 7(1).