

基于主成分分析法的贵州芸豆品质评价

Quality evaluation of Guizhou kidney beans based on principal component analysis

王何柱¹ 朱 勇¹ 朱 怡² 何友勋³ 秦礼康¹ 梁亚丽¹

WANG He-zhu¹ ZHU Yong¹ ZHU Yi² HE You-xun³ QIN Li-kang¹ LIANG Ya-li¹

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省植保植检站, 贵州 贵阳 550001;

3. 毕节市农业科学研究所, 贵州 毕节 551700)

(1. School of Liquor & Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Plant Protection and Plant Quarantine Station of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China;

3. Bijie Institute of Agricultural Sciences, Bijie, Guizhou 551700, China)

摘要:以贵州 7 种芸豆为研究对象, 基于其主要营养成分进行主成分分析并评价其品质。结果表明: 芸豆中蛋白质含量为 19.11%~23.69%, 总膳食纤维含量为 23.09%~27.60%, 其中英国红的总膳食纤维含量最高; 7 种芸豆中含有丰富的 Ca、Mg、P、K, 其含量分别为 0.09%~0.20%, 0.19%~0.29%, 0.45%~0.61%, 1.48%~1.69%; 不同芸豆中谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸含量较其他氨基酸含量高, 分别为干重的 3.41%~4.61%, 2.52%~3.33%, 1.68%~2.28%。经主成分分析, 提取出 5 个主成分, 累积方差贡献率达 95.711%, 通过蛋白质、锰、氨基酸、脂肪、膳食纤维、钾、钠等主要因素解释了原有 18 个指标的信息, 经评价模型计算综合得分, 排名前 3 的品种依次为英国红、龙 12-2614、科芸 1 号。

关键词: 芸豆; 品质特性; 主成分分析

Abstract: Seven types of Guizhou kidney beans were used to evaluate their quality based on principal component analysis of main nutritional components. The results showed that the content of protein in kidney beans ranged from 19.11% to 23.69%. The total contents of the dietary fiber were found ranging from 23.09% to 27.60%, and those in British red bean were the highest. Seven kinds of kidney beans were rich in Ca, Mg, P, and K,

ranging from 0.09% to 0.20%, 0.19% to 0.29%, 0.45% to 0.61%, and 1.48% to 1.69%, respectively; The contents of glutamic acid, aspartic acid, and leucine in these kidney beans were higher than that of the other amino acids, which ranged from 3.41% to 4.61%, 2.52% to 3.33%, and 1.68% to 2.28% of their dry weights, respectively. After the principal component analyses, five principal components were extracted, and the cumulative variance contribution rate reached 95.711%. The information of the original 18 indicators was explained by the main factors such as protein, manganese, amino acid, fat, dietary fiber, potassium, and sodium. The comprehensive scores were calculated by the evaluation model, and the top three varieties were found to be British Red, Long 12-2614, and Ke Yun 1.

Keywords: kidney beans; quality characteristics; principal component analysis

芸豆又名菜豆, 豆科菜豆属 (*Phaseolus vulgaris* L.), 原产于南美洲, 中国于 16 世纪末开始种植栽培, 其豆荚和种子在亚洲国家被广泛食用^[1]。据统计^[2], 芸豆的种植面积在豆类中位居第二, 中国的西北、东北、华北和西南等地区均有种植。芸豆营养价值高, 含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质和膳食纤维等, 并且还是一种高钾、镁、钙, 低钠的豆类, 适宜高血脂、动脉硬化、心脏病等患者食用^[3-5]。张业辉等^[6]研究发现, 芸豆蛋白的凝胶最好, 易形成稳定的凝胶。芸豆中蛋氨酸和胱氨酸含量较低, 与禾谷类食品搭配食用时可提高其营养价值^[5]。马文鹏等^[7]研究表明, 芸豆蛋白是一种营养价值丰富且易消化的优质蛋白。Costa 等^[8-9]研究指出, 芸豆的膳食纤维(含量为 22.32%) 在减肥、平衡血糖水平和促进肠道健康等方面有诸多功效和益处。

基金项目: 贵州省食用豆工程技术研究中心项目(编号: 黔科合平台人才[2018]5254 号); 贵州省重点农业技术推广项目(编号: 黔财农[2017]106 号); 贵州省现代农业产业技术体系(特色杂粮)建设项目(编号: 黔财农[2018]81 号); 贵州省科技计划项目(编号: 黔科合平台人才[2018]5781 号)

作者简介: 王何柱, 男, 贵州大学在读硕士研究生。

通信作者: 秦礼康(1965—), 男, 贵州大学教授, 博士。

E-mail: likangqin@126.com

收稿日期: 2019-12-13

目前,国内外关于芸豆品质方面的研究主要集中在芸豆膳食纤维、蛋白质、淀粉、脂肪等营养素分析及芸豆蛋白和淀粉的理化特性^[10],且中国研究芸豆的产地多为吉林、黑龙江、陕西等,而关于贵州产地芸豆主栽品种营养价值的研究尚未见报道。试验拟选用贵州产地的7种芸豆,探究其营养成分,并通过主成分分析法(principal component analysis,PCA)对其品质进行评价,为芸豆品质改良和各种加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

毕芸Ⅱ1、英国红、龙12-2614、科芸1号、天镇黄芸豆、毕芸2015-1、毕芸2号7种芸豆:除去不完整和发霉芸豆后,粉碎过60目钢筛,并于-20℃贮藏,贵州省毕节市农科所;

耐高温 α -淀粉酶(10 000 U/mL)、牛血清白蛋白:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

直链淀粉、支链淀粉、淀粉含量检测试剂盒:北京索莱宝科技有限公司;

考马斯亮蓝G250、糖化酶(3 300 U/mL)、中性蛋白酶(350 U/mL):上海源叶生物科技有限公司;

硫酸铜、硫酸钾、硼酸、甲基红、氢氧化钠、石油醚、硅藻土、碘、碘化钾等:分析纯,北京北化精细化学品有限责任公司。

1.2 仪器与设备

高速万能粉碎机:FW100型,天津市泰斯特仪器有限公司;

水分测定仪:MB90型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

光吸收酶标仪:SpectraMax190型,美谷分子仪器有限公司;

全自动凯氏定氮仪:JK9870型,上海仪电分析仪器有限公司;

恒温摇床:TS-100C型,上海天呈实验仪器制造有限公司;

脂肪测定仪:SER148型,嘉盛(香港)科技有限公司;

原子吸收光谱仪:ZEEnit700P型,德国耶拿分析仪器股份有限公司;

火焰光度计:FP6400A型,上海精密仪器仪表有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV-5500型,上海元析仪器有限公司;

旋转蒸发器:RE-2000B型,上海亚荣生化仪器厂;

台式高速冷冻离心机:H2-16KR型,湖南可成仪器设备有限公司;

氨基酸自动分析仪:L-8800型,日本Hitachi公司。

1.3 方法

1.3.1 芸豆营养成分含量的测定

(1) 水分含量:按GB/T 5009.3—2016执行。

(2) 粗淀粉含量:参照总淀粉测定试剂盒(BC0700, Solarbio)。

(3) 直链淀粉含量:采用碘比色^[11]法。

(4) 蛋白质含量:按GB/T 5009.5—2016执行。

(5) 水溶性蛋白质含量:考马斯亮蓝G-250比色法^[12]。

(6) 脂肪含量:按GB/T 5009.6—2016执行。

(7) 灰分含量:按GB/T 5009.4—2016执行。

(8) 总膳食纤维含量:按GB 5009.88—2014执行。

(9) 矿物质含量:Ca、Mg、Mn、Cu、Zn采用火焰原子吸收分光光度法,Na和K采用火焰分光光度法,P采用钼比色法,结果均以干基计。

1.3.2 氨基酸组成分析 准确称取样品130 mg,加入6 mol/L的盐酸6 mL,在密封的条件下110℃烘箱水解24 h,冷却后定容至100 mL(pH调至2左右),并将待测液过0.45 μ m滤膜,于氨基酸自动分析仪中测定,结果以干基计。

1.4 数据分析

每个样品平行3次,数据以(平均值 $\pm$ 标准差)表示。运用Excel建立数据库,并使用SPSS 20.0对试验数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 7种芸豆的营养成分组成

由表1可知,7种芸豆粗淀粉含量为28.35%~35.45%,其中毕芸2号的含量最高;蛋白质含量为19.11%~23.69%,与肉制品中蛋白质含量(22%)较接近^[13],高于一般谷物(小米8.8%,黑麦13.3%,高粱12.2%)中蛋白含量^[14];脂肪含量为1.02%~1.77%,均低于2%;灰分含量为3.82%~4.64%,其中科芸1号的含量最高;直链淀粉含量为9.60%~11.21%,其中天镇黄芸豆的含量最高,毕芸2015-1的含量最低;总膳食纤维含量为23.09%~27.60%,其中英国红的含量最高,与Costa等^[8]的结果一致;水溶性蛋白含量为9.76%~16.54%,水溶性蛋白/粗蛋白的比值为0.46~0.66,其中毕芸Ⅱ1的水溶性蛋白占比最高。韩晶等^[15]研究指出6种芸豆脂肪含量为2.56%~8.46%,高于试验结果;蛋白质含量为17.91%~22.03%,与试验结果一致。阚丽娟等^[16]研究发现,几种芸豆中灰分、脂肪、蛋白质含量分别为3.43%~4.10%,2.91%~5.30%,22.06%~25.52%,与试验结果保持一致。

2.2 7种芸豆中矿物质含量分析

由表2可知,7种芸豆中Ca、Mg、P、K含量非常丰富,且K>P>Mg>Ca,其中K含量为1.48%~1.69%,P含量为0.45%~0.61%,Ca含量为0.09%~0.20%,Mg

表 1 7 种芸豆的营养成分[†]
Table 1 Nutritional composition of 7 kidney beans %

品种	水分	粗淀粉	粗蛋白	粗脂肪	灰分	总膳食纤维	直链淀粉	水溶性蛋白
毕芸 II 1	9.36±0.09 ^f	28.35±1.53 ^b	22.19±0.53 ^b	1.28±0.03 ^d	4.57±0.23 ^b	23.97±10.21 ^d	10.83±0.51 ^{bc}	16.10±2.03 ^a
英国红	11.19±0.19 ^d	30.59±4.10 ^{ab}	21.29±8.09 ^c	1.14±0.10 ^f	4.01±0.32 ^e	27.60±12.36 ^a	9.78±1.43 ^{bc}	12.78±3.39 ^c
龙 12-2614	11.79±1.23 ^b	30.31±1.08 ^{ab}	23.69±0.53 ^a	1.02±0.09 ^g	4.57±0.36 ^b	23.39±11.25 ^e	9.98±0.75 ^{bc}	16.54±2.10 ^a
科芸 1 号	11.33±0.58 ^c	32.65±3.41 ^{ab}	19.59±1.77 ^e	1.77±0.02 ^a	4.64±0.14 ^a	24.81±11.89 ^b	10.52±0.67 ^{bc}	11.63±1.82 ^d
天镇黄芸豆	10.71±0.79 ^e	31.13±3.76 ^{ab}	19.11±0.18 ^f	1.68±0.18 ^b	3.82±0.19 ^f	24.35±13.87 ^c	11.21±0.27 ^a	9.76±2.15 ^e
毕芸 2015-1	11.32±0.54 ^c	32.18±3.17 ^{ab}	22.11±2.47 ^b	1.25±0.13 ^e	4.23±0.27 ^c	24.31±17.29 ^c	9.60±0.65 ^b	11.81±3.64 ^d
毕芸 2 号	12.04±2.14 ^a	35.45±0.59 ^a	20.48±3.76 ^d	1.59±0.16 ^c	4.21±0.06 ^d	23.09±18.36 ^f	10.32±1.03 ^{bc}	13.27±2.88 ^b

[†] 同列字母不同表示有显著性差异(P<0.05)。

表 2 7 种芸豆中矿物质的含量
Table 2 Mineral content in 7 kidney beans

品种	钙/%	镁/%	铁/(mg·kg ⁻¹)	锰/(mg·kg ⁻¹)	铜/(mg·kg ⁻¹)	锌/(mg·kg ⁻¹)	钠/(mg·kg ⁻¹)	磷/%	钾/%
毕芸 II 1	0.20	0.24	73.09	28.31	16.56	35.15	308.67	0.45	1.48
英国红	0.13	0.22	86.86	26.37	14.22	38.48	533.79	0.57	1.69
龙 12-2614	0.20	0.29	86.28	44.19	18.38	34.29	379.43	0.61	1.59
科芸 1 号	0.11	0.27	81.89	24.11	12.29	32.46	372.24	0.58	1.69
天镇黄芸豆	0.12	0.26	75.40	17.92	13.51	25.50	349.67	0.45	1.58
毕芸 2015-1	0.10	0.27	75.88	19.37	19.94	31.02	315.07	0.57	1.55
毕芸 2 号	0.09	0.19	70.59	23.32	16.28	35.21	428.60	0.48	1.51

含量为 0.19%~0.29%。毕芸 II 1 和龙 12-2614 的 Ca 含量最高,龙 12-2614 中 Mg 和 P 的含量最高,英国红和科芸 1 号中 K 含量最高。Iqbal 等^[17]研究指出,芸豆中 Mg 和 K 含量高于其他豆类,Mg 存在于所有组织细胞中,是体内多种酶的激活因子,调节糖代谢、TCA 循环、氨基酸活化等。7 种芸豆中 Fe、Mn、Cu、Zn、Na 含量分别为 70.59~86.86,17.92~44.19,12.29~19.94,25.50~38.48,308.67~533.79 mg/kg。芸豆是一种典型的高 K,低 Na 豆类,K 主要参与细胞新陈代谢和一些酶促反应,维持体内正常的渗透压和酸碱平衡,适宜高血压、低血钾症和忌盐患者。芸豆中的 Ca、Fe、Mg、P、K 等元素含量高于部分谷类作物和动物性食品^[5]。

2.3 7 种芸豆的氨基酸分析

由表 3 可知,除毕芸 II 1 外,其他 6 种芸豆氨基酸组成相同,共检测出 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸。7 种芸豆中总氨基酸含量为 19.88%~26.48%,必需氨基酸含量为 7.86%~10.09%,其中毕芸 2015-1 总氨基酸含量最高,龙 12-2614 中必需氨基酸含量最高。谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸含量高于其他氨基酸,分别为 3.41%~4.61%,2.52%~3.33%,1.68%~2.28%,其中 3 种氨基酸含量的最大值均出现在龙 12-

2614。研究^[18]显示,谷氨酸能增强记忆力、对患有语言和记忆障碍的患者有一定的帮助、对小儿智力发育不全也有治疗作用;亮氨酸具有修复肌肉、控制血糖,并提供能量的作用。这表明龙 12-2614 优于其他 6 种芸豆。脯氨酸含量波动较大(0.77%~3.33%),其中毕芸 2015-1 的含量最高,毕芸 2 号的含量最低。

根据 FAO/WHO 的标准^[18]规定,优质蛋白的必需氨基酸含量应达到总氨基酸含量的(EAA/TAA)0.4,必需氨基酸和非必需氨基酸比值(EAA/NEAA)为 0.6,7 种芸豆中虽然有几个品种 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 的比值未达到 0.4,0.6,由于必需氨基酸中的色氨酸在碱性条件下全部水解,其含量未计入,但 EAA/TAA 非常接近 0.4,且天镇黄芸豆 EAA/TAA 已达到 0.4;同理,毕芸 II、龙 12-2614、天镇黄芸豆、毕芸 2 号的 EAA/NEAA>0.6,说明芸豆是优质的蛋白来源。

由表 4 可知,7 种芸豆的第一限制性氨基酸为甲硫氨酸+半胱氨酸,除甲硫氨酸+半胱氨酸的评分<100,其他氨基酸评分均>100;英国红的异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸评分高于其他 6 种芸豆;7 种芸豆的缬氨酸评分差异性最小(P>0.05),甲硫氨酸+半胱氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸评分差异性最大(P<0.05)。

表 3 7 种芸豆中氨基酸分析[†]

Table 3 Analysis of amino acids in kidney beans

%

品种	苏氨酸 [*]	缬氨酸 [*]	蛋氨酸 [*]	异亮氨酸 [*]	亮氨酸 [*]	苯丙氨酸 [*]	赖氨酸 [*]	天冬氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸
毕芸Ⅱ1	1.20	1.39	0.13	1.12	2.07	1.48	1.78	3.12	1.40	4.12	1.06
英国红	1.04	1.36	0.29	1.26	2.12	1.50	1.83	3.06	1.43	4.34	1.02
龙 12-2614	1.10	1.45	0.38	1.32	2.28	1.59	1.96	3.33	1.51	4.61	1.06
科芸 1 号	1.04	1.24	0.10	0.91	1.79	1.32	1.61	2.67	1.27	3.78	0.91
天镇黄芸豆	0.94	1.22	0.31	1.06	1.68	1.20	1.45	2.52	1.15	3.41	0.86
毕芸 2015-1	1.24	1.35	0.30	1.22	2.10	1.45	1.80	3.04	1.46	3.96	1.02
毕芸 2 号	1.03	1.24	0.30	1.16	1.90	1.35	1.65	2.78	1.31	3.76	0.95
品种	丙氨酸	半胱氨酸	酪氨酸	组氨酸	精氨酸	脯氨酸	TAA	EAA	NEAA	EAA/TAA	EAA/NEAA
毕芸Ⅱ1	1.09	0.04	0.00	0.72	1.53	1.29	23.54	9.17	14.37	0.39	0.64
英国红	1.08	0.04	0.76	0.73	1.47	2.54	25.87	9.40	16.47	0.36	0.57
龙 12-2614	1.06	0.12	0.78	0.80	1.83	1.10	26.29	10.09	16.20	0.38	0.62
科芸 1 号	0.97	0.04	0.75	0.63	1.22	2.79	23.04	8.01	15.03	0.35	0.53
天镇黄芸豆	0.96	0.06	0.60	0.56	1.12	0.79	19.88	7.86	12.02	0.40	0.65
毕芸 2015-1	1.10	0.11	0.83	0.71	1.47	3.33	26.48	9.45	17.03	0.36	0.55
毕芸 2 号	1.00	0.04	0.78	0.66	1.30	0.77	22.07	8.61	13.46	0.39	0.64

[†] * 为必须氨基酸;TAA 为总氨基酸,EAA 为必需氨基酸,NEAA 为非必需氨基酸;EAA/TAA 为必需氨基酸/总氨基酸的比值,EAA/NEAA 为必需氨基酸/非必需氨基酸的比值。

表 4 7 种芸豆中氨基酸评分

Table 4 Amino acid scores in 7 kidney beans

品种	苏氨酸	缬氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	甲硫氨酸+半胱氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸
毕芸Ⅱ1	135.22	124.99	125.90	133.45	145.98	22.03	111.22
英国红	122.16	127.41	148.05	142.16	156.44	45.26	177.03
龙 12-2614	116.13	122.71	139.66	137.20	150.59	61.09	166.48
科芸 1 号	133.11	126.16	116.28	130.36	149.65	19.61	176.04
天镇黄芸豆	122.46	127.58	138.06	125.70	138.37	56.11	110.22
毕芸 2015-1	140.18	122.07	137.42	135.85	147.71	52.58	171.77
毕芸 2 号	125.29	120.80	141.96	132.61	146.13	47.52	173.28
FAO/WHO 模式	40.00	50.00	40.00	70.00	55.00	35.00	60.00

2.4 7 种芸豆品质主成分分析

主成分分析是将多个指标变为少数指标来反映大多数变量的信息^[19-20]。主成分的选择需对原始数据进行降维处理,根据累积方差贡献率>80%和初始特征值>1的原则,从而确定主成分的数目。由表 5 可知,提取出 5 个主成分,其特征值>1,累计方差贡献率达 95.711%,能解释绝大多数原始信息。因此,用提取的 5 个主成分代替芸豆的 18 个指标来对芸豆的品质进行评价。

表 6 为芸豆的 18 个品质指标的主成分载荷矩阵,该矩阵反映了 18 个品质指标对相应主成分的影响程度^[21]。由表 6 可知,第 1 主成分中正载荷较大的指标为蛋白质、

表 5 芸豆品质评价因子的特征值和累积方差贡献率

Table 5 Eigenvalue and accumulative contributionrate of quality evaluation of kidney bean

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	6.733	37.406	37.406
2	4.313	23.960	61.366
3	2.561	14.229	75.595
4	2.130	11.831	87.426
5	1.491	8.285	95.711

锰、氨基酸,3 个指标对第 1 主成分产生正向影响;负载荷较高的指标为脂肪,载荷权数为-0.893,对第 1 主成分产

表 6 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵

Table 6 Rotated component matrix of the principle component analysis

指标	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分	第 5 主成分
水分(X_1)	0.092	0.601	-0.598	0.311	0.279
淀粉(X_2)	-0.453	0.392	-0.729	0.121	0.308
蛋白质(X_3)	0.929	-0.280	-0.186	-0.042	-0.136
脂肪(X_4)	-0.893	0.037	0.033	0.212	0.352
灰分(X_5)	0.519	-0.331	0.023	0.237	0.568
膳食纤维(X_6)	0.084	0.714	0.489	-0.317	-0.340
直链淀粉(X_7)	-0.653	-0.505	0.470	-0.039	0.266
水溶性蛋白(X_8)	0.783	-0.438	-0.049	-0.296	0.324
钙(X_9)	0.655	-0.544	0.46	-0.126	0.125
镁(X_{10})	0.344	-0.176	0.351	0.842	-0.133
铁(X_{11})	0.610	0.595	0.449	0.206	0.075
锰(X_{12})	0.833	-0.140	0.104	0.041	0.417
铜(X_{13})	0.563	-0.380	-0.609	0.102	-0.396
锌(X_{14})	0.605	0.282	-0.117	-0.633	0.275
钠(X_{15})	0.120	0.803	0.024	-0.512	0.151
磷(X_{16})	0.665	0.567	-0.057	0.466	0.070
钾(X_{17})	0.079	0.838	0.456	0.253	0.124
氨基酸(X_{18})	0.886	0.244	-0.170	0.062	-0.271

生负向影响。同理,第 2 主成分中,正载荷数较大的指标为膳食纤维、钾、钠,载荷数分别为 0.714,0.838,0.803;第 3 主成分中负载荷较大的为淀粉,载荷数为-0.729;第 4 主成分中正载荷数较大的指标为镁,载荷数为 0.842,负载荷较大的指标为锌,载荷数为-0.633;第 5 主成分中正载荷较大的为灰分,载荷数为 0.568。

2.5 不同芸豆品种品质特性综合评价

使用表 6 中主成分载荷除以表 5 中的特征值开平方根^[19-20],计算得出 5 个主成分中每个因子的系数,得出 5 个主成分的表达式分别为:

$$F_1 = 0.035X_1 - 0.175X_2 + 0.358X_3 - 0.344X_4 + 0.200X_5 + 0.032X_6 - 0.252X_7 + 0.302X_8 + 0.252X_9 + 0.133X_{10} + 0.235X_{11} + 0.321X_{12} + 0.217X_{13} + 0.233X_{14} + 0.046X_{15} + 0.256X_{16} + 0.030X_{17} + 0.341X_{18}, \quad (1)$$

$$F_2 = 0.289X_1 + 0.189X_2 - 0.135X_3 + 0.018X_4 - 0.159X_5 + 0.344X_6 - 0.243X_7 - 0.211X_8 - 0.262X_9 - 0.085X_{10} + 0.287X_{11} - 0.067X_{12} - 0.183X_{13} + 0.136X_{14} + 0.387X_{15} + 0.273X_{16} + 0.404X_{17} + 0.117X_{18}, \quad (2)$$

$$F_3 = -0.374X_1 - 0.456X_2 - 0.116X_3 + 0.021X_4 + 0.014X_5 + 0.306X_6 + 0.294X_7 - 0.031X_8 + 0.287X_9 + 0.219X_{10} + 0.281X_{11} + 0.065X_{12} - 0.381X_{13} - 0.073X_{14} + 0.015X_{15} - 0.036X_{16} + 0.285X_{17} - 0.106X_{18}, \quad (3)$$

$$F_4 = 0.213X_1 + 0.083X_2 - 0.029X_3 + 0.145X_4 + 0.162X_5 - 0.217X_6 - 0.027X_7 - 0.203X_8 - 0.086X_9 + 0.577X_{10} + 0.141X_{11} + 0.028X_{12} + 0.070X_{13} - 0.434X_{14} - 0.351X_{15} + 0.319X_{16} + 0.173X_{17} + 0.042X_{18}, \quad (4)$$

$$F_5 = 0.229X_1 + 0.252X_2 - 0.111X_3 + 0.288X_4 + 0.465X_5 - 0.278X_6 + 0.218X_7 + 0.265X_8 + 0.102X_9 - 0.109X_{10} + 0.061X_{11} + 0.342X_{12} - 0.324X_{13} + 0.225X_{14} + 0.124X_{15} + 0.057X_{16} + 0.102X_{17} - 0.222X_{18}. \quad (5)$$

建立综合得分模型:

$$F_{\text{综}} = 0.391F_1 + 0.250F_2 + 0.149F_3 + 0.124F_4 + 0.087F_5. \quad (6)$$

由表 7 可知,综合得分排名前 3 的芸豆分别为英国红、龙 12-2614、科芸 1 号,综合得分高,说明该芸豆的综合品质好,得分最低的品种为天镇黄芸豆。

3 结论

通过对芸豆中淀粉、蛋白质、脂肪、膳食纤维、钙、铁、锌、钾、氨基酸等指标进行分析,并采用主成分分析综合评价贵州 7 种芸豆的品质特性。结果表明,芸豆中蛋白质含量丰富,其含量为 19.11%~23.69%;总膳食纤维含量为 23.09%~27.60%,其中英国红的含量最高。7 种芸豆中 Ca、Mg、P、K 含量丰富,分别为 0.09%~0.20%,0.19%~0.29%,0.45%~0.61%,1.48%~1.69%,其中毕

表 7 7 种芸豆品质预测评价结果

Table 7 Evaluation results of prediction for different varieties kidney bean

品种	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	$F_{\text{综}}$	综合排序
毕芸Ⅱ1	0.77	-3.48	1.11	-1.50	-0.02	-0.59	5
英国红	1.36	3.32	1.06	-1.81	-0.70	1.24	2
龙 12-2614	4.19	-0.61	-0.04	1.13	0.77	1.69	1
科芸 1 号	-1.17	1.37	1.01	1.52	1.49	0.35	3
天镇黄芸豆	-3.87	-0.66	1.30	0.66	-0.75	-1.47	7
毕芸 2015-1	0.62	-0.04	-1.74	1.27	-1.94	-0.04	4
毕芸 2 号	-1.91	0.10	-2.70	-1.28	1.15	-1.18	6

芸Ⅱ1 和龙 12-2614 的 Ca 含量最高。不同芸豆中谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸含量高于其他氨基酸,其含量分别为 3.41%~4.61%,2.52%~3.33%,1.68%~2.28%。在主成分分析中提取出 5 个主成分,累积方差贡献率达 95.711%,其中蛋白质、锰、氨基酸、脂肪、膳食纤维、钾、钠等因子为关键指标,综合得分显示前 3 的品种依次为英国红、龙 12-2614、科芸 1 号。试验所涉及的芸豆品种和检测指标较少,后续可增加芸豆的品种和检测指标,建立更加完善的综合评价体系。

参考文献

[1] CHOUNG M G, CHOI B R, AN Y N, et al. Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51 (24): 7 040-7 043.

[2] 王强, 张亚芝, 魏淑红, 等. 黑龙江省芸豆生产现状与产业化发展[J]. 中国种业, 2008(4): 11-12.

[3] 柴岩, 冯佰利. 中国小杂粮产业发展现状及对策[J]. 干旱地区农业研究, 2003(3): 148-154.

[4] 冯佰利, 鱼欢, 高小丽, 等. 中国芸豆品牌发展战略研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 454.

[5] 张根旺, 孙芸. 食用豆类资源的开发利用[J]. 中国商办工业, 2001(1): 48-49..

[6] 张业辉, 黄利华, 王昌盛, 等. 四种常见豆类蛋白特性的研究[J]. 现代食品科技, 2010(2): 22-24, 45.

[7] 马文鹏, 任海伟. 芸豆蛋白的提取及其营养价值评价[J]. 食品科技, 2013, 38(1): 75-79.

[8] COSTA G E D A, QUEIROZ-MONICI K D S, REIS S M P M, et al. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chick-pea and lentil legumes[J]. Food Chemistry, 2006, 94(3): 327-330.

[9] TROMPETTE A, GOLLWITZER E S, YADAVA K, et al. Gut microbiota metabolism of dietary fiber influences allergic airway disease and hematopoiesis [J]. Nature Medicine, 2014, 20(2): 159-166.

[10] 吴会琴, 杨秋歌, 黄梦迪, 等. 白芸豆淀粉与小利马豆淀粉

理化性质的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 33-38.

[11] WILLIAMS P C, KUZINA F D, HLYNKA I. Rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours[J]. Cereal Chemistry, 1970, 47: 411-421.

[12] 郝怡宁, 初晨露, 陈尚兵, 等. 大豆水溶性蛋白提取工艺优化[J]. 中国油脂, 2019, 44(5): 73-75.

[13] PEREIRA P M D C C, VICENTE A F D R B. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 586-592.

[14] RAGAE S, ABDEL-AAL E S M, NOAMAN M. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use[J]. Food Chemistry, 2006, 98(1): 32-38.

[15] 韩晶, 郑文彬, 王颖, 等. 黑龙江芸豆主裁品种营养价值的评估[J]. 食品科技, 2016, 293(3): 104-109.

[16] 阚丽娇. 不同豆类营养成分及抗氧化组分研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017: 17.

[17] IQBAL A KHALIL I A, ATEEQ N, et al. Nutritional quality of important food legumes [J]. Food Chemistry, 2006, 97(2): 331-335.

[18] FAO/WHO. Energy and protein requirements[R]. Rome: WHO, 1973: 52-63.

[19] 刘星, 范楷, 杨俊花, 等. 基于主要营养成分含量的大小颗粒薏仁米判别[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 77-81, 133.

[20] 白晓丽, 张建勇, 江和源, 等. 普洱熟茶化学成分与品质特性相关性分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 50-53.

[21] 王益民, 张珂, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38.