

蚕豆种质资源成熟籽粒营养成分及氨基酸组成分析

石 晗¹ 邹丹蓉¹ 陈子义¹ 周德尧¹ 龚 玮¹ 陈 珏¹ 杨 华²

(¹上海市嘉定区农业技术推广服务中心,上海 201800;²上海市农业生物基因中心,上海 201800)

摘要:为探究蚕豆种质成熟籽粒的开发利用价值,以 25 份不同来源的蚕豆种质资源为研究材料,采用食品安全国家标准规定的方法测定其成熟籽粒的主要营养成分含量和氨基酸组成,并采用氨基酸比值系数法进行营养价值评价。结果表明:25 份蚕豆种质资源成熟籽粒中富含蛋白质、膳食纤维、淀粉、可溶性糖、脂肪、维生素 B1 和 B2、多种矿质元素等营养成分。蛋白质、膳食纤维和淀粉含量尤为丰富,其中以 JD006-8 的蛋白质含量最高;维生素 B2 含量高于维生素 B1 的含量;维生素 B1 含量变异幅度较大,变异系数为 34.68%,JD012-3 维生素 B1 含量最高;矿质元素以 K 元素和 P 元素含量较高,微量矿物元素中以 Fe 元素含量最高,七星蚕豆和 JD257 总矿质元素含量较高。氨基酸组成分析表明,25 份蚕豆种质资源氨基酸种类齐全,均含有被检测的 17 种氨基酸,氨基酸总量为 21.18~31.40g/100g,其中谷氨酸平均含量最高(4.71g/100g);必需氨基酸/氨基酸总含量的值为 32.97%~35.12%,必需氨基酸/非必需氨基酸的值为 49.18%~54.13%,依联合国粮食及农业组织/世界卫生组织模式的标准,JD231 的氨基酸比例相对更合理且营养更全面。通过氨基酸比值系数法分析发现蛋氨酸+胱氨酸为第一限制性氨基酸,筛选出 6 个氨基酸食用价值较高的蚕豆种质资源,分别为 D11、JD096、JD012-2、JD014-3、JD090 和 JD231。根据 32 个营养元素含量可将 25 份蚕豆材料聚为 4 类,第 I 类群 Fe、P、K、Ca 等矿质元素平均含量最高,第 II 类群淀粉、维生素 B1 和胱氨酸平均含量最高,第 III 类群蛋白质、维生素 B2、Cu 元素和除胱氨酸外的 16 种氨基酸平均含量均较高,且 Na 元素平均含量较低,第 IV 类群脂肪、膳食纤维和可溶性糖平均含量相对较高。以上研究结果可为今后蚕豆育种研究以及开发利用提供材料基础和理论依据。

关键词:蚕豆;种质资源;营养成分;氨基酸;氨基酸比值系数法;聚类分析

Analysis of Nutritional Components and Amino Acid Composition of Mature Grains of Broad Bean Germplasm Resources

SHI Han¹, ZOU Danrong¹, CHEN Ziyi¹, ZHOU Deyao¹, GONG Wei¹, CHEN Jue¹, YANG Hua²

(¹Shanghai Jiading District Agricultural Technology Extension Service Center, Shanghai 201800;

²Shanghai Agrobiological Gene Center, Shanghai 201800)

蚕豆是豆科野豌豆属一年生或越年生草本植物,是粮、菜、饲、肥为一体的高效作物^[1]。我国蚕豆的种植面积和产量均居世界首位^[2-3],其籽粒富含蛋白质、氨基酸、淀粉、膳食纤维、维生素以及矿质元素^[4],具有较高的营养价值。随着人们膳食结构的调整及多样化市场需求的增加,蚕豆作为优质的豆类作物,其营养价值越来越受到重视,成为现代食

品、饲料和医药等工业的重要原料^[5-7]。常见的蚕豆加工产品以蚕豆干制品为主,主要利用蚕豆完整的籽粒制作成蚕豆罐头、膨化蚕豆、五香豆、怪味蚕豆等^[8],而被誉为“川菜之魂”的郫县豆瓣酱常以去皮蚕豆瓣为主要原料,经制曲、发酵等工序制作而成^[9-10]。蚕豆蛋白质含量丰富,氨基酸种类齐全,远高于谷类作物,毛盼等^[11]发现在水产饲料中添加蚕豆能显著改善鱼体肌肉品质,提高鱼体肌肉硬度、咀嚼力、耐折力以及胶原蛋白含量。郁二蒙等^[12]认为

基金项目:上海市科技兴农项目(2021-02-08-00-12-F00757)

通信作者:邹丹蓉

蚕豆可以部分替代饲料中的小麦和鱼粉等物质,在鱼类饲料原料替代方面具有很大的潜在价值。刘雪城等^[13]研究发现蚕豆苗提取物对神经细胞具有保护作用,能明显改善帕金森病模型小鼠的症状,可能对帕金森病具有潜在的治疗意义。

蚕豆的应用广泛,但是对于蚕豆成熟籽粒的营养成分及氨基酸组成的分析研究却鲜有报道。因此,本研究以 25 份不同来源的蚕豆种质资源为研究对象,测定并分析不同蚕豆种质资源成熟籽粒的主要营养成分及氨基酸组成,同时采用氨基酸比值系数法^[14-16]对不同蚕豆种质资源的氨基酸成分进行综合分析评价,不仅可以为全面了解蚕豆成熟籽粒的营养价值提供理论依据,而且也加快推动蚕豆的加工、利用、开发和产业优化升级奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 上海市嘉定区农业技术推广服务中心对收集到的不同来源的蚕豆种质资源经过多年田间种植和提纯复壮,得到了 25 份纯系材料(表 1)。多数资源因名称未知或者经由单株提纯而来,故进行了统一编号,并以此为参试材料。其中以上海地区主栽的优良品种陵西一寸为对照。

1.2 试验设计 25 份蚕豆试验材料均种植于上海市嘉定区沪宜公路上海惠和种业有限公司试验田,各材料于 2021 年 11 月 5 日统一播种育苗,11 月 29 日定植,小区面积 6m²,株行距 40cm×60cm。每份材料间隔 1m 种植,不设重复,并在开花前挂网隔离。中耕除草、病虫害防治按常规大田进行。2022

年 5-6 月采集成熟饱满的蚕豆籽粒作为营养成分测定的样品。

1.3 测定指标及方法 品质测定采用混合取样法,即每个材料混合取样 120g 用于营养品质指标测定。蛋白质、脂肪、淀粉、膳食纤维、水分、可溶性糖的测定分别参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》、GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》、GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB/T 37493—2019《粮油检验 谷物、豆类中可溶性糖的测定》。维生素 B1、维生素 B2、维生素 C 的测定分别参考 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B1 的测定》、GB 5009.85—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B2 的测定》、GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》。P、K、Ca、Mg、Na、Fe 和 Cu 的含量测定参考 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》;Se 的含量测定参考 GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》。氨基酸的测定参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

1.4 氨基酸营养评价 参照侯娜等^[17]、王芳等^[18]、谢丽源等^[19]的方法,以 1973 年联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO, Food and

表 1 供试材料信息

序号	试验材料	来源	序号	试验材料	来源
1	D11	上海嘉定	14	JD001-10	上海嘉定外冈
2	JD012-3	上海嘉定马陆	15	JD011-2	上海嘉定马陆
3	JD013-6	上海嘉定马陆	16	JD096	上海嘉定徐行
4	JD005-H	上海嘉定徐行	17	JD117	上海嘉定
5	JD013-2	上海嘉定马陆	18	JD014-3	安徽铜陵董冲
6	JD087	上海嘉定唐行	19	JD015-3	安徽铜陵董冲
7	JD090	上海嘉定马陆	20	JD231	云南楚雄姚安
8	JD008-5	上海嘉定马陆	21	七星蚕豆	云南楚雄
9	JD012-2	上海嘉定马陆	22	三白豆	青海农林科学院
10	JD001-7	上海嘉定外冈	23	JD257	日本
11	JD001-8	上海嘉定外冈	24	JD302	日本
12	JD006-5	上海嘉定徐行	25	陵西一寸(CK)	日本
13	JD006-8	上海嘉定徐行			

Agriculture Organization/ World Health Organization) 提出的理想蛋白质人体必需氨基酸模式谱为标准,通过公式(1)~(4)分别计算必需氨基酸的质量分数(EAA,Evaluating the essential amino acid fraction)、氨基酸比值(RAA,Ratio of amino acid)、氨基酸比值系数(RC,Amino acid ratios coefficient、)和氨基酸比值系数分(SRC,Score of RC),评价参试蚕豆种质资源的必需氨基酸比例是否符合要求,比例越接近,则其营养价值越高。公式(4)中,CV为RC的变异系数。

$$\text{EAA}(\%) = \frac{\text{样品中某种必需氨基酸含量}}{\text{总氨基酸含量}} \times 100(1)$$

$$\text{RAA} = \frac{\text{样品中某种必需氨基酸 EAA 值}}{\text{FAO/WHO 模式谱中相应 EAA 值}}(2)$$

$$\text{RC} = \frac{\text{RAA}}{\text{RAA 的平均值}}(3)$$

$$\text{SRC} = 100 - \text{CV} \times 100(4)$$

2 结果与分析

2.1 蚕豆成熟籽粒基本营养成分及维生素含量 由表2可知,25份蚕豆种质资源的6种基本营养成分含量整体上呈现为蛋白质>膳食纤维>淀粉>可溶性糖>水分>脂肪,变异系数在5.77%~18.95%之间。蚕豆成熟籽粒中富含蛋白质、膳食纤维和淀粉,平均含量分别为30.76g/100g、26.43g/100g、22.45g/100g;

表2 25份蚕豆种质资源成熟籽粒基本营养成分及维生素含量

试验材料	蛋白质 (g/100g)	脂肪 (g/100g)	水分 (g/100g)	淀粉 (g/100g)	膳食纤维 (g/100g)	可溶性糖 (g/100g)	维生素 B1 (mg/kg)	维生素 B2 (mg/kg)	维生素 C (mg/kg)
D11	28.77	1.60	9.11	23.80	26.40	12.20	0.51	1.52	未检出
JD012-3	30.24	2.40	9.04	24.08	27.50	12.11	0.81	1.72	未检出
JD013-6	31.01	1.80	10.02	23.40	27.00	11.26	0.42	1.56	未检出
JD005-H	30.03	2.10	9.11	22.20	29.40	9.52	0.41	1.20	未检出
JD013-2	33.40	1.50	9.03	21.30	24.60	12.50	0.45	1.84	未检出
JD087	30.48	2.00	7.57	21.10	24.60	15.30	0.36	1.36	未检出
JD090	30.99	1.60	8.78	23.60	27.50	14.59	0.54	1.30	未检出
JD008-5	31.91	2.10	9.19	22.40	27.40	12.08	0.37	1.31	未检出
JD012-2	30.85	1.60	9.07	23.70	25.90	14.10	0.40	1.18	未检出
JD001-7	30.79	2.00	9.46	20.90	26.80	11.82	0.24	1.25	未检出
JD001-8	28.64	1.10	8.98	22.10	25.00	15.37	0.30	1.53	未检出
JD006-5	33.85	1.60	8.71	20.50	27.90	15.18	0.28	1.10	未检出
JD006-8	35.71	2.20	9.09	18.30	28.10	9.16	0.27	1.50	未检出
JD001-10	33.77	1.30	8.46	20.21	22.70	13.99	0.55	1.81	未检出
JD011-2	32.00	1.60	8.87	23.70	27.50	11.70	0.59	1.16	未检出
JD096	29.05	1.60	9.40	24.20	23.10	13.76	0.46	1.17	未检出
JD117	30.96	1.50	8.98	26.60	26.60	15.16	0.71	1.43	未检出
JD014-3	34.05	1.50	8.98	20.69	24.80	9.49	0.38	1.02	未检出
JD015-3	31.70	1.60	9.11	23.16	28.60	9.38	0.30	1.10	未检出
JD231	25.55	2.10	9.97	21.50	28.30	10.29	0.26	1.25	未检出
七星蚕豆	28.71	1.60	9.34	23.20	27.60	13.47	0.23	1.41	未检出
三白豆	27.63	1.20	9.89	27.50	27.50	14.08	0.28	1.10	未检出
JD257	28.92	2.10	9.47	20.60	26.00	17.67	0.48	1.11	未检出
JD302	27.55	2.00	10.10	20.30	26.80	10.98	0.44	1.32	未检出
陵西一寸(CK)	32.55	1.90	9.30	22.10	23.10	12.15	0.42	1.86	未检出
平均值	30.76	1.74	9.16	22.45	26.43	12.69	0.42	1.36	-
变异系数(%)	7.71	18.95	5.77	9.12	6.80	17.58	34.68	18.20	-

JD006-8 的蛋白质含量最高(35.71g/100g),但其淀粉含量最低(18.30g/100g);JD005-H 的膳食纤维含量最高,为 29.40g/100g,三白豆的淀粉含量最高,为 27.50g/100g。脂肪和可溶性糖的变异系数分别为 18.95% 和 17.58%,其中脂肪含量最高的为 JD012-3 (2.40g/100g),含量最低的为 JD001-8 (1.10g/100g);可溶性糖含量最高的为 JD257 (17.67g/100g),含量最低的为 JD006-8 (9.16g/100g)。水分含量的变异系数最小,参试材料水分含量均低于 12.00%,符合 GB 4404.2—2010《粮食作物种子 第2部分:豆类》的要求,其中以 JD302 的水分含量最高(10.10g/100g),JD087 的水分含量最低(7.57g/100g)。

25 份蚕豆种质资源的成熟籽粒均含有维生素

B1 和维生素 B2,且维生素 B2 含量高于维生素 B1 的含量。维生素 B1 的含量分布在 0.23~0.81mg/kg 之间,平均含量为 0.42mg/kg,其变异程度较大,变异系数为 34.68%,JD012-3 的维生素 B1 含量最高,七星蚕豆的维生素 B1 含量最低。维生素 B2 的平均含量为 1.36mg/kg,变异系数为 18.20%,含量排名前 3 位的分别为陵西一寸(1.86mg/kg),JD013-2 (1.84mg/kg)、JD001-10 (1.81mg/kg)。参试蚕豆种质资源均未检测出维生素 C。

2.2 蚕豆成熟籽粒矿质元素含量 对 25 份蚕豆种质资源成熟籽粒中的 P、K、Ca、Mg、Na 共 5 种常量元素和 Fe、Cu 和 Se 等 3 种微量元素进行检测,结果见表 3。8 种矿质元素的变异系数在 7.54%~55.31%

表 3 25 份蚕豆种质资源成熟籽粒矿质元素含量

试验材料	常量元素(g/kg)					微量元素(mg/kg)		
	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Se
D11	8.78	14.43	1.50	1.63	0.66	57.43	11.12	0.04
JD012-3	7.30	16.31	1.45	1.56	0.48	59.80	16.32	0.05
JD013-6	7.81	14.50	1.09	1.50	0.09	31.41	10.45	未检出
JD005-H	9.82	16.77	1.54	1.89	0.39	84.34	11.73	0.02
JD013-2	8.86	14.72	1.28	1.62	0.26	53.34	11.58	未检出
JD087	9.40	15.99	1.24	1.65	0.38	61.37	10.04	未检出
JD090	9.66	16.69	1.44	1.79	0.57	53.67	12.99	未检出
JD008-5	9.72	16.75	1.52	1.89	0.08	52.35	16.79	0.06
JD012-2	7.92	15.96	1.32	1.59	0.43	33.55	33.42	0.02
JD001-7	8.65	16.90	1.41	1.71	0.40	35.88	17.64	0.05
JD001-8	9.52	16.64	1.35	1.72	0.40	37.64	11.64	0.22
JD006-5	9.59	17.06	1.52	1.73	0.31	47.88	13.37	0.15
JD006-8	9.88	15.33	1.38	1.71	0.24	50.59	17.60	0.08
JD001-10	9.08	16.96	1.59	1.84	0.20	47.70	18.64	0.15
JD011-2	8.82	17.35	1.03	1.86	0.22	70.97	13.81	0.01
JD096	6.58	14.30	0.99	1.37	0.72	53.10	8.70	未检出
JD117	8.49	15.47	1.57	1.63	0.23	46.13	9.74	0.02
JD014-3	9.19	15.06	1.55	1.87	0.23	69.48	12.47	0.04
JD015-3	7.88	15.51	1.12	1.52	0.30	38.77	11.59	0.04
JD231	9.39	16.10	1.03	1.59	0.44	38.03	13.10	未检出
七星蚕豆	10.18	18.48	1.11	1.80	0.61	74.15	19.38	0.02
三白豆	7.77	14.75	1.16	1.64	0.78	80.05	12.75	0.01
JD257	9.97	18.11	1.14	1.78	0.26	31.35	14.37	未检出
JD302	8.85	18.50	1.40	1.98	0.04	58.56	13.64	未检出
陵西一寸(CK)	8.73	16.93	1.04	1.79	0.20	46.35	16.58	未检出
平均值	8.87	16.22	1.31	1.71	0.36	52.56	14.38	-
变异系数(%)	10.28	7.54	15.20	8.49	55.31	28.38	34.24	-

之间,说明不同蚕豆种质资源的矿质元素指标存在较大的差异,其中Na元素、Cu元素和Fe元素的变异幅度较大,变异系数分别为55.31%、34.24%和28.38%。

25份蚕豆种质资源的K元素含量均高于其他常量矿质元素,平均含量为16.22g/kg,其次是P元素、Mg元素和Ca元素,含量最低的是Na元素,平均含量为0.36g/kg;七星蚕豆的P元素含量最高(10.18g/kg),K元素含量居第2位,为18.48g/kg;JD302的K元素和Mg元素含量均高于其他品种,分别为18.50g/kg和1.98g/kg,但是Na元素含量最低(0.04g/kg);JD001-10的Ca元素含量最高,为1.59g/kg;JD096的Na元素含量较高(0.72g/kg),但P元素、K元素、Ca元素和Mg元素的含量最低。

25份蚕豆种质资源微量元素中Fe元素含量最高,Cu元素、Se元素次之,Fe元素和Cu元素的平均含量分别为52.56mg/kg和14.38mg/kg;Fe元素含量最高的是JD005-H,为84.34mg/kg,含量最低的是JD257(31.35mg/kg);Cu元素含量最高的是JD012-2,为33.42mg/kg,含量最低的是JD096(8.70mg/kg);部分蚕豆种质资源并未检测出Se元素,除去未检测出Se元素的资源外,其他有测量值的平均含量为0.06mg/kg,且Se含量最高的为JD001-8,为0.22mg/kg。

2.3 蚕豆成熟籽粒氨基酸组成及含量 除色氨酸外,对25份蚕豆种质资源成熟籽粒的17种氨基酸含量进行检测,结果见表4。25份蚕豆种质资源中含有苯丙氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸和异亮氨酸7种人体必需氨基酸,以及丙氨酸、脯氨酸、甘氨酸、谷氨酸、胱氨酸、精氨酸、酪氨酸、丝氨酸、天门冬氨酸和组氨酸10种非必需氨基酸(NEAA, Non-essential amino acids),说明参试蚕豆成熟籽粒的氨基酸组成十分丰富。氨基酸总含量(TAA, Total amino acids)分布在21.18~31.40g/100g,平均值为26.23g/100g,变异系数为9.15%;氨基酸总量最高的材料为JD006-8,最低的是JD231。检测的17种氨基酸中天门冬氨酸、谷氨酸和精氨酸含量尤为丰富,其中以谷氨酸的含量最高,平均含量为4.71g/100g;胱氨酸和蛋氨酸的含量较低,平均值分别为0.21g/100g和0.18g/100g,变异系数分别为21.34%和21.45%。

25份蚕豆种质资源中必需氨基酸和非必需氨基酸含量较高是JD006-8和陵西一寸,JD231、三白豆和JD257较低。EAA/TAA、EAA/NEAA是对蛋白质进行营养评价的指标之一,根据WHO/FAO的模式要求,理想蛋白质EAA/TAA应在40%左右、EAA/NEAA应大于60%^[20-22]。25份蚕豆种质资源成熟籽粒的EAA/TAA比值分布在32.97%~35.12%之间,EAA/NEAA比值分布在49.18%~54.13%之间,均略低于理想模式的要求,其中以JD231的EAA/TAA值和EAA/NEAA值最高。

2.4 蚕豆成熟籽粒必需氨基酸配比及营养评价

将25份蚕豆种质资源成熟籽粒必需氨基酸质量分数与WHO/FAO模式谱中相应氨基酸的质量分数进行比较,结果见表5。25份蚕豆种质资源缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和赖氨酸均高于WHO/FAO模式谱,JD257的赖氨酸比WHO/FAO模式谱高出1.68个百分点。蛋氨酸+胱氨酸均远低于WHO/FAO模式谱,其质量分数平均值为1.48%,以D11和JD096的质量分数较高。除JD008-5以外,其他蚕豆种质资源中的苯丙氨酸+酪氨酸均高于WHO/FAO模式谱,该氨基酸质量分数平均值为6.83%。苏氨酸的质量分数平均值为3.98%,与WHO/FAO模式谱的苏氨酸质量分数相差不大。

由表6可知,参试蚕豆种质资源的异亮氨酸和赖氨酸RC值均较高且大于1.00,表明该氨基酸相对过剩,而大部分蚕豆种质资源的缬氨酸、亮氨酸、苏氨酸RC值在1.00左右,比较符合WHO/FAO氨基酸模式的要求。所有蚕豆种质资源的蛋氨酸+胱氨酸RC值均最低,且在0.50以下,说明该必需氨基酸相对不足,是蚕豆的第一限制性氨基酸(FLAA, First limiting amino acid),这与表5结果一致。氨基酸比值系数分(SRC)是评价蛋白质营养价值的常用指标,SRC值越高,表示蛋白质中氨基酸组成越平衡,蛋白质利用率越高。从SRC值来看,25份蚕豆种质资源的SRC值介于69.12~75.37之间,平均值为72.57;D11、JD096、JD012-2、JD014-3、JD090和JD231的SRC值较高,可以认为在参试材料中这些蚕豆种质资源的氨基酸组成更为平衡,营养价值也更高。

2.5 基于营养成分及氨基酸的聚类分析 依据25份蚕豆种质资源中含有的6种基本营养成分、2种

表 4 25 份蚕豆资源成熟籽粒氨基酸组成及含量 (g/100g)

试验材料	D11	JD012-3	JD013-6	JD005-H	JD013-2	JD087	JD090	JD008-5	JD012-2	JD001-7	JD001-8	JD006-5	JD006-8
苏氨酸 Thr	1.08	1.09	1.01	1.07	1.04	1.00	0.98	1.12	1.06	1.05	1.04	1.07	1.19
缬氨酸 Val	1.41	1.46	1.38	1.48	1.38	1.37	1.29	1.50	1.45	1.41	1.41	1.42	1.62
蛋氨酸 Met	0.20	0.05	0.18	0.20	0.19	0.17	0.17	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20
异亮氨酸 Ile	1.26	1.33	1.22	1.33	1.23	1.24	1.15	1.33	1.33	1.25	1.26	1.25	1.48
亮氨酸 Leu	2.05	2.11	1.95	2.08	2.01	1.89	1.87	2.11	2.10	2.00	1.96	2.02	2.34
苯丙氨酸 Phe	1.22	1.25	1.15	1.25	1.17	1.11	1.11	1.21	1.25	1.17	1.15	1.22	1.37
赖氨酸 Lys	1.88	1.83	1.78	1.90	1.79	1.69	1.67	1.87	1.86	1.81	1.80	1.87	2.14
天门冬氨酸 Asp	3.10	3.17	3.11	3.14	3.09	2.95	2.78	3.41	3.24	3.15	3.05	3.19	3.91
丝氨酸 Ser	1.35	1.36	1.23	1.32	1.31	1.21	1.23	1.31	1.33	1.27	1.24	1.32	1.49
谷氨酸 Glu	4.84	4.91	4.50	4.80	4.67	4.37	4.31	4.98	4.89	4.60	4.55	4.68	5.57
甘氨酸 Gly	1.20	1.24	1.14	1.24	1.18	1.13	1.09	1.25	1.22	1.19	1.16	1.19	1.35
丙氨酸 Ala	1.21	1.22	1.16	1.23	1.18	1.11	1.10	1.24	1.18	1.17	1.16	1.23	1.37
胱氨酸 Cys	0.28	0.27	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	0.20	0.26	0.15	0.16	0.20	0.25
酪氨酸 Tyr	0.77	0.69	0.57	0.58	0.65	0.52	0.57	0.43	0.69	0.59	0.57	0.61	0.73
组氨酸 His	0.74	0.75	0.70	0.74	0.72	0.68	0.66	0.76	0.75	0.73	0.70	0.71	0.83
精氨酸 Arg	3.31	3.14	3.37	3.21	3.45	3.17	3.00	3.64	3.42	3.40	3.60	3.25	4.38
脯氨酸 Pro	1.06	1.13	0.95	1.03	1.02	0.97	0.93	1.07	1.08	0.99	0.96	0.99	1.17
氨基酸总含量 TAA	26.95	26.97	25.58	26.76	26.30	24.79	24.10	27.62	27.29	26.14	25.97	26.43	31.40
必需氨基酸总量 EAA	9.10	9.11	8.67	9.30	8.82	8.47	8.24	9.33	9.23	8.89	8.82	9.06	10.35
非必需氨基酸总量 NEAA	17.85	17.86	16.91	17.46	17.48	16.32	15.86	18.29	18.06	17.25	17.14	17.38	21.05
EAA/TAA (%)	33.75	33.78	33.89	34.74	33.55	34.17	34.19	33.77	33.82	34.01	33.98	34.26	32.97
EAA/NEAA (%)	50.94	51.02	51.26	53.23	50.48	51.92	51.95	50.99	51.10	51.55	51.47	52.11	49.18
试验材料	JD001-10	JD011-2	JD096	JD117	JD014-3	JD015-3	JD231	七星蚕豆	三白豆	JD257	JD302	陵西一寸	
苏氨酸 Thr	1.16	1.09	1.06	1.04	1.06	1.09	0.86	1.02	0.87	0.94	0.91	1.18	
缬氨酸 Val	1.53	1.53	1.54	1.45	1.47	1.51	1.19	1.41	1.17	1.20	1.35	1.59	
蛋氨酸 Met	0.24	0.19	0.18	0.18	0.17	0.14	0.14	0.20	0.17	0.14	0.10	0.21	
异亮氨酸 Ile	1.36	1.38	1.41	1.32	1.33	1.38	1.08	1.29	1.03	1.07	1.22	1.43	
亮氨酸 Leu	2.16	2.19	2.16	2.03	2.08	2.20	1.66	2.00	1.66	1.66	1.88	2.28	
苯丙氨酸 Phe	1.26	1.29	1.28	1.21	1.20	1.30	1.00	1.19	1.02	0.99	1.13	1.32	
赖氨酸 Lys	1.94	1.90	1.83	1.81	1.81	1.87	1.51	1.79	1.50	1.60	1.70	2.03	
天门冬氨酸 Asp	3.42	3.36	3.25	3.08	3.28	3.45	2.44	2.98	2.50	2.64	2.83	3.53	
丝氨酸 Ser	1.43	1.39	1.43	1.29	1.34	1.43	1.09	1.29	1.11	1.10	1.29	1.47	
谷氨酸 Glu	5.07	5.03	5.19	4.62	4.89	5.25	3.84	4.64	3.89	3.89	4.44	5.32	
甘氨酸 Gly	1.31	1.27	1.24	1.17	1.23	1.26	0.96	1.19	0.99	1.09	1.11	1.31	
丙氨酸 Ala	1.29	1.23	1.22	1.17	1.17	1.23	0.96	1.19	0.99	1.05	1.13	1.29	
胱氨酸 Cys	0.19	0.15	0.29	0.23	0.25	0.25	0.21	0.22	0.10	0.17	0.26	0.23	
酪氨酸 Tyr	0.64	0.52	0.61	0.59	0.68	0.68	0.53	0.52	0.49	0.50	0.48	0.71	
组氨酸 His	0.80	0.77	0.77	0.72	0.75	0.78	0.59	0.71	0.58	0.62	0.69	0.81	
精氨酸 Arg	3.77	3.23	3.13	3.19	3.51	3.56	2.28	2.86	2.32	2.71	2.64	3.76	
脯氨酸 Pro	1.10	1.10	0.99	1.01	1.11	1.15	0.85	0.99	0.83	0.90	0.64	1.11	
氨基酸总含量 TAA	28.66	27.62	27.56	26.13	27.35	28.53	21.18	25.48	21.24	22.28	23.80	29.58	
必需氨基酸总量 EAA	9.66	9.57	9.45	9.04	9.12	9.50	7.44	8.90	7.43	7.61	8.29	10.04	
非必需氨基酸总量 NEAA	19.01	18.05	18.11	17.09	18.22	19.02	13.74	16.58	13.82	14.67	15.50	19.54	
EAA/TAA (%)	33.68	34.65	34.28	34.61	33.36	33.31	35.12	34.91	34.96	34.15	34.85	33.94	
EAA/NEAA (%)	50.79	53.01	52.16	52.93	50.07	49.94	54.13	53.64	53.74	51.86	53.48	51.38	

表5 25份蚕豆种质资源成熟籽粒必需氨基酸质量分数

(%)

试验材料	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	赖氨酸 Lys
D11	3.99	5.25	1.76	4.67	7.61	7.38	6.98
JD012-3	4.03	5.40	1.17	4.93	7.84	7.18	6.78
JD013-6	3.94	5.39	1.42	4.78	7.63	6.72	6.95
JD005-H	3.98	5.52	1.44	4.97	7.78	6.81	7.09
JD013-2	3.95	5.25	1.49	4.69	7.66	6.92	6.82
JD087	4.02	5.54	1.54	5.01	7.63	6.59	6.82
JD090	4.05	5.36	1.57	4.77	7.76	6.98	6.93
JD008-5	4.04	5.42	1.40	4.81	7.65	5.95	6.79
JD012-2	3.90	5.31	1.63	4.87	7.68	7.08	6.82
JD001-7	4.01	5.41	1.37	4.77	7.66	6.72	6.92
JD001-8	4.01	5.45	1.35	4.84	7.55	6.64	6.94
JD006-5	4.06	5.39	1.52	4.75	7.64	6.90	7.06
JD006-8	3.79	5.17	1.43	4.72	7.45	6.70	6.83
JD001-10	4.05	5.35	1.47	4.76	7.52	6.65	6.78
JD011-2	3.96	5.54	1.23	5.01	7.94	6.55	6.87
JD096	3.84	5.59	1.71	5.10	7.82	6.84	6.63
JD117	3.97	5.55	1.60	5.05	7.78	6.88	6.92
JD014-3	3.89	5.37	1.56	4.85	7.61	6.89	6.62
JD015-3	3.82	5.29	1.38	4.84	7.73	6.93	6.57
JD231	4.04	5.62	1.65	5.08	7.85	7.23	7.12
七星蚕豆	4.01	5.52	1.61	5.08	7.86	6.72	7.01
三白豆	4.08	5.51	1.31	4.87	7.83	7.11	7.07
JD257	4.22	5.39	1.40	4.81	7.46	6.70	7.18
JD302	3.83	5.69	1.54	5.11	7.88	6.75	7.15
陵西一寸(CK)	4.00	5.38	1.47	4.83	7.72	6.87	6.85
WHO/FAO 模式谱	4.00	5.00	3.50	4.00	7.00	6.00	5.50

维生素(B1和B2)、7种矿质元素(不包括Se元素)以及17种氨基酸共计32个营养元素数据,采用系统聚类分析法对参试蚕豆种质资源进行聚类分析。如图1所示,在遗传距离为5时,可以将蚕豆种质资源分为4个类群,32个营养元素指标的4个类群的均值结果见表7和表8。

第I类群包括JD001-7、JD006-5、JD001-8、七星蚕豆、JD087、JD090、JD005-H、JD008-5、JD011-2等9份资源,该类群蚕豆种质资源成熟籽粒中的P、K、Ca和Fe元素的平均含量最高,分别为9.48g/kg、16.96g/kg、1.35g/kg和57.58mg/kg, P元素和K元素的离散程度较小,均处于中上水

平。第II类群包括JD013-6、JD013-2、D11、JD117、JD014-3、JD015-3、JD012-2、JD096、JD012-3等9份资源,该类群蚕豆种质资源成熟籽粒中的淀粉(23.44g/100g)、维生素B1(0.49mg/kg)和胱氨酸(0.25g/100g)的平均含量最高,而脂肪、P、K、Mg元素的平均含量最低。第III类群由JD001-10、陵西一寸、JD006-8组成,该类群蚕豆种质资源的蛋白质、维生素B2、Cu元素及除胱氨酸外的其余16种氨基酸的平均含量最高,淀粉、膳食纤维、可溶性糖、Fe元素和Na元素的平均含量则低于其他类群。第IV类群包括JD231、JD257、JD302、三白豆,该类群蚕豆种质资源的脂肪、水分、膳食纤维和可溶性糖

表 6 25 份蚕豆种质资源成熟籽粒中必需氨基酸的 RAA、RC 和 SRC 值的比较

试验材料	蛋白质特征值	苏氨酸	缬氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	赖氨酸	SRC
		Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	
D11	RAA	1.00	1.05	0.50	1.17	1.09	1.23	1.27	75.37
	RC	0.96	1.01	0.48	1.12	1.04	1.18	1.22	
JD012-3	RAA	1.01	1.08	0.33	1.23	1.12	1.20	1.23	69.12
	RC	0.98	1.05	0.32	1.20	1.09	1.16	1.20	
JD013-6	RAA	0.99	1.08	0.41	1.19	1.09	1.12	1.26	72.10
	RC	0.97	1.06	0.40	1.17	1.07	1.10	1.24	
JD005-H	RAA	1.00	1.10	0.41	1.24	1.11	1.14	1.29	71.78
	RC	0.96	1.06	0.40	1.19	1.07	1.09	1.24	
JD013-2	RAA	0.99	1.05	0.43	1.17	1.09	1.15	1.24	73.13
	RC	0.97	1.03	0.42	1.15	1.08	1.13	1.22	
JD087	RAA	1.00	1.11	0.44	1.25	1.09	1.10	1.24	73.29
	RC	0.97	1.07	0.43	1.21	1.05	1.06	1.20	
JD090	RAA	1.01	1.07	0.45	1.19	1.11	1.16	1.26	73.75
	RC	0.98	1.03	0.43	1.15	1.07	1.12	1.22	
JD008-5	RAA	1.01	1.08	0.40	1.20	1.09	0.99	1.23	72.03
	RC	1.01	1.08	0.40	1.20	1.09	0.99	1.23	
JD012-2	RAA	0.97	1.06	0.47	1.22	1.10	1.18	1.24	74.16
	RC	0.94	1.03	0.45	1.18	1.06	1.14	1.20	
JD001-7	RAA	1.00	1.08	0.39	1.19	1.09	1.12	1.26	71.62
	RC	0.98	1.06	0.38	1.17	1.07	1.10	1.23	
JD001-8	RAA	1.00	1.09	0.39	1.21	1.08	1.11	1.26	71.34
	RC	0.98	1.07	0.38	1.19	1.06	1.09	1.24	
JD006-5	RAA	1.01	1.08	0.43	1.19	1.09	1.15	1.28	73.05
	RC	0.98	1.04	0.42	1.15	1.06	1.11	1.24	
JD006-8	RAA	0.95	1.03	0.41	1.18	1.06	1.12	1.24	72.25
	RC	0.95	1.03	0.41	1.18	1.07	1.12	1.24	
JD001-10	RAA	1.01	1.07	0.42	1.19	1.07	1.11	1.23	73.15
	RC	1.00	1.05	0.41	1.17	1.06	1.09	1.21	
JD011-2	RAA	0.99	1.11	0.35	1.25	1.13	1.09	1.25	69.71
	RC	0.96	1.08	0.34	1.22	1.11	1.07	1.22	
JD096	RAA	0.96	1.12	0.49	1.28	1.12	1.14	1.21	74.78
	RC	0.92	1.07	0.47	1.22	1.07	1.09	1.16	
JD117	RAA	0.99	1.11	0.46	1.26	1.11	1.15	1.26	73.55
	RC	0.95	1.06	0.44	1.20	1.06	1.09	1.20	
JD014-3	RAA	0.97	1.07	0.45	1.21	1.09	1.15	1.20	73.89
	RC	0.95	1.05	0.44	1.19	1.06	1.13	1.18	
JD015-3	RAA	0.96	1.06	0.39	1.21	1.10	1.16	1.19	71.78
	RC	0.95	1.05	0.39	1.20	1.09	1.14	1.18	
JD231	RAA	1.01	1.12	0.47	1.27	1.12	1.20	1.29	73.74
	RC	0.94	1.05	0.44	1.19	1.05	1.12	1.21	
七星蚕豆	RAA	1.00	1.10	0.46	1.27	1.12	1.12	1.27	73.63
	RC	0.95	1.05	0.44	1.21	1.07	1.07	1.21	
三白豆	RAA	1.02	1.10	0.37	1.22	1.12	1.18	1.29	70.57
	RC	0.98	1.06	0.36	1.17	1.07	1.14	1.23	
JD257	RAA	1.05	1.08	0.40	1.20	1.07	1.12	1.31	71.59
	RC	1.02	1.04	0.39	1.17	1.03	1.08	1.27	
JD302	RAA	0.96	1.14	0.44	1.28	1.13	1.13	1.30	72.16
	RC	0.91	1.08	0.42	1.21	1.07	1.07	1.24	
陵西一寸(CK)	RAA	1.00	1.08	0.42	1.21	1.10	1.15	1.25	72.70
	RC	0.97	1.05	0.41	1.17	1.07	1.11	1.21	

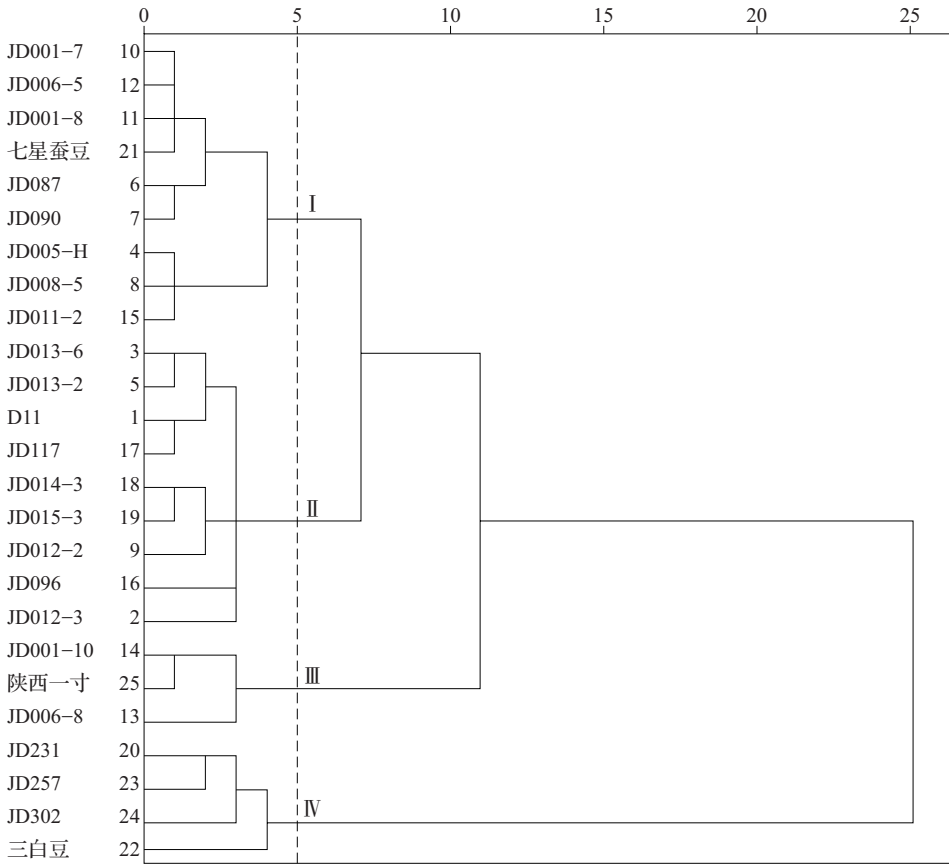


图 1 基于营养元素的 25 份蚕豆种质资源聚类分析

表 7 4 个类群蚕豆种质资源的基本营养成分、维生素以及矿质元素的平均值

营养元素	第 I 类群	第 II 类群	第 III 类群	第 IV 类群
蛋白质(g/100g)	30.82 ± 1.65	31.12 ± 1.76	34.01 ± 1.60	27.41 ± 1.39
脂肪(g/100g)	1.74 ± 0.33	1.68 ± 0.29	1.80 ± 0.46	1.85 ± 0.44
水分(g/100g)	8.89 ± 0.56	9.19 ± 0.33	8.95 ± 0.44	9.86 ± 0.27
淀粉(g/100g)	22.19 ± 1.18	23.44 ± 1.71	20.2 ± 1.90	22.48 ± 3.39
膳食纤维(g/100g)	27.08 ± 1.47	26.06 ± 1.67	24.63 ± 3.01	27.15 ± 0.98
可溶性糖(g/100g)	13.23 ± 2.06	12.22 ± 1.97	11.77 ± 2.44	13.26 ± 3.37
维生素 B1 (mg/kg)	0.37 ± 0.13	0.49 ± 0.16	0.41 ± 0.14	0.36 ± 0.11
维生素 B2 (mg/kg)	1.29 ± 0.13	1.39 ± 0.29	1.72 ± 0.20	1.20 ± 0.11
P (g/kg)	9.48 ± 0.48	8.09 ± 0.83	9.23 ± 0.59	9.00 ± 0.93
K (g/kg)	16.96 ± 0.68	15.14 ± 0.71	16.41 ± 0.93	16.87 ± 1.76
Ca (g/kg)	1.35 ± 0.19	1.32 ± 0.21	1.34 ± 0.28	1.18 ± 0.15
Mg (g/kg)	1.78 ± 0.08	1.59 ± 0.14	1.78 ± 0.06	1.75 ± 0.18
Na (g/kg)	0.37 ± 0.16	0.38 ± 0.21	0.21 ± 0.02	0.38 ± 0.31
Fe (mg/kg)	57.58 ± 16.54	49.22 ± 12.77	48.21 ± 2.17	52.00 ± 22.00
Cu (mg/kg)	14.15 ± 3.12	13.93 ± 7.61	17.61 ± 1.03	13.46 ± 0.71

平均含量相对较高,分别为 1.85g/100g、27.15g/100g 和 13.26g/100g,蛋白质、维生素 B1 和 B2、矿质元素 Ca 和 Cu 以及 17 种氨基酸的平均含

量整体上低于其他类群。
3 讨论与结论
本研究中 25 份蚕豆种质资源均富含蛋白质、

表 8 4 个类群蚕豆种质资源的氨基酸含量 (g/100g)

氨基酸	第 I 类群	第 II 类群	第 III 类群	第 IV 类群
天门冬氨酸 Asp	3.11 ± 0.20	3.20 ± 0.12	3.62 ± 0.26	2.60 ± 0.17
苏氨酸 Thr	1.05 ± 0.04	1.06 ± 0.03	1.18 ± 0.02	0.89 ± 0.04
丝氨酸 Ser	1.29 ± 0.06	1.34 ± 0.06	1.46 ± 0.03	1.15 ± 0.09
谷氨酸 Glu	4.66 ± 0.25	4.86 ± 0.25	5.32 ± 0.25	4.02 ± 0.28
甘氨酸 Gly	1.19 ± 0.06	1.21 ± 0.04	1.32 ± 0.02	1.04 ± 0.07
丙氨酸 Ala	1.18 ± 0.05	1.19 ± 0.03	1.32 ± 0.04	1.03 ± 0.07
胱氨酸 Cys	0.19 ± 0.03	0.25 ± 0.03	0.22 ± 0.03	0.19 ± 0.07
缬氨酸 Val	1.43 ± 0.07	1.45 ± 0.05	1.58 ± 0.05	1.23 ± 0.08
蛋氨酸 Met	0.19 ± 0.01	0.16 ± 0.05	0.21 ± 0.02	0.14 ± 0.03
异亮氨酸 Ile	1.28 ± 0.07	1.31 ± 0.06	1.42 ± 0.06	1.10 ± 0.08
亮氨酸 Leu	2.01 ± 0.10	2.08 ± 0.08	2.26 ± 0.09	1.72 ± 0.11
酪氨酸 Tyr	0.55 ± 0.05	0.66 ± 0.06	0.70 ± 0.04	0.50 ± 0.02
苯丙氨酸 Phe	1.19 ± 0.06	1.23 ± 0.05	1.32 ± 0.06	1.03 ± 0.06
赖氨酸 Lys	1.81 ± 0.08	1.83 ± 0.04	2.04 ± 0.10	1.58 ± 0.09
组氨酸 His	0.72 ± 0.04	0.74 ± 0.03	0.82 ± 0.02	0.62 ± 0.05
精氨酸 Arg	3.26 ± 0.25	3.34 ± 0.16	3.97 ± 0.35	2.49 ± 0.22
脯氨酸 Pro	1.00 ± 0.05	1.06 ± 0.07	1.13 ± 0.04	0.80 ± 0.12

膳食纤维、淀粉、可溶性糖、脂肪、维生素 B1 和 B2、多种矿质元素等营养成分,蛋白质含量最为丰富,平均含量为 30.76g/100g,以 JD006-8 的蛋白质含量最高,超过一般蚕豆栽培品种^[23-24];其次是膳食纤维和淀粉,JD005-H 的膳食纤维含量最高,三白豆的淀粉含量最高。参试材料维生素 B2 含量均高于维生素 B1,维生素 B1 变异幅度较大,以 JD012-3 的维生素 B1 含量最高,陵西一寸(CK)的维生素 B2 含量最高。矿质元素中 K 元素和 P 元素含量较高,Na 元素含量最低,而微量矿物元素中 Fe 元素含量最高,七星蚕豆和 JD257 的总矿质元素含量较高,可作为今后品种选育和食品开发的优良种质资源。

参试蚕豆种质资源成熟籽粒中氨基酸种类齐全,均含有被检测的 17 种氨基酸,其中包括除色氨酸以外的 7 种必需氨基酸,这与林宝妹等^[25]的研究结果一致。25 份蚕豆种质资源的氨基酸总量分布在 21.18~31.40g/100g 之间,以天门冬氨酸、谷氨酸和精氨酸的含量最为丰富,并以谷氨酸的平均含量最高。不同蚕豆种质资源氨基酸含量存在差异,JD006-8 的氨基酸总含量、必需氨基酸、非必需氨基酸的含量均高于其他资源,而且除胱氨酸、蛋氨酸和酪氨酸外的其他 14 种氨基酸含量也高于其他资源,

因此可以加大对 JD006-8 资源的开发研究。食物中蛋白质的氨基酸组成比例不尽相同,但其营养价值的优劣主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例^[26-28]。参试蚕豆材料中 EAA/TAA 的值分布在 32.97%~35.12% 之间,EAA/NEAA 的值分布在 49.18%~54.13% 之间,与 WHO/FAO 氨基酸模式相比,所有蚕豆种质资源均低于标准,其中以 JD231 的 EAA/TAA 值和 EAA/NEAA 值最高,其氨基酸比例相比其他资源更合理,营养更全面。从氨基酸平衡理论观点出发,25 份蚕豆种质资源异亮氨酸和赖氨酸相对过剩,而蛋氨酸 + 胱氨酸相对不足,是蚕豆的第一限制性氨基酸。本研究着重分析评价蚕豆氨基酸中各种必需氨基酸与 WHO/FAO 氨基酸模式的离散程度,全面评价了参试 25 份蚕豆种质资源成熟籽粒的氨基酸营养价值,综合筛选出了氨基酸食用价值最高的 6 个资源,分别为 D11、JD096、JD012-2、JD014-3、JD090 和 JD231。

采用聚类分析将 25 份蚕豆材料分为 4 类,第 I 类群的矿质元素 Fe、P、K、Ca 的平均含量最高,尤其是 P 元素和 K 元素含量处于中上水平,可作为高矿质元素材料开发的优质资源。第 II 类群 9 份资源的淀粉、维生素 B1 和胱氨酸的平均含量最高,而脂

肪、P、K、Mg 元素的平均含量最低,今后可以在加工食品、功能食品以及饲料等领域加以开发利用。第 III 类群整体营养品质表现比较优秀,蛋白质、维生素 B2、Cu 元素和除胱氨酸外的 16 种氨基酸含量均较高,Na 元素的平均含量较低,可以用于富含高蛋白、高氨基酸以及低钠蚕豆育种研究以及相关食品饲料的开发利用^[29]。第 IV 类群的脂肪、膳食纤维和可溶性糖的平均含量相对较高,但相比其他类型优势不太明显,可作为候选材料进行保存。

参考文献

- [1] 李清泉,王成,王芳,季生栋. 蚕豆的开发利用及高产栽培技术. 杂粮作物,2008,28 (2): 121-122
- [2] 敏玉霞,张红岩,毛玉萍,陈玉花,刘玉皎. 外引蚕豆种质资源产量相关性状的遗传变异分析. 中国种业,2023 (10): 75-79
- [3] 王琳琳,钟洋敏,缪叶旻子,马瑞芳,刘庭付. 基于主成分和聚类分析的鲜食蚕豆农艺与品质性状综合评价. 江苏农业学报,2023,39 (3): 788-797
- [4] 郑卓杰. 中国食用豆类学. 北京:中国农业出版社,1997
- [5] 蒋四强,李雄波,邓维琴,范智义,李恒,卢付清,李益恩,李龙,王泽亮,陈功. 不同品种蚕豆发酵甜瓣子非挥发性风味物质对比分析. 现代食品科技,2023,39 (8): 264-272
- [6] 王春明,刘洋. 蚕豆组成及加工利用进展. 农业机械,2011 (17): 91-93
- [7] 姜永杰,张海涛,姚仕斌,杨慧,姜大丽. 蚕豆的营养价值及其在饲料中的应用. 广东饲料,2022,31 (5): 45-49
- [8] 兰佳佳,杨希娟,王生君. 蚕豆加工利用综述. 青海农林科技,2017 (4): 46-49
- [9] 罗静,董玲,赵驰,刘钰颖,郭云建,李露,李艳琳,陈旺,杨国华,杨永,李治华,朱永清. 郫县豆瓣酱中芽孢杆菌进化关系及酶活性和抗生素特性分析. 食品科学,2022,43 (6): 229-235
- [10] 张芑芑,王世乐,陈福生. 蚕豆豆瓣酱发酵过程中微生物群落与挥发性风味物质的相关性. 中国酿造,2023,42 (5): 41-49
- [11] 毛盼,胡毅,邹志利,黄云,余建波,肖调义. 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼生长性能、肌肉品质及血液生理生化指标的影响. 动物营养学报,2014,26 (3): 803-811
- [12] 郁二蒙,张振男,谢骏,王广军. 蚕豆替代鱼类饲料的应用研

究. 广东农业科学,2013,49 (24): 82-90

- [13] 刘雪城,金皓洁,陈彬辉,何凌云,刘陶世. 蚕豆苗提取物对帕金森病的保护作用. 食品工业科技,2022,43 (22): 379-386
- [14] 薛瑾,戚繁,张文达,张婷婷,陶飞,林慧. 不同产地桃胶中蛋白质和氨基酸的含量测定与营养价值评价. 食品安全质量检测学报,2023,14 (18): 128-136
- [15] 乐巍,吴德康. 江苏引种栽培不同居群薏苡仁氨基酸分析. 中药材,2010,33 (2): 189-191
- [16] 李晓芹,方志娟,何新叶,王伟,禹超. 咖啡豆烘焙前后 16 种氨基酸成分变化及营养评价. 农产品质量与安全,2023 (4): 26-32
- [17] 侯娜,赵莉莉,魏安智,杨途熙. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价. 食品科学,2017,38 (18): 113-118
- [18] 王芳,乔璐,张庆庆,沈斌. 桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价. 食品科学,2015,36 (1): 225-228
- [19] 谢丽源,兰秀华,唐杰,彭卫红,甘炳成. 不同羊肚菌品种氨基酸营养评价及等鲜浓度值差异分析. 天然产物研究与开发,2020,32 (6): 1023-1029,979
- [20] 李维红,高雅琴,杨晓玲,席斌,熊琳. 不同牦牛肉氨基酸质量分析. 湖北农业科学,2018,57 (12): 89-90,105
- [21] 闫忠心,靳义超. 茶卡藏羊肉氨基酸质量分析. 青海畜牧兽医杂志,2016,46 (3): 5-7
- [22] 林波,郑凤锦,方晓纯,陈赶林. 甘蔗发酵制品的氨基酸对比及营养风味分析. 农产品加工,2022 (15): 64-69
- [23] 王姣姣. 冷季豆品质性状近红外模型建立及区域分析. 北京:中国农业科学院,2014
- [24] 陈宏伟,李莉,刘昌燕,万正煌,沙爱华. 129 份湖北蚕豆地方种质的子粒外观及品质性状分析. 湖北农业科学,2016,55 (24): 6377-6380,6384
- [25] 林宝妹,邱珊莲,郑开斌. 2 种干燥方式下蚕豆氨基酸品质的比较分析. 福建农业科技,2021,52 (6): 52-57
- [26] 陈师师,薛静,何中央,王宏海,何欣,戴志远. 2 种不同品系中华鳖的营养成分分析与比较. 食品科学,2015,36 (18): 114-119
- [27] 张泽煌,钟秋珍,林旗华. 杨梅果实氨基酸组成及营养评价. 热带作物学报,2013,33 (12): 2279-2283
- [28] 黄威,吴文标. 南瓜叶蛋白营养价值的化学评价. 食品研究与开发,2010,31 (1): 151-154
- [29] 林欢,王海滨,陈季旺,胥伟. 低钠盐食品的标准及营养评价技术研究进展. 肉类研究,2014,28 (5): 57-60

(收稿日期:2024-11-06)

(上接第 72 页)

参考文献

- [1] 曹鹏,段志红,黄见良,刘章勇. 湖北省水稻全产业链发展路径探析. 作物研究,2021,35 (5): 450-453
- [2] 杨远柱,王凯,符辰建,秦鹏,胡小淳,谢志梅,刘珊珊,周延彪,江南. 中国水稻商业化育种成就与展望. 中国稻米,2021,27 (4): 35-44
- [3] 王际凤,陆作楣. 水稻 TGMS 和 CMS 近等基因系的构建及其配合力评价. 南京农业大学学报,2008,31 (2): 1-5

- [4] 段洪波. 湖北省水稻种业现状与发展对策. 湖北农业科学,2012,51 (5): 1039-1044
- [5] 曾波. 近 30 年来我国水稻主要品种更新换代历程浅析. 作物杂志,2018 (3): 1-7
- [6] 沈文杰,陈晴晴,胡逸群,张爱芳. 安徽省水稻区试品种(系)稻瘟病抗性鉴定和评价. 浙江农业科学,2022,63 (6): 31-34

(收稿日期:2024-11-11)