

不同腐乳酱营养、功能及呈味氨基酸量化表征

张建萍^{1,2}, 解春芝^{1,2,*}

(1. 徐州工程学院食品与生物工程学院, 江苏 徐州 221018;

2. 江苏省食品资源开发与质量安全重点实验室, 江苏 徐州 221018)

摘要: 以腐乳酱为研究对象, 对比分析主要营养、功能成分, 并通过主成分分析法综合评价呈味氨基酸。结果表明, 腐乳酱营养、功能成分丰富, 且差异显著 ($P < 0.05$)。相较于其他腐乳酱, BJ-1中葛根素 (12.18 mg/100 g)、 γ -氨基丁酸 (13.67 mg/100 g)、甾甾醇 (0.07 mg/100 g) 和 β -谷甾醇 (0.13 mg/100 g) 含量均最高, 其中葛根素约为HB的2.5倍、 β -谷甾醇为BJ-2的4倍。共检测到15种游离氨基酸, 谷氨酸最丰富, 亮氨酸次之。根据呈味特征, HB、BJ-2和SH中鲜味氨基酸为主, 而BJ-1和GD中苦味氨基酸略占优势, 甜味和无味氨基酸所占比例均较小。主成分分析表明, 前4个主成分的累计贡献率为92.70%, 可较好反映呈味氨基酸组成的基本信息, 其综合评分排序为GD>HB>BJ-1>BJ-2>SH。

关键词: 腐乳酱; 营养成分; 功能成分; 游离氨基酸; 主成分分析

Analysis of Nutritional and Functional Components and Taste Amino Acids of Different Commercial Brands of Sufu Paste

ZHANG Jianping^{1,2}, XIE Chunzhi^{1,2,*}

(1. College of Food and Biological Engineering, Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221018, China;

2. Jiangsu Key Construction Laboratory of Food Resource Development and Quality Safe, Xuzhou 221018, China)

Abstract: The main nutritional and functional components of different commercial brands of sufu paste including two brands from Beijing: BJ-1 and BJ-2, one brand from Hebei (HB), one brand from Shanghai (SH), and one brand from Guangdong (GD) were quantitated and compared, and the taste amino acids were analyzed by principal component analysis (PCA). The results showed that the nutritional and functional components were abundant in sufu paste, and significantly different among brands ($P < 0.05$). Compared with other brands, the contents of puerarin (12.18 mg/100 g), γ -aminobutyric acid (13.67 mg/100 g), stigmasterol (0.07 mg/100 g) and β -sitosterol (0.13 mg/100 g) in BJ-1 were the highest; the content of puerarin was about 2.5 times as high as that of HB and the content of β -sitosterol was 4 times as high as that of BJ-2. A total of 15 free amino acids were detected, among which, glutamate was the most abundant, followed by leucine. According to the taste characteristics, MSG-like amino acids were dominant in HB, BJ-2 and SH, while bitter amino acids were slightly prevailing in BJ-1 and GD. Sweet and tasteless amino acids were the least abundant. Principal component analysis (PCA) showed that the cumulative contribution of the first four principal components accounted for 92.70% of the total variance, which could well represent the taste amino acid composition. The comprehensive evaluation scores of taste amino acids decreased in the following order: GD > HB > BJ-1 > BJ-2 > SH.

Keywords: sufu paste; nutritional components; functional components; free amino acids; principal component analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191015-138

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 06-0246-06

引文格式:

张建萍, 解春芝. 不同腐乳酱营养、功能及呈味氨基酸量化表征[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 246-251. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191015-138. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Jianping, XIE Chunzhi. Analysis of nutritional and functional components and taste amino acids of different commercial brands of sufu paste[J]. Food Science, 2020, 41(6): 246-251. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191015-138. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2019-10-15

基金项目: 江苏省科学技术厅苏北科技专项 (XZ-SZ201818); 江苏省高等学校自然科学研究项目 (17KJB550007; 18KJB550010)

第一作者简介: 张建萍 (1966—) (ORCID: 0000-0002-8127-6206), 女, 高级实验师, 学士, 研究方向为食品加工与分析。

E-mail: 915150123@qq.com

*通信作者简介: 解春芝 (1985—) (ORCID: 0000-0001-9587-3450), 女, 讲师, 博士, 研究方向为食品微生物。

E-mail: xcz0611@xzit.edu.cn

腐乳与豆豉、酱油、豆酱并称为我国四大传统发酵调味品,是经磨浆、点浆、前酵、腌制、加辅料、后熟等工艺而成^[1]。其风味独特、营养均衡,富含优质蛋白和不饱和脂肪酸(亚油酸、油酸等)^[2-3],8种人体必需氨基酸齐全,且氨基酸模式可与牛奶、鸡蛋相媲美^[4]。经微生物发酵后,腐乳消化率和生物效价也大幅提高,胀气因子、豆腥味及苦涩味均被消除^[5]。此外,丰富的活性成分赋予其良好的保健功效,如降胆固醇^[6]、降血压^[7-8]、抗氧化^[9]、降血糖活性^[10]等。

传统腐乳在发酵过程中,“秃斑”、“红变”、“黄身”、“霉变”、“酸化”、“产气”等现象时有发生。腐乳多为块状,生产中只能沿用手工操作进行摆笼、搓毛、腌制、装瓶等,无法机械化生产,难以提高生产效率,严重制约规模化生产^[11]。并且,块状的腐乳必须加封面汁液,否则,露空的腐乳会褐变发黑,甚至发臭,影响食用,限制了传统腐乳市场的发展。针对这些问题,研发方便、质量均一旦涂抹性和延展性良好的膏状腐乳酱,得到了商家及学者关注。目前市售腐乳酱均以腐乳为主料,添加水、食盐、香辛料、甜味剂等调配而成,工艺繁杂,种类较少,并且鲜见腐乳酱的相关报道^[12-13],限制了人们对不同腐乳酱的整体认知。

因此,本实验采集5种市售腐乳酱,对比其常规营养和功能成分,并采用主成分分析(principal component analysis, PCA)法综合评价其呈味氨基酸,以期为腐乳酱的研发、生产工艺改善及消费者选购提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

采集的5种腐乳酱样品,分别来自北京市(BJ-1和BJ-2)上海市(SH)、广东省(GD)和河北省(HB)。

葛根素、大豆苷、大豆苷元、染料木素、齐墩果酸(均为色谱纯) 中国国家标准物质信息中心; γ -氨基丁酸、 β -谷甾醇、豆甾醇、氨基酸标准溶液 美国Sigma-Aldrich公司; 乙腈、甲醇、乙酸、三氟乙酸(均为色谱纯); 其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

P1201高效液相色谱仪 大连依利特分析仪器有限公司; ALPHA 1-2LD PLUS冷冻干燥机 德国Christ公司; R206B凯氏定氮仪 上海申生科技有限公司; TGL-16台式高速冷冻离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; SZF-06A脂肪测定仪 上海精密仪器有限公司; KQ2200DV超声波清洗机 昆山市超声仪器有限公司; L5S紫外-可见分光光度计 上海仪电分析仪器有限公司; Cascada LS超纯水机 美国PALL公司; L8900氨基酸自动分析仪 日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 常规营养理化指标测定

水分含量测定: 参照GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》直接干燥法; 蛋白质含量测定: 参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法; 脂肪含量测定: 参照GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》索氏抽提法; 淀粉含量测定: 参照GB 5009.9—2016《食品中淀粉的测定》酶水解法; 食盐含量测定: 参照GB 5009.42—2016《食盐指标的测定》直接滴定法; 氨基酸态氮和总酸含量测定: 参照SB/T 10170—2007《腐乳》电位滴定法。其中, 脂肪、蛋白质、淀粉、食盐、总酸、氨基酸态氮均以干基计。

1.3.2 功能成分测定

样品制备: 腐乳酱冷冻干燥后, 研磨过100目筛。称取3.0 g样品, 加入40 mL体积分数80%乙醇溶液中, 超声处理30 min, 温度40 °C, 功率600 W, 离心20 min (7 000 r/min), 过滤后, 定容至50 mL, 过膜(0.22 μ m), 得供试液。

黄酮类化合物测定: 参照李昕等^[14]高效液相色谱法, 并略有调整。ZORABX SB-C₁₈色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μ m), 柱温30 °C, 流速0.8 mL/min, 检测波长254 nm, 进样量20 μ L, 以乙腈(A)和0.1%乙酸溶液(B)为流动相, 梯度洗脱条件为: 0~15 min, 70%~50% B; 15~25 min, 50%~40% B; 25~30 min, 40%~30% B; 30~40 min, 30%~70% B。

植物甾醇和 γ -氨基丁酸的测定: 采用高效液相色谱方法, 所用色谱仪、色谱柱、柱温及进样量均与异黄酮测定相同。其中, 植物甾醇流动相为0.1%乙酸-甲醇溶液, 流速0.8 mL/min, 波长210 nm, 总运行时间20 min。 γ -氨基丁酸以甲醇(A)和去离子水(B)为流动相, 检测波长254 nm, 流速1.0 mL/min。梯度洗脱条件: 0~15 min, 70%~50% B; 15~25 min, 50%~40% B; 25~30 min, 40%~30% B; 30~40 min, 30%~70% B。

大豆皂苷含量测定采用香草醛-高氯酸法^[15-16]。配制不同质量浓度齐墩果酸标准溶液, 于60 °C水浴蒸干后, 加入0.2 mL 5%的香草醛-冰醋酸溶液以及0.8 mL高氯酸, 摇匀; 于65 °C加热15 min, 取出后冰水中冷却5 min, 加入5 mL冰醋酸, 充分混匀后静置15 min。在560 nm波长处测定吸光度, 并绘制标准曲线。取200 μ L样品溶液, 依次加入200 μ L 5%的香草醛-冰醋酸溶液以及0.8 mL高氯酸, 其余处理步骤同标准溶液, 通过标准曲线计算出腐乳酱中皂苷含量。各功能性成分均以干基计。

1.3.3 呈味氨基酸含量测定

参考Xie Chunzhi等^[17]的方法, 根据Tseng等^[18]描述的游离氨基酸滋味特征, 分为鲜味(天冬氨酸、谷氨

酸)、甜味(丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸)、苦味(精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、缬氨酸)和无味(半胱氨酸、赖氨酸、脯氨酸)4类。

1.4 数据处理

采用SPSS 17.0软件进行数据处理和PCA。在方差分析结果显著时,采用Duncan法进行多重比较,并用不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示组间差异不显著($P>0.05$)。

2 结果与分析

2.1 常规营养指标分析

表1 腐乳酱常规营养指标分析

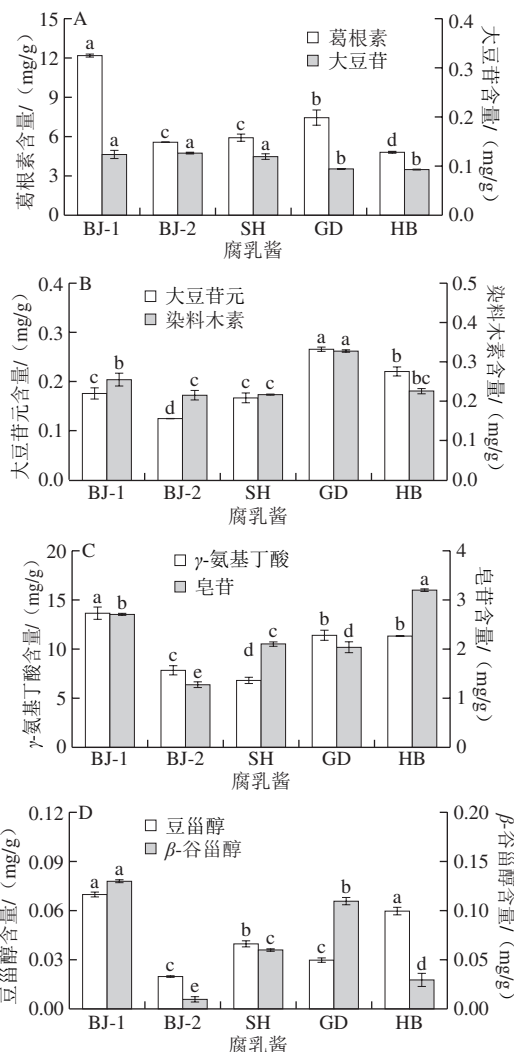
Table 1 Nutritional composition of different sufu paste samples

指标	质量分数/%				
	BJ-1	BJ-2	SH	GD	HB
水分	67.71±0.81 ^a	56.14±1.39 ^d	64.96±0.07 ^b	59.75±0.50 ^c	52.21±0.28 ^c
脂肪	8.28±0.12 ^a	4.71±0.30 ^d	6.39±0.24 ^b	8.59±0.19 ^a	5.92±0.16 ^c
蛋白质	10.06±0.87 ^{ab}	6.78±0.50 ^c	9.74±0.26 ^b	10.85±0.64 ^a	10.47±0.11 ^{ab}
淀粉	5.30±0.16 ^c	16.42±0.75 ^b	10.12±0.13 ^d	14.29±0.19 ^c	26.78±0.59 ^a
食盐	10.90±0.35 ^a	10.24±0.27 ^b	10.66±0.27 ^{ab}	8.47±0.37 ^c	8.77±0.31 ^c
总酸	0.34±0.01 ^c	0.92±0.01 ^b	0.72±0.02 ^c	0.68±0.01 ^d	1.16±0.03 ^a
氨基酸态氮	0.31±0.01 ^d	0.46±0.02 ^b	0.34±0.00 ^c	0.46±0.01 ^b	0.82±0.03 ^a

注:同行不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。表2同。

如表1所示,腐乳酱水分质量分数较高(52.21%~67.71%),且差异显著($P<0.05$)。可能是阴离子及其离子强度对蛋白凝胶持水力的影响,导致腐乳酱颗粒内凝胶网络的差异^[19]。蛋白质(6.78%~10.85%)、脂肪(4.71%~8.59%)和淀粉(5.30%~26.78%)是腐乳酱的主要营养成分,也是腐乳酱独特风味和质构的物质基础,其含量的差异主要取决于腐乳酱调配辅料、原料大豆以及发酵程度等。例如,BJ-1调配辅料中不含小麦粉,其淀粉含量(5.30%)远低于其他种类腐乳酱。腐乳酱中食盐含量(8.47%~10.90%)低于腐乳(30.08~45.85 g/100 g)^[17],这可能源于腐乳酱调配过程中大量水和辅料的添加降低了食盐的浓度。除了赋予腐乳酱咸味,食盐也可通过影响微生物酶活性,控制腐乳发酵过程中微生物代谢和抑制有害菌生长^[20]。作为衡量腐乳质量和发酵成熟度的重要参数^[21],腐乳酱中氨基酸态氮和总酸差异显著($P<0.05$),质量分数分别为0.31%~0.82%和0.34%~1.16%。微生物发酵过程中蛋白质分解成小分子的肽和氨基酸,是氨基酸态氮的重要来源^[22-23],而总酸则取决于微生物细胞自溶产生的具有羧基侧链的游离氨基酸、脂肪酸、小分子肽、有机酸等^[24]。

2.2 功能成分比较



A. 葛根素和 大豆苷含量; B. 大豆苷元和 染料木素含量; C. γ -氨基丁酸和 皂苷含量; D. 豆甾醇和 β -谷甾醇含量。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 腐乳酱功能成分含量分布

Fig. 1 Contents of functional components in different sufu paste samples

如图1所示,不同腐乳酱功能成分含量差异显著($P<0.05$)。黄酮类化合物对多种疾病具有预防和治疗功效,如消炎、抗老化、抗肿瘤、抑制骨质疏松症、减缓动脉硬化等^[25-26]。由图1A、B可知,葛根素含量最高(4.80~12.18 mg/100 g),其中BJ-1高达12.18 mg/100 g,约为HB的2.5倍。其次分别为染料木素(0.21~0.32 mg/100 g)、大豆苷元(0.12~0.27 mg/100 g)和大豆苷(0.09~0.13 mg/100 g)。但其含量远低于腐乳,比如含盐量为15%腐乳中的大豆苷元和染料木素在后酵第25天可达到最大值12.00 mg/100 g和19.67 mg/100 g,而大豆苷的含量则逐渐下降,直至无法检出,说明糖苷被分解成相应的苷元^[27],马艳莉^[28]和Yin Lijun^[29]等也得出类似结论。研究表明,影响大豆制品中黄酮类化合物含量

的因素很多,包括品种、贮藏条件、子粒部位、加工方法等^[25]。就腐乳酱而言,豆腐制作过程中复杂的工序包括浸泡、蒸煮、磨浆、过滤、成型等,可导致异黄酮流失;另一方面,毛坯制备和腐乳后酵过程中,产生大量 β -葡萄糖苷酶,使异黄酮糖苷被分解成相应的苷元和其他化学成分。 γ -氨基丁酸含量丰富(6.82~13.67 mg/100 g),BJ-1中达13.67 mg/100 g(图1C)。腐乳后熟过程中,微生物生长代谢可有效促进 γ -氨基丁酸的累积,如短乳杆菌和地衣芽孢杆菌^[30-31]。作为豆科植物的主要药效成分之一,大豆皂苷多用于保健品、食品添加剂及化妆品中,具有降血脂以及抗衰老的作用^[32]。腐乳酱中大豆皂苷含量介于1.28 mg/100 g(BJ-2)和3.20 mg/100 g(HB)之间。与其他腐乳酱相比,BJ-1中豆甾醇和 β -谷甾醇均最高,分别为0.07 mg/100 g和0.13 mg/100 g。其中,BJ-1中 β -谷甾醇含量为BJ-2的4倍左右(图1D)。综上所述,不同腐乳酱功能成分含量丰富,BJ-1最高,GD和HB次之。

2.3 呈味氨基酸谱分析

2.3.1 呈味氨基酸组成和含量分析

表2 腐乳酱游离氨基酸含量

Table 2 Free amino acid profiles of different sufu paste samples

游离氨基酸	含量/(mg/g)					阈值/(mg/mL)
	BJ-1	BJ-2	SH	GD	HB	
丝氨酸	ND	<0.01	ND	0.16±0.01 ^a	<0.01	1.50
谷氨酸	0.90±0.01 ^c	2.82±0.03 ^b	2.64±0.04 ^c	1.40±0.03 ^d	3.71±0.03 ^a	0.30
甘氨酸	0.21±0.01 ^b	0.18±0.00 ^c	0.11±0.00 ^d	0.19±0.01 ^c	0.27±0.01 ^a	1.30
丙氨酸	0.50±0.02 ^a	0.37±0.02 ^b	0.37±0.00 ^b	0.50±0.08 ^a	0.50±0.03 ^a	0.60
半胱氨酸	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	<0.01	0.05±0.01 ^a	ND	—
缬氨酸	0.32±0.01 ^b	0.26±0.01 ^c	0.22±0.01 ^d	0.33±0.02 ^b	0.39±0.00 ^a	0.40
蛋氨酸	0.04±0.00 ^d	0.09±0.00 ^b	0.09±0.01 ^b	0.12±0.02 ^a	0.06±0.01 ^c	0.90
异亮氨酸	0.32±0.03 ^b	0.28±0.01 ^c	0.23±0.02 ^d	0.34±0.00 ^b	0.39±0.02 ^a	1.90
亮氨酸	0.53±0.01 ^b	0.42±0.02 ^d	0.37±0.01 ^c	0.51±0.04 ^c	0.60±0.05 ^a	1.90
酪氨酸	0.27±0.00 ^b	0.22±0.03 ^c	0.18±0.02 ^d	0.24±0.01 ^c	0.34±0.00 ^a	—
苯丙氨酸	0.33±0.03 ^a	0.26±0.02 ^b	0.24±0.01 ^b	0.31±0.01 ^a	0.33±0.05 ^a	0.90
组氨酸	0.09±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b	0.08±0.01 ^a	0.06±0.00 ^b	0.20
赖氨酸	0.38±0.02 ^a	0.28±0.01 ^b	0.27±0.00 ^b	0.36±0.01 ^a	0.37±0.05 ^a	0.50
精氨酸	<0.01	ND	0.01±0.00 ^a	ND	<0.01	0.50
脯氨酸	0.29±0.02 ^{ab}	0.28±0.03 ^{ab}	0.21±0.01 ^b	0.23±0.02 ^b	0.47±0.05 ^a	3.00
TFAA	4.17±0.03 ^a	5.54±0.05 ^b	4.99±0.03 ^c	4.81±0.04 ^d	7.48±0.08 ^a	—
EAA	1.91±0.04 ^b	1.59±0.02 ^c	1.42±0.05 ^d	1.96±0.05 ^b	2.13±0.03 ^a	—
AFAA	0.77±0.02 ^b	0.67±0.01 ^c	0.60±0.03 ^d	0.80±0.02 ^b	0.84±0.00 ^a	—
EAA/TFAA	0.46±0.01 ^a	0.29±0.00 ^c	0.28±0.01 ^c	0.41±0.02 ^b	0.29±0.00 ^c	—
AFAA/TFAA	0.18±0.01 ^a	0.12±0.00 ^c	0.12±0.01 ^c	0.17±0.00 ^b	0.11±0.00 ^d	—

注: ND.未检测到; —.阈值未知。

游离氨基酸可作为风味形成的前体物质,对发酵食品尤其是以蛋白为主要发酵基质的大豆发酵食品独特滋味和香气的形成具有重要贡献^[33]。如表2所示,腐乳酱中共检测到15种游离氨基酸,且差异显著($P<0.05$)。谷氨酸最丰富,含量为0.90~3.71 mg/g,亮氨酸次之(0.37~0.60 mg/g)。总游离氨基酸(total free amino acid, TFAA)含量最高的为HB,为7.48 mg/g,其次为BJ-2(5.54 mg/g),SH(4.99 mg/g)和GD(4.81 mg/g)含量相当。必需氨基酸(essential

amino acid, EAA)和抗氧化氨基酸(antioxidative amino acid, AFAA)含量最高的均为HB,分别为2.13 mg/g和0.84 mg/g,而EAA/TFAA和AFAA/TFAA最高的则均为BJ-1,其占比分别为0.46和0.18。游离氨基酸的组成和含量除与原料豆有关外,还与发酵过程中微生物群落结构密切相关,如张慧林等^[34]发现Weissella、Milleromyza和Aspergillus对传统发酵豆酱游离氨基酸含量具有重要影响。

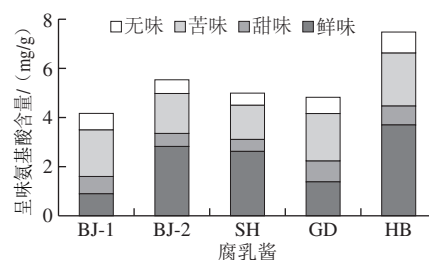


图2 腐乳酱游离氨基酸滋味特征

Fig. 2 Taste characteristics of free amino acids in different sufu paste samples

营养、安全和感官是评价食品的三大要素,而感官质量最重的属性之一是滋味^[35]。因此,根据滋味特征,游离氨基酸被分为鲜味、甜味、苦味和无味4类。由图2可知,HB、BJ-2和SH中鲜味氨基酸为主,其含量分别为3.71、2.82 mg/g和2.64 mg/g,而BJ-1(1.89 mg/g)和GD(1.92 mg/g)中苦味氨基酸略占优势。与腐乳的滋味特征谱一致,即咸味为主,并呈强烈鲜味,略带苦涩味^[17]。鲜味氨基酸包括谷氨酸和天冬氨酸,可作为食品风味增强剂,除源于发酵体系中蛋白质分解代谢,还与腐乳酱调配过程中外源辅料谷氨酸钠的添加密切相关,而苦味氨基酸则可能源于不协调的蛋白水解。甜味和无味氨基酸所占比例较小,且含量相当。各呈味氨基酸相互协作,共同作用,赋予腐乳酱独特滋味特征。

2.3.2 呈味氨基酸PCA

表3 主成分的特征值和贡献率

Table 3 Characteristic values and contributions of principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	7.88	52.56	52.56
2	3.59	23.91	76.47
3	1.67	11.16	87.63
4	0.76	5.08	92.70

表4 主成分的载荷矩阵

Table 4 Loading matrix of principal components

编号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
PC1	0.995	0.969	0.959	0.934	0.934	0.915	0.912	0.835	0.178	0.159	-0.037	0.014	0.529	-0.482	-0.593
PC2	-0.026	0.028	-0.018	0.171	-0.272	-0.269	0.202	0.377	0.930	0.849	-0.758	0.652	-0.623	0.482	-0.139
PC3	0.018	0.191	0.247	-0.197	0.085	0.043	-0.203	-0.065	0.308	0.415	0.581	-0.581	0.083	0.720	-0.130
PC4	0.062	0.107	-0.033	0.040	-0.043	0.204	0.013	0.295	0.024	-0.021	0.150	-0.085	-0.301	-0.011	0.701

注: $X_1 \sim X_{15}$ 分别为丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸、脯氨酸。

PCA利用降维原理,既可简化变量个数,又能获取足量信息,避免了主观随意性^[36]。如表3所示,前4个主成分的贡献率分别为52.56%、23.91%、11.16%、5.08%,累计贡献率为92.70%。说明提取4个主成分较合适,基本包含了所有游离氨基酸的组成信息。综合表3、4可知,PC1主要反映谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸的变异信息,PC2主要反映亮氨酸、酪氨酸、组氨酸的变异信息,PC3主要反映苯丙氨酸、精氨酸的变异信息,PC4主要反映脯氨酸的变异信息。

由于PCA中前4个主成分反映了15个指标变量信息的92.70%,说明利用 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 综合指标对腐乳酱呈味氨基酸进行评价是可行的,其对应的线性关系式分别为:

$$F_1=0.020X_1-0.005X_2+0.118X_3+0.106X_4+0.023X_5+0.123X_6-0.061X_7+0.122X_8+0.126X_9+0.116X_{10}+0.118X_{11}+0.002X_{12}+0.116X_{13}-0.075X_{14}+0.067X_{15}$$

$$F_2=0.237X_1-0.211X_2-0.076X_3+0.105X_4+0.259X_5+0.008X_6+0.134X_7-0.005X_8-0.007X_9-0.075X_{10}+0.048X_{11}+0.182X_{12}+0.056X_{13}-0.039X_{14}-0.174X_{15}$$

$$F_3=0.248X_1+0.347X_2+0.051X_3-0.039X_4+0.184X_5+0.114X_6+0.430X_7+0.148X_8+0.011X_9+0.026X_{10}-0.118X_{11}-0.347X_{12}-0.121X_{13}-0.078X_{14}+0.049X_{15}$$

$$F_4=-0.027X_1+0.197X_2-0.056X_3+0.388X_4+0.031X_5+0.140X_6-0.015X_7-0.044X_8+0.082X_9+0.268X_{10}+0.052X_{11}-0.111X_{12}+0.017X_{13}+0.920X_{14}-0.396X_{15}$$

表5 腐乳酱主成分综合得分及排序

Table 5 Principal component scores and ranking of different sufu paste samples

样品	F_1	F_2	F_3	F_4	F	得分排序
BJ-1	0.35	-0.17	0.31	0.41	0.20	3
BJ-2	0.27	-0.58	1.02	0.70	0.15	4
SH	0.23	-0.53	0.94	0.69	0.13	5
GD	0.33	-0.20	0.58	0.51	0.22	1
HB	0.39	-0.81	1.34	0.92	0.21	2

主成分越重要,方差贡献率越大^[37],以每个主成分所对应的方差贡献率为权重,构建综合评价模型 $F=0.526F_1+0.239F_2+0.112F_3+0.051F_4$,计算各样品综合得分。对不同腐乳酱综合得分进行排序,即可对各个样品的呈味氨基酸组成进行综合评价,结果见表5。总综合评分越高,表示该腐乳酱呈味氨基酸综合品质越好。呈味氨基酸组成综合评分排序为GD>HB>BJ-1>BJ-2>SH。说明不同腐乳酱呈味氨基酸综合质量存在差异,GD的呈味氨基酸综合质量最高,HB次之,SH最低。风味,作为食品的重要属性之一,决定着消费者可接受度。食品风味物质包括呈香(香味)和呈味(滋味)两部分,呈味主要源于游离氨基酸、游离脂肪酸、小分子肽等,而呈香物质主要为挥发性风味物质。本实验仅就腐乳酱

的呈味氨基酸进行综合评价,为腐乳酱的研发、生产工艺改善及消费者选购提供了科学依据。后续研究应聚焦于其他风味成分,并结合感官分析,从而更为全面系统的评价腐乳酱的风味品质。

3 结 论

本实验分析了腐乳酱主要营养、功能成分及呈味氨基酸。结果表明,腐乳酱营养、功能成分丰富,且差异显著($P<0.05$)。共检测到15种游离氨基酸,谷氨酸最丰富,亮氨酸次之。根据呈味特征,HB、BJ-2和SH中鲜味氨基酸为主,而BJ-1和GD中苦味氨基酸略占优势。PCA表明,前4个主成分的累计贡献率为92.70%,可较好地反映呈味氨基酸组成的基本信息。不同腐乳酱呈味氨基酸综合评分存在差异,GD最高,HB次之,SH最低。该研究结果可为腐乳酱的研发、生产工艺改善及消费者选购提供科学依据。腐乳酱食用方便,质量均一,且涂抹性和延展性良好。但目前腐乳生产大多沿用传统工艺,后熟时间长(2~6个月),季节限制严重,厂房占用面积大,降低了其生产效率。而市售腐乳酱均是以块状腐乳为原料进一步调配而成,工艺繁杂,生产周期更为漫长,导致其种类很少,严重制约了规模化生产和推广。因此,未来腐乳酱研究应取长补短,着力于缩短后熟期,如毛坯微细化处理,菌剂强化发酵等,促进腐乳酱产业发展。

参考文献:

- [1] 张雪梅,蒲彪.腐乳的研究概况与发展前景[J].食品与发酵工业,2005,31(5):94-97. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2005.05.024.
- [2] HAN B, WANG J, ROMBOUTS F M, et al. Effect of NaCl on textural changes and protein and lipid degradation during the ripening stage of sufu, a Chinese fermented soybean food[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(9): 899-904. DOI:10.1002/jsfa.1425.
- [3] 陈春雨.少孢根霉发酵腐乳风味配方及安全性检测的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [4] HAN B, ROMBOUTS F M, NOUT M J R. Amino acid profiles of sufu, a Chinese fermented soybean food[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2004, 17(6): 689-698. DOI:10.1016/j.jfca.2003.09.012.
- [5] 王家槐.腐乳的营养与保健功能[J].中国酿造,2002,21(4):4-6. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2002.04.002.
- [6] IWAMI K, MOMOTA H, NATSUME A, et al. A novel method of intracranial injection via the postglenoid foramen for brain tumor mouse models: laboratory investigation[J]. Journal of Neurosurgery, 2012, 116(3): 122-128. DOI:10.3171/2011.10.JNS11852.
- [7] WANG L J, MASAYOSHI S, TATSUMI E. Antioxidative and angiotensin I-converting enzyme inhibitory activities of sufu (fermented tofu) extracts[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2003, 37(2): 129-132. DOI:10.6090/jarq.37.129.
- [8] HIWATASHI K, SHIRAKAWA H, HORI K, et al. Reduction of blood pressure by soybean saponins, renin inhibitors from soybean, in spontaneously hypertensive rats[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2014, 74: 2310-2312. DOI:10.1271/bbb.100328.

- [9] GIBBS B F, ZOUGMAN A, MASSE R, et al. Production and characterization of bioactive peptides from soy hydrolysate and soy-fermented food[J]. Food Research International, 2004, 37(2): 123-131. DOI:10.1016/j.foodres.2003.09.010.
- [10] BARON A D. Postprandial hyperglycaemia and α -glucosidase inhibitors[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 1998, 40(Suppl 1): 51-55. DOI:10.1016/S0168-8227(98)00043-6.
- [11] 鲁绯. 腐乳发酵机理、品质改进和模式识别研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [12] 郑小江, 刘金龙. 功能性腐乳酱产品研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 413-417. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.11.094.
- [13] 周鸿翔, 陈龙, 滕钰, 等. 酶促膏状腐乳酱中相关酶的作用研究[J]. 中国调味品, 2014, 39(7): 57-61. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2014.07.013.
- [14] 李昕, 潘俊娴, 陈士国, 等. 不同生长期野葛与粉葛的活性成分及体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(10): 220-226. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.10.029.
- [15] 师文添, 于学雷, 袁建, 等. 苜蓿比色法测定大豆总皂苷[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 211-214. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.02.047.
- [16] 许晶, 张永忠, 江连洲, 等. 超声波法提取大豆糖蜜中大豆皂苷的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(9): 23-26.
- [17] XIE C Z, ZENG H Y, LI J W, et al. Comprehensive explorations of nutritional, functional and potential tasty components of various types of sufu, a Chinese fermented soybean appetizer[J]. Food Science and Technology, 2019, 39(Suppl 1): 105-114. DOI:10.1590/fst.37917.
- [18] TSENG Y H, LEE Y L, LI R C, et al. Non-volatile flavour components of *Ganoderma tsugae*[J]. Food Chemistry, 2005, 90(3): 409-415. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.03.054.
- [19] WILCOX J, HAGHPANAH R, RUPP E C, et al. Comparative study of chemical composition and texture profile analysis between camembert cheese and Chinese sufu[J]. Biotechnology Frontier, 2012, 1(1): 1-8.
- [20] KANG W L, SHIM J M, DONG W K, et al. Effects of different types of salts on the growth of lactic acid bacteria and yeasts during kimchi fermentation[J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(2): 489-498. DOI:10.1007/s10068-017-0251-7.
- [21] XIA X, LI G, ZHENG J, et al. Biochemical, textural and microstructural changes in whole-soya bean cotyledon sufu during fermentation[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(8): 1834-1841. DOI:10.1111/ijfs.12492.
- [22] CARDOSO V M, BORELLI B M, LARA C A, et al. The influence of seasons and ripening time on yeast communities of a traditional Brazilian cheese[J]. Food Research International, 2015, 69: 331-340. DOI:10.1016/j.foodres.2014.12.040.
- [23] BORLA O P, DAVIDOVICH L, ROURA S. Isolation and characterization of proteolytic microorganisms from fresh and fermented cabbage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(2): 298-301. DOI:10.1016/j.lwt.2009.07.006.
- [24] 余若黔, 涂煜, 李杰伟, 等. 腐乳培菌期的生化变化[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2001, 29(4): 49-52. DOI:10.3321/j.issn:1000-565X.2001.04.013.
- [25] 高秀芝, 刘慧, 丁雪莲, 等. 大豆异黄酮的研究与应用进展[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 386-392. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.11.104.
- [26] BAGLIA M L, GU K, ZHANG X, et al. Soy isoflavone intake and bone mineral density in breast cancer survivors[J]. Cancer Causes and Control, 2015, 26(4): 571-580. DOI:10.1007/s10552-015-0534-3.
- [27] 周茨, 潘思秩. 大豆异黄酮组分在腐乳后酵过程中的变化[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 101-104. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201021023.
- [28] 马艳莉, 夏亚男, 王颖, 等. 青方腐乳发酵过程中大豆异黄酮的转化研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(6): 249-253. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.039.
- [29] YIN L J, LI L, LI Z, et al. Changes in isoflavone contents and composition of sufu (fermented tofu) during manufacturing[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 587-592. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.01.011.
- [30] ZHAO C, ZHANG Y, WEI X, et al. Production of ultra-high molecular weight poly- γ -glutamic acid with *Bacillus licheniformis* P-104 and characterization of its flocculation properties[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2013, 170(3): 562-572. DOI:10.1007/s12010-013-0214-2.
- [31] WU Q, SHAH N P. High γ -aminobutyric acid production from lactic acid bacteria: emphasis on *Lactobacillus brevis* as a functional dairy starter[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 57(17): 3661-3672. DOI:10.1080/10408398.2016.1147418.
- [32] 刘宏帅, 吴晓俊, 胡之璧. 大豆皂苷药理活性及抗癌机制研究进展[J]. 国际药学研究杂志, 2013, 40(1): 79-84. DOI:10.13220/j.cnki.jipr.2013.01.007.
- [33] XIE C, ZENG H, WANG C, et al. Volatile flavour components, microbiota and their correlations in different sufu, a Chinese fermented soybean food[J]. Journal of Applied Microbiology, 2018, 125(6): 1761-1773. DOI:10.1111/jam.14078.
- [34] 张慧林, 王永胜, 李冲伟. 传统发酵豆酱的微生物群落结构和游离氨基酸组成及其相关性分析[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 192-197. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180812-102.
- [35] 张梅秀, 王锡昌, 刘源. 食品中的呈味肽及其呈味机理研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 320-326.
- [36] AI Y J, LIANG P, WU Y X, et al. Rapid qualitative and quantitative determination of food colorants by both Raman spectra and surface-enhanced Raman scattering (SERS)[J]. Food Chemistry, 2018, 241: 427-433. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.09.019.
- [37] 解春芝, 曾海英, 宋杰, 等. 不同种类腐乳游离脂肪酸组成分析及营养评价[J]. 中国酿造, 2018, 37(2): 39-44. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2018.02.009.