

不同品种蚕豆发酵甜瓣子非挥发性风味物质对比分析

蒋四强^{1,2}, 李雄波², 邓维琴², 范智义², 李恒², 卢付清², 李益恩², 李龙², 王泽亮², 陈功^{2*}

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106)

(2. 四川省食品发酵工业研究设计院有限公司, 四川成都 611130)

摘要: 为研究不同品种蚕豆发酵甜瓣子中非挥发性风味物质的特异性, 通过对比分析、PLS-DA 聚类分析, 结合感官评价, 探究 11 种甜瓣子中有机酸、脂肪酸和游离氨基酸组成与含量的差异性。结果显示, 不同品种蚕豆发酵甜瓣子营养成分差异性显著 ($P<0.05$)。CH 系列和 QY 甜瓣子有机酸 (0.93~1.13 g/100 g) 与游离氨基酸 (43.18~45.65 g/kg) 含量较高; TCX 甜瓣子有机酸 (1.00 g/100 g) 和脂肪酸 (2 808.88 $\mu\text{g/g}$) 含量相对较高; YD 和 SCZG 甜瓣子脂肪酸总量较高, 其它营养成分含量相对较低。PLS-DA 品质差异性分析发现不同品种甜瓣子品质有较大差异。通过变量重要性排序发现品质差异主要与苯丙氨酸、精氨酸、草酸等 14 种 VIP 值 >1 的化合物有关。感官评分结果显示, CH 系列和 QY 甜瓣子的感官评分较高 (77.26 分~82.75 分), 品质更好。综上认为 QY 和 CH 系列蚕豆发酵甜瓣子中含有更丰富的有机酸、脂肪酸以及游离氨基酸, 感官综合评分更高, 拥有较好的风味品质, 适宜用来加工甜瓣子。

关键词: 蚕豆品种; 甜瓣子; 非挥发性风味物质; 对比分析

文章编号: 1673-9078(2023)08-264-272

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.1133

Comparative Analysis of Non-volatile Flavor Substances in Fermented Broad Bean Paste-meju from Different Broad Bean Cultivars

JIANG Siqiang^{1,2}, LI Xiongbo², DENG Weiqin², FAN Zhiyi², LI Heng², LU Fuqing², LI Yien², LI Long²,
WANG Zeliang², CHEN Gong^{2*}

(1. College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

(2. Sichuan Academy of Food and Fermentation Industries Co. Ltd., Chengdu 611130, China)

Abstract: The specificity of non-volatile flavor substances in broad bean paste-meju (BBPM) fermented using different broad bean cultivars was investigated in this study. BBPM made from 11 different cultivars were used to explore differences in their compositions and contents of organic acids, fatty acids, and free amino acids through comparative analysis, partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA), and sensory evaluation. The results suggest that the nutritional compositions of fermented BBPM using different cultivars of broad beans are significantly different ($P<0.05$). CH and QY BBPM had higher levels of organic acids (0.93~1.13 g/100 g) and free amino acids (43.18~45.65 g/kg). The organic acid (1.00 g/100 g) and fatty acid (2 808.88 $\mu\text{g/g}$) contents of TCX BBPM were relatively high. The total amounts of fatty acids in YD and SCZG BBPM were higher, but the contents of other nutrients were relatively low. The clustering in PLS-DA analysis revealed that compositions of the different BBPMs were significantly different. From the variable importance rankings, it was noted that the difference was mainly attributed to 14 compounds with VIP values greater than one, such as phenylalanine, arginine, and oxalic acid. Sensory scoring results showed that CH and QY BBPM had higher sensory scores (77.26~82.75) and therefore, better quality. In summary, our results show that the QY and CH BBPM contain more organic acids, fatty acids, and free amino acids, with higher sensory composite scores and better flavor quality. Hence, these broad bean cultivars may be preferable in BBPM production.

引文格式:

蒋四强, 李雄波, 邓维琴, 等. 不同品种蚕豆发酵甜瓣子非挥发性风味物质对比分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 264-272

JIANG Siqiang, LI Xiongbo, DENG Weiqin, et al. Comparative analysis of non-volatile flavor substances in fermented broad bean paste-meju from different broad bean cultivars [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 264-272

收稿日期: 2022-09-08

基金项目: 四川省科技计划资助项目 (2022YFQ0029)

作者简介: 蒋四强 (1996-), 男, 硕士, 研究方向: 传统发酵食品, E-mail: 1481426771@qq.com; 共同第一作者: 李雄波 (1993-), 男, 硕士, 助理工程师,

研究方向: 传统发酵食品, E-mail: Li1129531722@163.com

通讯作者: 陈功 (1964-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向: 传统发酵食品, E-mail: foodcg@163.com

Key words: broad bean cultivars; broad bean paste-meju; non-volatile flavor substances; comparative analysis

郫县豆瓣酱是川菜中重要的香辣调味料,具有酥脆、红褐油润、回味醇厚、酱香浓郁等特点,被喻为“川菜之魂”^[1]。甜瓣子是郫县豆瓣酱的重要组成部分,由蚕豆曲和一定量的盐水混合发酵得到。利用蚕豆制曲积累的酶系及微生物作用将蚕豆中的淀粉、蛋白质、脂肪等大分子物质分解,代谢产生有机酸、氨基酸、脂肪酸等物质,再经一系列生化反应产生醇、醛、酸和酯等复杂的风味物质,最终形成甜瓣子独特的风味,甜瓣子品质是决定郫县豆瓣品质的关键。

甜瓣子的品质主要受发酵工艺^[2]、发酵条件、微生物^[3]以及原料^[4]等因素的影响,其中原料对甜瓣子品质影响显著。蚕豆作为郫县豆瓣的主要原料,含有丰富的淀粉、蛋白质、脂肪等营养物质,是有机酸、脂肪酸以及廉价蛋白质得重要来源^[5]。有机酸是郫县豆瓣中酸味的主要来源, Yang 等^[6]发现豆瓣酱有 7 种有机酸,以柠檬酸和苹果酸为主要成分。甜瓣子在发酵过程中产生丰富的脂肪酸,这些脂肪酸不仅是郫县豆瓣中醛类、醇类和呋喃等风味成分的前体物质^[7],而且在发酵过程中还赋予豆瓣油亮的特性。Zhang 等^[8]在豆瓣酱中定量检测到 9 种脂肪酸,包括多种饱和、单不饱和与多不饱和脂肪酸,适量摄入这些脂肪酸有益于预防心血管疾病、癌症等疾病^[9]。游离氨基酸是甜瓣子发酵过程中的重要产物,可使郫县豆瓣鲜味柔和,增进色泽,调和香气。Yang 等^[10]在豆瓣酱中发现 17 种游离氨基酸,其中谷氨酸与门冬氨酸为主要氨基酸,对郫县豆瓣滋味贡献极大^[11],因此游离氨基酸也成为评价郫县豆瓣质量的重要指标。但有学者研究发现不同品种豆类中有机酸、脂肪酸和游离氨基酸等化学组成有明显区别^[12],而这些差异成分在加工过程中可能直接影响豆瓣的品质^[13]。

目前,郫县豆瓣生产用的蚕豆品种比较混杂,不利于提升产品品质,而关于蚕豆品种对郫县豆瓣品质影响的研究较少。因此,本研究在前期研究的基础上,进一步对 11 种蚕豆为原料制备甜瓣子,分析甜瓣子中游离氨基酸、有机酸和脂肪酸的组成及含量差异,利用 PLS-DA 分析,结合感官评价明确不同品种蚕豆发酵甜瓣子的品质差异,以期对郫县豆瓣发酵专用蚕豆品种适宜性评价提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

原料: 9 种蚕豆由四川省农业科学院作物所提供,其余 2 种分别来自企业以及市场采购,具体信息见表 1 (文中样品名以蚕豆编号显示),曲精购自济宁玉园生物有限公司,面粉来自市场采购。

表 1 蚕豆品种信息

蚕豆编号	样品品种	收获时间	来源
CH18	成胡 18	2019 年 5 月	四川省农业 科学院作物所
CH19	成胡 19	2019 年 5 月	
CH20	成胡 20	2019 年 5 月	
CH21	成胡 21	2019 年 5 月	
CH22	成胡 22	2019 年 5 月	
CH23	成胡 23	2019 年 5 月	
CDDB	成都大白	2019 年 5 月	
TCX	通蚕鲜	2019 年 5 月	
YD	云豆 2662	2019 年 5 月	
QY	企业云南 1 号	2019 年 5 月	
SCZG	市场云南 2 浩	2019 年 5 月	市场自购

试剂: 草酸、柠檬酸、苹果酸、琥珀酸、乙酸: 色谱纯,上海源叶生物科技有限公司; 17 种氨基酸(丙氨酸、精氨酸、天冬氨酸、胱氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸、丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸、缬氨酸)混合标准品、乙腈: 色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司; 乙酸、三乙胺、异硫氰酸苯酯: 分析纯,成都市科隆化学品有限公司; 4-甲基-2-戊醇: 色谱纯,阿法埃莎(中国)化学有限公司; 37 种脂肪酸甲酯标准品,上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

Agilent 1260 Infinity II 高效液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司; LC-2030 型高效液相色谱仪(配紫外检测器),美国安捷伦科技有限公司; DZKW-4 型恒温水浴锅,北京中兴伟业仪器有限公司; ESJ200-4A 型分析天平,沈阳龙腾电子有限公司; TGL-20bR 型冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂; KQ-500DE 型超声波清洗仪,昆山市超市仪器有限公司; Milli-Q 超纯水器,美国 Millipore 公司; VORTEX-2 型旋涡混合器,美国 GENE 公司; 台式高速离心机,德国 SORVAL 公司; AR5120 电子天平,美国 AHOMS 公司; 恒温水浴锅,南京先欧仪器; TSQ 8000 EVO, Thermo Scientific 公司。



图1 甜瓣子工艺流程图

Fig.1 Process flow charts of broad bean paste-meju

1.3 实验方法

1.3.1 甜瓣子的制备方法

以11个品种蚕豆为原料,称取一定质量的蚕豆,在沸水中漂烫3 min后立即放入冷水中冷却,沥干水分后与质量分数为0.03%曲精和15%面粉混合(曲精和面粉提前混匀),30℃培养48 h得到豆瓣曲。最后按照豆瓣曲:水:盐=1:1:0.35 (m/m/m)混匀制得酱醅,将酱醅装入消毒后的玻璃罐中,转移至30℃培养箱中发酵,每2 d进行搅拌养护,发酵60 d得到甜瓣子。

1.3.2 有机酸检测方法

参照李雄波^[14]建立的HPLC检测方法进行测定。

1.3.3 游离氨基酸检测方法

参照李雄波^[14]建立的HPLC检测方法进行测定。

1.3.4 脂肪酸检测方法

参照GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》第二法外标法中水解-提取法进行测定。

1.3.5 感官评分

表2 甜瓣子感官评分标准

Table 2 Sensory scoring standards for broad bean paste-meju

项目	评分标准	得分/分
香气 (30)	无酱香、酯香味,有异味	0~10
	酱香、酯香味不浓郁	11~20
	酱香、酯香味浓郁,无不良气味	21~30
滋味 (30)	无鲜味,咸味很浓郁/淡,有酸味	0~10
	鲜味较轻,咸味浓郁/淡,无异味	11~20
	味鲜醇厚,咸甜适口,无异味	21~30
形态 (15)	瓣子软烂,汤汁稀/稠	0~5
	瓣子较完整,汤汁较稀/较稠	6~10
	瓣子完整,汤汁粘稠适度	11~15
色泽 (15)	土黄色,无光泽	0~5
	黄棕色,光泽较弱	6~10
	红棕色/深褐色,有光泽	11~15
质地 (10)	瓣子质地硬/软	0~4
	瓣子质地较硬/较软	5~7
	瓣子质地软硬适中	8~10

参照GB/T 20560-2006《地理标志产品郫县豆瓣》^[15]和唐筱扬等^[16]报道方法,由12名(男6名,女6名)经过感官评定训练的人员组成评价小组,对不同品种蚕豆发酵甜瓣子的香气(0~30分)、滋味

(0~30分)、形态(0~15分)、色泽(0~15分)、质地(0~10分)5个方面进行感官品质评定。感官评定标准见表2。

1.3.6 数据分析

采集数据时对每个样品进行3次平行处理,各项结果进行平行检测,以“平均数±标准偏差”表示,采用Excel 2019、SIMACA 14.1、Origin 2019作图,SPSS 23对数据进行两两比较和差异分析,显著水平定为0.05,置信区间为95%。

2 结果与分析

2.1 不同品种蚕豆发酵甜瓣子有机酸组成与含量分析

在发酵过程中,有机酸主要由大分子物质经水解及微生物等作用产生,形成发酵食品独特的风味^[17]。由图1a可知,不同品种甜瓣子中有机酸总量差异显著($P<0.05$),有机酸总量在0.58~1.13 g/100 g之间。其中CH18、CH22与QY甜瓣子有机酸总量差异较小,总量在1.03~1.13 g/100 g之间;YD和SCZG甜瓣子中有机酸总量处于较低水平,总量均低于0.65 g/100 g,其他甜瓣子中有机酸总量差异不大。

不同品种甜瓣子中有机酸含量及组成如图2b显示,11种不同品种甜瓣子均检测出5种有机酸,分别为草酸、柠檬酸、苹果酸、琥珀酸和乙酸。苹果酸为含量最高的有机酸,在不同品种甜瓣子中含量差异较大(0.25 g/100 g~0.64 g/100 g),TCX甜瓣子中苹果酸含量最高(0.64 g/100 g),YD与SCZG甜瓣子中苹果酸含量较低,分别为0.25 g/100 g、0.28 g/100 g。苹果酸具有特殊愉悦的酸味,有研究表明,发酵食品中苹果酸和柠檬酸的产生与 *Leuconostoc*、*Staphylococcus* 和 *Bacillus* 有较强的相关性^[18]。琥珀酸对发酵食品的酸味有显著贡献^[9],在不同品种甜瓣子中琥珀酸含量仅次于苹果酸,含量差异相对较小,CH19、CH21、CH22、CH23和QY甜瓣子中琥珀酸含量较高,含量在0.26 g/100 g~0.29 g/100 g之间;而YD、TCX以及SCZG甜瓣子中琥珀酸含量显著低于其他品种(0.14 g/100 g~0.17 g/100 g)。柠檬酸含量在SCZG甜瓣子中含量较低,其余甜瓣子样品中柠檬酸含量差异

较小。草酸、乙酸在甜瓣子中含量均较低，但对甜瓣子的滋味有一定的贡献。不同品种蚕豆制备甜瓣子中有机酸种类及含量存在一定差异，说明原料品种对甜瓣子发酵中有机酸形成有一定影响。且已有研究结果显示，有机酸含量与组成可能会影响后期豆瓣发酵，进而对豆瓣独特风味的形成产生影响^[20]。

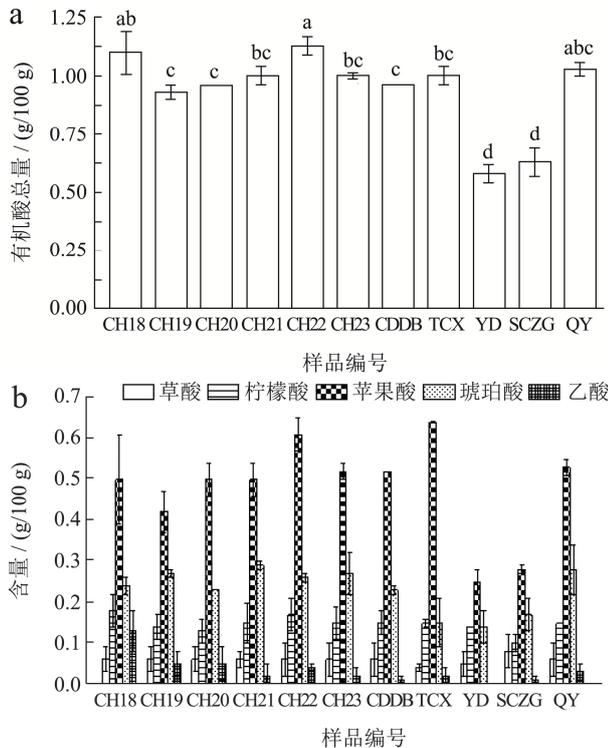


图2 不同品种甜瓣子有机酸含量与组成

Fig.2 Organic acid content and composition of different cultivars of broad bean paste-meju

注：a 有机酸总含量，b 有机酸组成及含量。图 a 中柱上字母不同表示品种间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同品种甜瓣子脂肪酸组成与含量分析

脂肪酸由微生物代谢分解脂肪而来，不仅是豆瓣中重要的营养物质，更是豆瓣发酵过程中酯类、醇类、醛类等风味成分的重要来源^[21]。11 种不同品种甜瓣子脂肪酸含量与组成如表 3 所示。不同品种甜瓣子中总脂肪酸以 (PUMAs) 多不饱和脂肪酸为主 (887.43~1 959.15 $\mu\text{g/g}$)，其次为 (MUFA) 单不饱和脂肪酸 (455.5~806.88 $\mu\text{g/g}$)，(SFA) 饱和脂肪酸含量较低，均在 450 $\mu\text{g/g}$ 以下，且不同品种甜瓣子脂肪酸总量有较大差异 (变异系数 16.81%)。11 种甜瓣子中与 YD 甜瓣子中脂肪酸总量显著高于其他品种，为 3 254.70 $\mu\text{g/g}$ ，SCZG 和 TCX 甜瓣子脂肪酸总量相对较高，分别为 2 661.99、2 808.88 $\mu\text{g/g}$ 。CH 系列甜瓣子脂肪酸总量差异较小 (2 260.18~2 439.07 $\mu\text{g/g}$)，QY 甜瓣子脂肪酸总量较低 (2 166.54 $\mu\text{g/g}$)，CDDB 甜瓣

子脂肪酸总量最低，仅 1 621.09 $\mu\text{g/g}$ 。

共检出 15 种脂肪酸，以亚油酸、油酸和棕榈酸为主，其中亚油酸为含量最高的多不饱和脂肪酸 (824.91~1 862.88 $\mu\text{g/g}$)，占多不饱和脂肪酸总量的 91.5%~95.1%，不同品种甜瓣子中含量差异较大 (变异系数 20.84%)，在 YD 甜瓣子中含量最高，为 1 862.88 $\mu\text{g/g}$ ，CDDB 甜瓣子中最低 (824.911 $\mu\text{g/g}$)。油酸在 TCX 与 CDDB 甜瓣子中分别有最高含量 802.75 $\mu\text{g/g}$ 和最低含量 412.44 $\mu\text{g/g}$ ，占单不饱和脂肪酸总量的 85.8%~93.1%。亚油酸与油酸是人体所需的必须脂肪酸，可通过氧化、酶系降解生成醛类、酮类、醇类以及酚类等风味物质，而酚类等抗氧化剂的次要成分在疾病预防中发挥了重要作用^[22]。适量的亚油酸和油酸有利于增加挥发性风味物质的组成与含量，过多则会产生不愉快的味道^[23]。棕榈酸为主要的饱和脂肪酸，含量相对较低 (176.87~302.07 $\mu\text{g/g}$)，不同品种甜瓣子中含量差异相对较小，与冉玉琴等^[24]的研究结果相符。花生油酸、11,14-二十碳二烯酸、肉豆蔻酸、花生酸、二十一烯酸以及棕榈油酸在不同品种甜瓣子中含量较低，但品种间含量差异较大，其中棕榈油酸仅存在于 CH18 甜瓣子中，可能对其独特风味品质的形成产生影响。硬脂酸在 CH18 甜瓣子中含量最高 (104.01 $\mu\text{g/g}$)，其余脂肪酸在甜瓣子中含量普遍较低。脂肪酸是郫县豆瓣风味的重要来源，而蚕豆产地的气候、品种以及种植环境可能是造成甜瓣子中脂肪酸含量及组成存在差异的原因^[25,26]，进而导致不同品种甜瓣子之间品质出现差异。

2.3 不同品种甜瓣子游离氨基酸组成与含量分析

游离氨基酸不仅是风味物质的重要组成物质，可以直接改善豆瓣酱的滋味，同时也是某些特征风味物质形成的前提物质，对豆瓣酱风味有重要的贡献^[27]。对 11 种甜瓣子中游离氨基酸进行统计分析，结果如表 4 所示。所有甜瓣子中均检出 17 种游离氨基酸，包括 7 种必需氨基酸 (EEA)、2 种半必需氨基酸 (SEEA)、8 种非必需氨基酸 (NEEA)。从总氨基酸含量来看，不同品种甜瓣子氨基酸总量差异较大，CH20 与 QY 甜瓣子氨基酸总量处于较高水平，分别为 47.72 g/kg、45.65 g/kg。YD 甜瓣子含量最低，仅 30.74 g/kg。从必需氨基酸 (EEA) 含量来看，含量最高的是 CH20 甜瓣子，含量为 18.83 g/kg；含量最低是 YD 甜瓣子，含量为 12.18 g/kg。

表 3 不同种甜瓣子脂肪酸含量与组成

Table 3 Fatty acid content and composition of different cultivars of broad bean paste-meju ($\mu\text{g/g}$)

脂肪酸	CH18	CH19	CH20	CH21	CH22	CH23	SCZG	TCX	YD	QY	CDDB	变异系数/%
棕榈油酸	3.73±0.13 ^a	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	331.66
油酸	750.37±0.24 ^b	657.64±0.17 ^d	599.62±0.39 ^{ef}	610.88±0.52 ^e	735.20±1.13 ^{bc}	640.46±0.41 ^{de}	719.27±0.26 ^c	802.75±0.26 ^a	719.61±0.19 ^e	522.76±0.27 ^e	412.44±0.56 ^b	17.29
花生油酸	51.98±0.34 ^{cd}	51.27±0.29 ^{ef}	67.86±0.17 ^d	71.40±0.56 ^c	55.67±0.31 ^e	68.54±0.31 ^d	85.19±0.34 ^b	64.69±0.53 ^d	118.84±0.29 ^a	58.21±0.45 ^e	43.06±0.37 ^e	30.95
亚油酸	1 123.16±0.34 ^d	1 091.14±0.18 ^{de}	1 155.88±0.48 ^d	1 242.83±0.48 ^c	1 156.85±0.28 ^d	1 208.51±0.12 ^c	1 382.38±0.61 ^b	1 388.66±0.59 ^b	1 862.88±0.34 ^a	1 144.71±0.37 ^d	824.91±0.47 ^e	20.84
α -亚麻酸	9.02±0.34 ^{cd}	9.46±0.45 ^d	10.33±0.39 ^{cd}	10.43±0.15 ^e	9.80±0.76 ^{cd}	8.42±0.43 ^b	10.28±0.57 ^b	12.05±0.48 ^b	14.39±0.91 ^a	8.78±0.21 ^{cd}	5.98±0.56 ^{de}	21.46
11,14-二十碳二烯酸	0.00	3.10±0.56 ^c	3.07±0.63 ^c	4.11±0.52 ^{cd}	4.82±0.14 ^c	4.80±0.61 ^c	5.09±0.34 ^b	5.62±0.67 ^a	4.16±0.41 ^{cd}	3.46±0.54 ^e	2.90±0.56 ^e	41.08
花生四烯酸油酯	59.63±0.31 ^d	89.21±0.35 ^a	77.78±0.31 ^b	75.36±0.67 ^{bc}	77.75±0.14 ^b	70.75±0.65 ^c	73.95±0.72 ^{bc}	81.88±0.51 ^{ab}	77.72±0.54 ^b	69.38±0.76 ^c	53.64±0.27 ^d	13.53
肉豆蔻酸	9.43±0.45 ^c	7.11±0.56 ^f	7.01±0.49 ^f	9.15±0.45 ^{de}	9.28±0.67 ^d	8.19±0.34 ^c	6.15±0.34 ^e	18.64±0.81 ^a	6.24±0.58 ^e	11.99±0.57 ^b	9.18±0.34 ^{de}	38.00
十五烷酸	8.10±0.23 ^d	9.11±0.34 ^c	9.30±0.79 ^c	9.19±0.45 ^c	10.05±0.25 ^b	10.02±0.71 ^b	10.57±0.14 ^a	8.85±0.31 ^{cd}	10.35±0.12 ^{ab}	8.75±0.56 ^{cd}	7.18±0.27 ^e	10.96
棕榈酸	270.50±0.78 ^b	224.45±0.51 ^d	224.40±0.25 ^d	239.94±0.67 ^{cd}	258.62±0.13 ^c	216.69±0.12 ^{de}	252.10±0.54 ^c	302.07±0.32 ^a	292.97±0.45 ^{ab}	223.01±0.91 ^d	176.87±0.34 ^e	14.92
十七碳酸	6.32±0.23 ^{cd}	6.52±0.45 ^{cd}	7.15±0.45 ^{bc}	7.67±0.15 ^b	8.81±0.23 ^a	6.18±0.45 ^{cd}	6.39±0.57 ^{cd}	7.78±0.57 ^b	6.93±0.45 ^c	6.77±0.67 ^c	6.13±0.63 ^d	11.92
硬脂酸	104.01±0.34 ^a	77.43±0.56 ^{cd}	76.45±0.45 ^{cd}	81.80±0.47 ^c	81.75±0.67 ^c	70.90±0.37 ^d	65.09±0.69 ^{de}	77.64±0.67 ^{cd}	91.42±0.67 ^b	69.76±0.36 ^d	54.67±0.56 ^e	16.92
花生酸	18.83±0.38 ^{cd}	20.74±0.37 ^c	20.41±0.57 ^c	19.60±0.56 ^{cd}	15.88±0.67 ^d	20.19±0.19 ^c	27.49±0.67 ^b	23.65±0.27 ^{bc}	34.99±0.45 ^a	22.42±0.63 ^{bc}	13.5±0.59 ^e	26.67
二十一碳酸	3.01±0.39 ^b	1.60±0.47 ^d	1.88±0.48 ^{cd}	3.22±0.75 ^b	2.18±0.23 ^c	1.63±0.13 ^d	5.02±0.71 ^a	1.45±0.37 ^e	3.24±0.45 ^b	2.29±0.34 ^e	1.73±0.38 ^{cd}	43.22
山萘酸	10.64±0.38 ^d	11.39±0.49 ^{cd}	14.95±0.34 ^a	10.74±0.27 ^d	12.41±0.28 ^e	13.79±0.18 ^{ab}	13.00±0.18 ^b	13.15±0.27 ^b	10.96±0.12 ^d	14.25±0.37 ^a	8.86±0.37 ^e	15.07
MUFA (1-3)	806.08	708.91	667.48	682.28	790.87	709.00	455.50	867.44	838.45	580.97	804.46	16.97
PUFAs (4-7)	1191.81	1192.91	1247.06	1332.73	1249.22	1292.48	887.43	1488.21	1959.15	1226.33	1471.70	20.01
SFA (8-15)	430.84	358.35	361.55	381.31	398.98	347.59	278.16	453.23	457.10	359.24	385.81	13.53
总计	2428.73	2260.18	2276.10	2396.33	2439.07	2349.06	2661.99	2808.88	3254.70	2166.54	1621.09	16.81

注: ND 表示未检出注, 同行字母不同表差异显著 ($p<0.05$), 下同。

表 4 不同品种甜瓣子游离氨基酸含量与组成

Table 4 Free amino acid content and composition of different cultivars of broad bean paste-meju (g/kg)

氨基酸种类	CHI8	CHI9	CH20	CH21	CH22	CH23	CDDB	TCX	YD	QY	SCZG	变异系数/%
苏氨酸(Thr)	1.67±0.24 ^{ab}	1.72±0.25 ^{ab}	1.84±0.2 ^a	1.68±0.22 ^{ab}	1.62±0 ^{ab}	1.64±0.04 ^{ab}	1.56±0.04 ^{ab}	1.72±0.21 ^{ab}	1.31±0.04 ^b	1.79±0.06 ^a	1.72±0.16 ^{ab}	10.80
缬氨酸(Val)	2.43±0.02 ^{bcd}	2.36±0.11 ^{cd}	2.63±0.02 ^a	2.35±0.04 ^{cd}	2.35±0.11 ^{cd}	2.49±0.04 ^{abc}	2.28±0.02 ^d	2.36±0.1 ^{bcd}	1.68±0.13 ^e	2.54±0.04 ^{ab}	2.35±0.08 ^{cd}	10.38
苯丙氨酸(Phe)	2.37±0.06 ^{ab}	2.29±0.16 ^{ab}	2.56±0.11 ^a	2.28±0.13 ^{ab}	2.33±0.13 ^{ab}	2.51±0.12 ^a	2.18±0.11 ^b	2.18±0.19 ^b	1.64±0.18 ^e	2.47±0.08 ^{ab}	2.45±0.04 ^{ab}	11.45
异亮氨酸(Ile)	2.22±0.01 ^{bc}	2.18±0.04 ^{bcd}	2.42±0.04 ^a	2.15±0.04 ^{cd}	2.14±0.05 ^{cd}	2.31±0 ^{ab}	2.06±0.01 ^d	2.15±0.11 ^{cd}	1.55±0.09 ^e	2.38±0.05 ^a	2.24±0.05 ^{bc}	10.59
亮氨酸(Leu)	3.85±0.04 ^{abc}	3.74±0.12 ^{bc}	4.23±0.04 ^a	3.77±0.13 ^{bc}	3.71±0.27 ^{bc}	3.98±0.16 ^{ab}	3.53±0.17 ^c	3.54±0.22 ^c	2.51±0.25 ^e	3.99±0.08 ^{ab}	3.75±0.11 ^{bc}	12.08
赖氨酸(Lys)	4.32±0.49 ^{ab}	4.16±0.56 ^{ab}	4.57±0.43 ^a	4.09±0.51 ^{ab}	4.14±0.43 ^{ab}	4.27±0.41 ^{ab}	4.03±0.39 ^{ab}	4.12±0.64 ^{ab}	3.06±0.52 ^b	4.34±0.49 ^{ab}	3.91±0.42 ^{ab}	12.59
蛋氨酸(Met)	0.53±0 ^{de}	0.54±0.01 ^{cd}	0.58±0.02 ^a	0.53±0.01 ^{de}	0.53±0.01 ^{cde}	0.55±0.01 ^{bcd}	0.54±0 ^{bcd}	0.57±0.02 ^{ab}	0.43±0.01 ^f	0.56±0.01 ^{abc}	0.51±0.01 ^e	7.28
组氨酸(His)	1.33±0.07 ^{ab}	1.31±0.1 ^{ab}	1.42±0.06 ^a	1.28±0.1 ^{ab}	1.33±0.02 ^{ab}	1.37±0.03 ^{ab}	1.28±0.04 ^{ab}	1.22±0.1a ^b	0.99±0.09 ^e	1.37±0.04 ^{ab}	1.29±0.04 ^{ab}	9.50
精氨酸(Arg)	3.9±0.09 ^e	4.4±0.01 ^{ab}	4.52±0.04 ^a	4.05±0.01 ^{de}	4.14±0.01 ^{cd}	4.2±0.04 ^{cd}	3.51±0.04 ^f	0.97±0.02 ^h	3.61±0.16 ^f	3.24±0.02 ^g	4.24±0.16 ^{bc}	26.10
谷氨酸(Glu)	6.76±0.4 ^{ab}	6.09±0.49 ^{ab}	7.08±0.28 ^{ab}	6.32±0.45 ^{ab}	6.46±0.4 ^{ab}	6.62±0.42 ^{ab}	6.67±0.41 ^{ab}	6.84±0.68 ^{ab}	3.72±0.43 ^e	7.24±0.51 ^a	4.6±0.27 ^c	17.81
门冬氨酸(Asp)	3±0.29 ^{ab}	2.85±0.19 ^{ab}	3.13±0.34 ^{ab}	2.91±0.22 ^{ab}	2.8±0.21 ^b	2.92±0.2 ^{ab}	2.73±0.21 ^b	3.15±0.13 ^{ab}	1.48±0.06 ^e	3.35±0.23 ^a	1.85±0.17 ^c	20.96
丝氨酸(Ser)	2.59±0.07 ^{bc}	2.58±0.12 ^{bc}	2.83±0.06 ^a	2.58±0.13 ^{bc}	2.43±0.06 ^{cde}	2.56±0.01 ^{bcd}	2.36±0.04 ^{de}	2.36±0.14 ^{de}	1.79±0.11 ^f	2.68±0.02 ^{ab}	2.32±0.06 ^e	11.02
甘氨酸(Gly)	1.33±0.1 ^{ab}	1.36±0.06 ^{ab}	1.45±0.11 ^a	1.34±0.06 ^{ab}	1.26±0.06 ^{ab}	1.32±0.09 ^{ab}	1.27±0.08 ^{ab}	1.33±0.04 ^{ab}	0.99±0.01 ^e	1.38±0.13 ^{ab}	1.18±0.12 ^{bc}	10.44
丙氨酸(Ala)	2.18±0.08 ^{ab}	2.25±0.14 ^{ab}	2.41±0.08 ^a	2.21±0.13 ^{ab}	2.15±0.11 ^{ab}	2.2±0.1 ^{ab}	2.16±0.08 ^{ab}	2.27±0.16 ^{ab}	1.64±0.17 ^e	2.26±0.11 ^{ab}	2.06±0.05 ^b	9.55
脯氨酸(Pro)	1.46±0.13 ^a	1.46±0.09 ^a	1.6±0.14 ^a	1.5±0.1 ^a	1.41±0.06 ^a	1.42±0.08 ^a	1.37±0.07 ^a	1.02±0.01 ^b	1.02±0.09 ^b	1.36±0.11 ^a	1.44±0.14 ^a	14.22
酪氨酸(Tyr)	1.83±0.16 ^{abc}	1.71±0.02a ^{bcd}	2±0.25 ^a	1.85±0.04 ^{abc}	1.79±0.15a ^{bcd}	1.97±0.03 ^{ab}	1.65±0.13b ^{cd}	1.56±0.04 ^{cd}	1.49±0.11 ^d	2.04±0.09 ^a	1.86±0.21 ^{abc}	11.04
胱氨酸(Cys)	2.27±0.33a ^b	2.33±0.23 ^{ab}	2.51±0.35 ^{ab}	2.32±0.25 ^{ab}	2.56±0.26 ^{ab}	2.66±0.28 ^a	2.63±0.25 ^a	2.59±0.23 ^{ab}	1.87±0.28 ^b	2.71±0.2 ^a	2.35±0.15 ^{ab}	12.44
EAA	17.39	16.99	18.83	16.85	16.82	17.75	16.18	16.64	12.18	18.07	16.93	10.12
SEEA	5.23	5.71	5.94	5.33	5.47	5.57	4.79	2.19	4.6	4.61	5.53	20.63
NEEA	21.24	20.63	23.01	21.03	20.86	21.67	20.84	21.12	14.00	23.02	17.66	12.56
TFAA	44.01	43.26	47.72	43.18	43.09	44.96	41.76	39.91	30.74	45.65	40.08	10.52
(EAA/TFAA)%	39.51	39.27	39.46	39.02	39.03	39.48	38.75	41.69	39.62	39.58	42.24	2.67

不同品种甜瓣子中 17 种游离氨基酸组成及含量大小基本一致,以谷氨酸、赖氨酸、亮氨酸、精氨酸以及门冬氨酸为主,是豆瓣发酵过程中的主要氨基酸^[28],平均含量均在 2.60 g/kg 以上,与卢冉等^[29]的研究结果一致。但从变异系数来看,甜瓣子中不同游离氨基酸含量差异较大,其中精氨酸变异系数最大(26.10%),谷氨酸和门冬氨酸变异系数较大,分别为 17.81%、20.96%,变异系数最小的是蛋氨酸(7.28%),说明不同品种甜瓣子中精氨酸、谷氨酸以及门冬氨酸含量差异较大,蛋氨酸含量差异较小。谷氨酸被认为是郫县豆瓣风味的重要来源^[30],是甜瓣子中含量最高的游离氨基酸,平均 6.22 g/kg,占游离氨基酸总量 11.47%~18.37%,其余氨基酸含量均在 2.50 g/kg 以下。就不同品种甜瓣子而言,CH20 与 QY 甜瓣子中谷氨酸含量最高,而 YD 和 SCZG 甜瓣子中含量较低。由此可以看出,不同品种甜瓣子中主要氨基酸含量存在明显差异,从而可能导致甜瓣子以及豆瓣品质出现明显区别。

2.4 不同品种甜瓣子呈味氨基酸含量分析

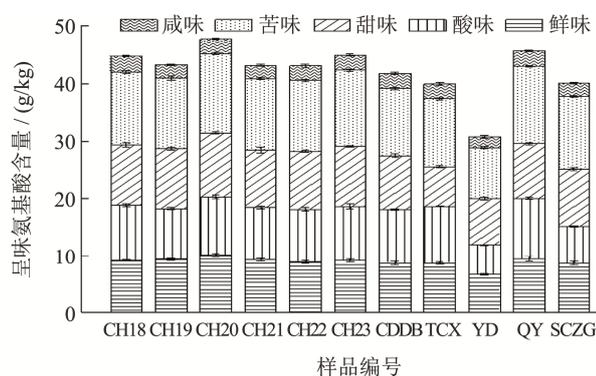


图3 不同品种甜瓣子中呈味氨基酸含量

Fig.3 Flavor amino acid content in different cultivars broad bean paste-meju

甜瓣子中呈味氨基酸分为5类(如图3所示),含量由高到低分别为苦味氨基酸(Ile、Leu、Tyr、Phe、Val)、甜味氨基酸(Lys、His、Arg、Met)、鲜味氨基酸(Thr、Ser、Gly、Ala、Pro)、酸味氨基酸(Glu、Asp)和咸味氨基酸(Cys),Park等^[31]在大豆酱中游离氨基酸也观察到类似的结果。从各种呈味氨基酸含量来看,苦味氨基酸占呈味氨基酸总量的27.99%~31.54%,在CH20甜瓣子含量最高,达到13.82 g/kg, YD甜瓣子中苦味氨基酸含量最低,为8.86 g/kg。同时CH20甜瓣子中甜味、鲜味、酸味以及咸味氨基酸含量也高于其他品种甜瓣子,含量分别为11.08、10.12、10.21、2.51 g/kg,与之相近的是QY甜瓣子。而YD甜瓣子中除甜味氨基酸高于TCX甜瓣子以外,

其他呈味氨基酸含量均为最低。由此可以看出,原料品种对甜瓣子中呈味氨基酸的产生较大影响。

2.5 不同品种甜瓣子非挥发性风味物质组成

差异性分析

为了显示不同品种甜瓣子中有机酸、脂肪酸以及游离氨基酸的差异,对11种甜瓣子中的代谢产物数据进行PLS-DA分析,结果如图4所示。由图4a可知,11种甜瓣子品质差异显著,聚为四类,其中QY、CDDB和其他CH系列排列紧密,品质相似,聚为一类;TCX、SCZG和YD甜瓣子分彼此距离较远,各成为一类,说明TCX、YD以及SCZG与其他甜瓣子中有机酸、脂肪酸以及游离氨基酸组成及含量差异显著。通过PLS-DA模型下变量投影重要性排序(VIP>1)得到11种蚕豆发酵甜瓣子中有机酸、脂肪酸和游离氨基酸中VIP值>1的差异性化合物(图4b),分别为:苯丙氨酸、柠檬酸、组氨酸、蛋氨酸、棕榈酸、酪氨酸、谷氨酸、十一碳酸、门冬氨酸、脯氨酸、苹果酸、精氨酸、肉豆蔻酸以及草酸,其中VIP值>1.5物质有精氨酸、肉豆蔻酸以及草酸。这些不同品种蚕豆发酵得到的甜瓣子中特征性化合物含量差异较大,可能导致发酵得到的甜瓣子品质出现差异。

不同品种蚕豆发酵甜瓣子品质差异显著,与蚕豆本身有着直接的关系。研究证明不同品种蚕豆淀粉含量、蛋白含量以及瓣粒大小有明显区别,发酵得到的甜瓣子中脂肪、还原糖以及硬度等指标在品种间表现出较大的变异性^[4]。而淀粉、蛋白质和脂肪是甜瓣子中有机酸、游离氨基酸以及脂肪酸重要的前提物质,同时有机酸、游离氨基酸和脂肪酸是甜瓣子重要的品质评价指标,其组成和含量与甜瓣子的品质有密切的关系。因此,受蚕豆品种的影响,不同品种蚕豆发酵甜瓣子的风味品质差异显著。

2.6 不同品种蚕豆发酵甜瓣子感官评分

通过感官评分可反应甜瓣子品质的优劣,如表5所示,不同品种蚕豆发酵甜瓣子的香气、滋味、形态、色泽以及质地存在一定的差异。整体来看,CH系列和QY甜瓣子的感官评分更高,品质更好,香气更足,酱香醇厚,咸鲜味浓郁,为深褐色,瓣粒完整酥脆。YD和SCZG甜瓣子虽有较完整的瓣粒,但质地较硬,酱香味、咸鲜味较弱,导致整体评分较低;而TCX甜瓣子质地较软,发酵得到的甜瓣子软烂不成形,这可能与其瓣粒大而薄的品种特性有关,影响感官得分。

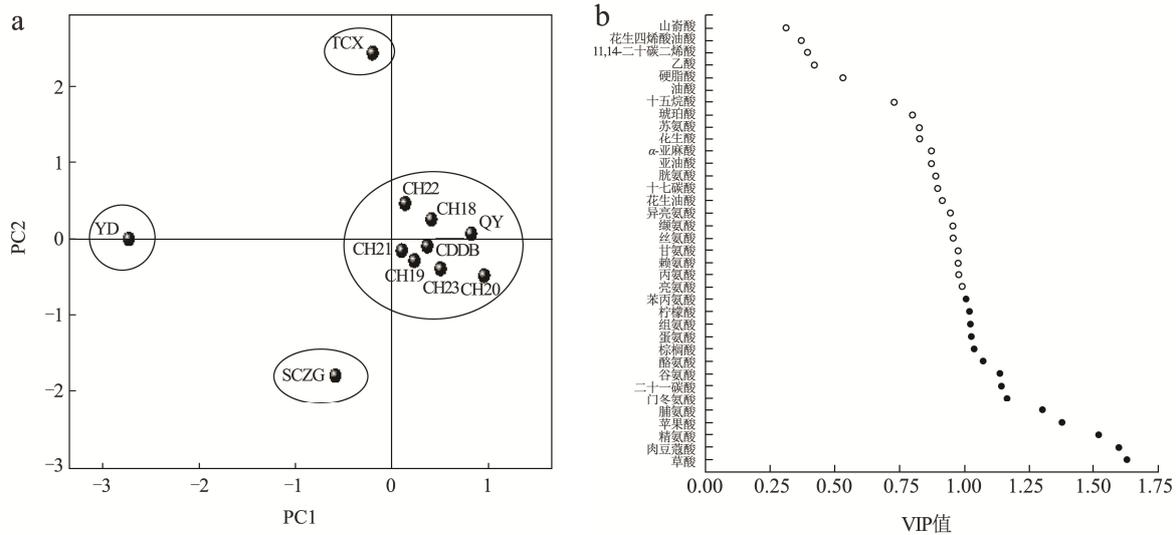


图4 不同品种甜瓣子 PLS-DA 得分图 (a)、VIP 值 (b)

Fig.4 PLS-DA score of different cultivars broad bean paste-meju (a), VIP value (b)

注: 图 4b 中 VIP 值>1 用实心黑圈表示, VIP 值<1 用空心圈表示。

表 5 不同品种蚕豆发酵甜瓣子感官评分

Table 5 Sensory score of broad bean paste-meju from different broad bean cultivars

品种	项目得分/分					
	香气	滋味	形态	色泽	质地	总分
CH18	25.20±0.30 ^b	21.44±0.14 ^b	10.95±0.28 ^b	12.65±0.49 ^{ab}	7.80±0.57 ^a	77.85±1.83 ^c
CH19	27.20±0.49 ^a	21.25±0.28 ^b	12.55±0.14 ^a	12.75±0.42 ^a	6.75±0.71 ^a	80.35±2.04 ^{ab}
CH20	26.35±0.85 ^{ab}	22.01±0.07 ^{ab}	13.01±0.35 ^a	13.05±0.42 ^a	6.85±0.28 ^a	80.11±1.97 ^{ab}
CH21	26.50±0.71 ^{ab}	21.75±0.35 ^b	12.20±0.42 ^{ab}	13.04±0.57 ^a	6.90±0.49 ^a	80.27±2.54 ^b
CH22	25.67±0.35 ^b	21.30±0.35 ^b	11.15±0.14 ^b	12.35±0.42 ^{ab}	6.95±0.71 ^a	77.26±1.97 ^c
CH23	27.49±0.71 ^a	22.35±0.57 ^a	12.70±0.14 ^a	13.05±0.42 ^a	7.15±0.57 ^a	82.75±2.41 ^a
CDDB	23.75±1.06 ^c	21.35±0.07 ^b	10.00±0.07 ^b	12.55±0.28 ^{ab}	6.90±0.49 ^a	74.49±1.97 ^d
TCX	21.75±0.92 ^d	19.36±0.14 ^c	7.65±0.14 ^c	11.80±0.35 ^b	6.75±0.21 ^a	67.05±1.76 ^e
YD	17.75±0.35 ^f	16.60±0.14 ^d	11.01±1.41 ^b	9.85±0.28 ^c	4.70±0.21 ^b	59.90±2.39 ^e
QY	27.05±0.07 ^{ab}	22.25±0.07 ^{ab}	12.05±0.21 ^{ab}	13.20±0.35 ^a	7.50±0.57 ^a	82.00±1.27 ^{ab}
SCZG	19.65±0.78 ^e	16.65±0.07 ^d	10.55±0.71 ^b	10.05±0.42 ^c	5.65±0.35 ^b	62.35±2.33 ^f
相对标准偏差/%	13.45	10.50	12.14	9.90	12.64	10.85

3 结论

本文对 11 种不同品种蚕豆发酵甜瓣子中的有机酸、脂肪酸和游离氨基酸进行了对比分析和评价。结果表明, 不同品种蚕豆发酵甜瓣子中有机酸、脂肪酸和游离氨基酸的含量与组成存在显著差异 ($P < 0.05$), 且受蚕豆品种影响显著。QY 和 CH 系列蚕豆发酵甜瓣子中有机酸和游离氨基酸组成与含量相比其他品种甜瓣子更加丰富。YD、SCZG 以及 TCX 甜瓣子中脂肪酸总量较高, CH 系列和 QY 甜瓣子中脂肪酸总量次之, CDDB 甜瓣子中脂肪酸含量最低。

进一步通过 PLS-DA 对不同品种甜瓣子进行品质差异分析, 结果显示, 11 种甜瓣子品质差异显著, 聚

为四类, QY、CH 系列和 CDDB 甜瓣子品质相似, 聚为一类; TCX、YD 以及 SCZG 甜瓣子与其甜瓣子品质差异较大, 各为一类。通过变量重要性排序发现, 不同品种甜瓣子之间品质差异主要与 VIP 值 > 1 的苯丙氨酸、精氨酸、草酸等 14 种化合物含量有关。结合感官评价发现, CH 系列和 QY 甜瓣子的感官评分更高, 品质更好。由此可以看出, 品质好的甜瓣子应含有丰富的营养物质, 同时还应具有较好的感官品质。综上所述, 认为 CH 系列和 QY 蚕豆发酵甜瓣子中有机酸、脂肪酸和游离氨基酸组成及含量相比于其他蚕豆发酵的甜瓣子更丰富, 品质更好。因此相比于其他品种的蚕豆, CH 系列和 QY 蚕豆更适合用来发酵加工甜瓣子。由于蚕豆品种繁多, 本文仅选取了 11 个蚕

豆品种作为研究对象展开研究, 后续可加大样品量, 为郫县豆瓣特征风味研究、品种筛选以及产品开发提供理论依据。

参考文献

- [1] 孟甜.郫县豆瓣制曲工艺及生化变化研究进展[J].中国调味品,2014,39(6):130-134.
- [2] 谢思,赵晓燕,杨舒郁,等.郫县豆瓣自然与恒温后熟发酵工艺对比分析[J].食品科学,2020,41(10):138-144.
- [3] 赵建新,王淼,毛丙永,等.含盐量和温度对豆酱发酵过程的影响[J].食品科学,2011,32(23):220-224.
- [4] 李雄波,范智义,杨梅,等.不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣甜瓣子适宜性评价[J].食品科学,2022,43(23):49-56.
- [5] Kuldeep A R, Mitali M, Pramod K P, et al. Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review [J]. LWT, 2021, 138: 110796.
- [6] Yang M, Huang J, Zhou R, et al. Exploring major variable factors influencing flavor and microbial characteristics of Pixian Doubanjiang [J]. Food Research International, 2022, 152: 110920.
- [7] Wang D H, Yang Y, Wang Z, et al. High levels of branched chain fatty acids in natto and other Asian fermented foods [J]. Food Chemistry, 2019, 286: 428-433.
- [8] Zhang G F, Yin X, LI Y F et al. Multivariate analysis on the evolution of flavor-related chemical contents during three-years ripening of Pixian Doubanjiang [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 106: 104391.
- [9] 谢艳华,谢靓,李跑,等.豆类脂肪酸分析方法研究现状及进展[J].食品与机械,2016,32(12):213-217.
- [10] Yang M, Huang J, Zhou R Q, et al. Characterization of the flavor in traditional Pixian Doubanjiang by polyphasic quantitative detection technology [J]. Food Research International, 2020, 138: 109753.
- [11] 索化夷,赵欣,蹇宇,等.永川豆豉发酵过程中总糖和氨基酸变化与滋味的形成[J].食品科学,2015,36(21):100-104.
- [12] Campos-vega R, Reynoso-camacho R, Pedraza-aboytes G, et al. Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Journal of Food Science, 2009, 74(7): 59-65.
- [13] Wang L, Liu H Z, Liu L, et al. Prediction of peanut protein solubility based on the evaluation model established by supervised principal component regression [J]. Food Chemistry, 2017, 218: 553-560.
- [14] 李雄波.含盐量对郫县豆瓣甜瓣子发酵过程的影响及其酿造新工艺的研究[D].成都:成都大学,2020.
- [15] GB/T 20560-2006,地理标志产品郫县豆瓣[S].
- [16] 唐筱扬,姜静,陶冬冰,等.东北传统发酵豆酱品质分析[J].食品科学,2017,38(2):121-126.
- [17] Shukla S, Choi T B, Park kyong H, et al. Determination of non-volatile and volatile organic acids in Korean traditional fermented soybean paste (Doenjang) [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(8-9): 2005-2010.
- [18] 于松峰.传统豆瓣辣椒酱发酵过程细菌群落演替及其与风味物质变化的对应分析[D].天津:天津科技大学,2017.
- [19] 李俊雯.中国四大名醋中呈味有机酸和多羟基化合物研究[D].无锡:江南大学,2019.
- [20] Choi U K, Bajpai V K. Comparative study of quality characteristics of meju, a Korean soybean fermentation starter, made by soybeans germinated under dark and light conditions [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(1): 356-362.
- [21] Sohn J H, Ohshima T. Control of lipid oxidation and meat color deterioration in skipjack tuna muscle during ice storage [J]. Fisheries Science, 2010, 76(4): 703-710.
- [22] Pasqualone A, Abdallah A, Summo C, et al. Symbolic meaning and use of broad beans in traditional foods of the Mediterranean Basin and the Middle East [J]. Journal of Ethnic Foods, 2020, 7(1): 1-13.
- [23] 毕雪,赛里木汗·阿斯米,张敏,等.脂肪酸对米饭食味的影响[J].食品科学,2019,40(24):8-14.
- [24] 冉玉琴,陈雨,彭杰,等.郫县豆瓣后发酵过程中脂肪和脂肪酸代谢变化[J].食品工业科技,2020,10(41):203-208.
- [25] Okal A W, Owuor P O, Kamau D M, et al. Effects of production locations and plucking intervals on clonal tea fatty acids levels in the Kenya highlands [J]. Food Science and Technology Research, 2012, 18(3): 351-356.
- [26] Guo L, Du Z H, Wang Z, et al. Location affects fatty acid composition in *Camellia sinensis* cv Tieguanyin fresh leaves [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(1): 96-101.
- [27] Ivanov K, Stoimenova A, Obreshkova D. et al. Biotechnology in the production of pharmaceutical industry ingredients: Amino acids [J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2014, 27(2): 3620-3626 .
- [28] 胡廷,范智义,张其圣,等.酵母菌强化发酵郫县豆瓣甜瓣子的研究[J].中国调味品,2020,45(7):76-85.
- [29] 卢冉,王炳智,田英姿,等.不同品种杏仁氨基酸组成分析及综合评价[J].食品科学,2021,42(24):229-235.
- [30] 林洪斌,方佳兴,毕小朋,等.响应面法优化郫县豆瓣游离氨基酸的提取工艺及呈味特性分析[J].食品工业科技,2019, 40(17):56-63.
- [31] Park H K, Gil B, Kim J K et al. Characteristics of taste components of commercial soybean paste [J]. Food Science and Biotechnology, 2002, 11: 376-379.