

不同品种蚕豆原料对郫县豆瓣品质的影响研究

李雄波, 范智义, 王泽亮, 卢付青, 蒋四强, 李 恒, 张其圣, 陈 功, 杨国华, 邓维琴

Effect of Different Cultivars of Broad Bean on the Quality of Pixian Broad Bean Chili Paste

LI Xiongbo, FAN Zhiyi, WANG Zeliang, LU Fuqing, JIANG Siqiang, LI Heng, ZHANG Qisheng, CHEN Gong, YANG Guohua, and DENG Weiqin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060090>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

Optimization of the Extraction Technique of Free Amino Acids from Pixian Broad-bean Paste by Response Surface Methodology and Analysis of Their Taste Characteristics

食品工业科技. 2019, 40(17): 56-63 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.17.010>

利用高效液相色谱法测定不同发酵时长郫县豆瓣酱中的8种生物胺

Determination of Eight Kinds of Biogenic Amines in Pixian Broad Bean Paste with Different Fermentation Time by High Performance Liquid Chromatography

食品工业科技. 2019, 40(21): 262-267 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.21.043>

不同原料预处理工艺对豆瓣酱品质的影响

Effect of Different Pretreatment of Raw Material on the Quality of Bean Paste

食品工业科技. 2020, 41(7): 301-308 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.050>

郫县豆瓣后发酵期氨基酸呈味效果评价 及其ACE抑制肽动态分析

Evaluation of Amino Acid Taste Effect and Dynamic Analysis of ACE Inhibitory Peptides in Post-fermentation Stage of Pixian Soybean Paste

食品工业科技. 2020, 41(8): 1-6,14 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.08.001>

低温贮藏对蚕豆鲜荚品质的影响

Effect of low-temperature storage on quality of broad bean fresh pod

食品工业科技. 2018, 39(6): 250-254 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.06.046>

基于挤压膨化的蚕豆酱成曲蛋白酶活力测定及其工艺优化

Determination of Protease Activity of Koji based on the Extruded Broad Bean Paste and Its Process Optimization

食品工业科技. 2018, 39(23): 203-209 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.036>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

李雄波, 范智义, 王泽亮, 等. 不同品种蚕豆原料对郫县豆瓣品质的影响研究 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(9): 72–82. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060090

LI Xiongbo, FAN Zhiyi, WANG Zeliang, et al. Effect of Different Cultivars of Broad Bean on the Quality of Pixian Broad Bean Chili Paste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 72–82. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060090

· 研究与探讨 ·

不同品种蚕豆原料对郫县豆瓣品质的影响研究

李雄波^{1,2}, 范智义^{1,2}, 王泽亮³, 卢付青^{1,2}, 蒋四强^{1,2}, 李 恒^{2,3}, 张其圣^{1,2,4},
陈 功^{1,2,3,4}, 杨国华⁵, 邓维琴^{1,2,*}

(1. 四川省食品发酵工业研究设计院有限公司, 四川成都 611130;

2. 食品微生物四川省重点实验室, 四川成都 611130;

3. 四川振兴产业技术研究院有限公司, 四川成都 610023;

4. 四川东坡中国泡菜产业技术研究院, 四川眉山 620036;

5. 四川省丹丹郫县豆瓣集团股份有限公司, 四川成都 611732)

摘要:为探究蚕豆原料对郫县豆瓣品质的影响, 本文考察了 5 个不同品种蚕豆制备郫县豆瓣的理化指标、游离氨基酸和挥发性成分等品质差异。结果表明, 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣的绝大部分品质指标存在显著差异 ($P<0.05$)。‘成胡 18’ (CH18)、‘成胡 23’ (CH23)、‘通蚕鲜 6 号’ (TCX) 品种蚕豆发酵的郫县豆瓣具有更高含量的蛋白质、氨基酸态氮、还原糖和游离氨基酸, 尤其是其氨基酸态氮和总游离氨基酸含量显著高于其他样品 ($P<0.05$)。所有样品中甜味和苦味氨基酸为主要呈味氨基酸, 但味道强度值 (taste active value, TAV) 分析表明鲜味氨基酸谷氨酸 (Glu) 对郫县豆瓣呈味贡献突出, 尤其是 CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣。采用顶空固相微萃取 (headspace solid phase microextraction, HS-SPME) 与气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术从 5 种郫县豆瓣中共鉴定出 48 种挥发性成分, 以酯类和醇类化合物为主, 相对含量分别为 28.19%~39.47%、23.16%~28.82%; 且不同品种间差异较大, 其中 CH18、CH23 郫县豆瓣中酯类化合物相对含量最高, 醇类相对含量最低。基于 ROAV>1 共筛选出 11 种关键风味物质, 而大部分关键风味物质在 CH23、云豆 2662 (YD) 郫县豆瓣中相对含量较高。整体而言, CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣的品质显著优于未知品种 (SCZG)、YD 郫县豆瓣, 但 TCX 郫县豆瓣体态存在缺陷, 因此 CH18 和 CH23 品种蚕豆更适合郫县豆瓣加工。本研究表明蚕豆品种是导致郫县豆瓣理化与感官特征差异的重要因素, 企业生产过程中要加强原料品种的筛选。

关键词:蚕豆品种, 郫县豆瓣, 理化指标, 游离氨基酸, 挥发性物质

中图分类号: TS214.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)09-0072-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060090

本文网刊:



Effect of Different Cultivars of Broad Bean on the Quality of Pixian Broad Bean Chili Paste

LI Xiongbo^{1,2}, FAN Zhiyi^{1,2}, WANG Zeliang³, LU Fuqing^{1,2}, JIANG Siqiang^{1,2}, LI Heng^{2,3},
ZHANG Qisheng^{1,2,4}, CHEN Gong^{1,2,3,4}, YANG Guohua⁵, DENG Weiqin^{1,2,*}

(1. Sichuan Food Fermentation Industry Research and Design Institute Co., Ltd., Chengdu 611130, China;

2. Food Microbiology Key Laboratory of Sichuan Provincial, Chengdu 611130, China;

3. Sichuan Zhenxing Industrial Technology Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610023, China;

收稿日期: 2023-06-12

基金项目: 四川省中央引导地方科技发展资金定向转移支付项目 (川式复合调味品核心技术体系构建及行业应用示范); 国家现代农业产业技术体系四川创新团队项目。

作者简介: 李雄波 (1993-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 传统发酵食品研究与开发, E-mail: li129531722@163.com。

* 通信作者: 邓维琴 (1990-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 传统发酵食品研究与开发, E-mail: dengweiqin77@163.com。

4.Sichuan Dongpo Chinese Paocai Industrial Technology Research Institute, Meishan 620036, China;

5.Sichuan Dandan Pixian Douban Group Co., Ltd., Chengdu 611732, China)

Abstract: To elucidate the influence of various broad bean raw materials on the quality of Pixian broad bean chili paste (PBCP), an investigation was undertaken utilizing five distinct cultivars of broad beans to prepare PBCP and physicochemical indices, free amino acids and volatile profiles were analyzed. The results revealed notable disparities ($P<0.05$) on majority of quality indices among different PBCP samples. PBCP fermented with 'Chenghu 18' (CH18), 'Chenghu 23' (CH23), and 'Tongcanxian 6' (TCX) broad beans manifested elevated contents of protein, amino acid nitrogen, reducing sugar, and free amino acid. Amino acid nitrogen and total free amino acid contents were significantly greater ($P<0.05$) in these samples compared with others. Amino acids with sweet and bitter tastes were the main flavor amino acids detected. Nevertheless, taste active value (TAV) analysis illuminated the substantive contribution of the umami amino acid glutamic acid (Glu), particularly in the PBCP fermented by CH18, CH23, and TCX. By employing headspace solid phase microextraction (HS-SPME) in conjunction with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), a total of 48 volatile components were identified among five PBCPs, primarily comprising esters and alcohols, with relative contents ranging from 28.19%~39.47% and 23.16%~28.82% respectively. Distinctive compositional variations were observed among different samples, with the highest contents of ester and the lowest contents of alcohol found in samples fermented by CH18 and CH23. Based on ROAV>1, a total of 11 key flavor substances were screened, with most of these substances being relatively abundant in PBCPs fermented by CH23 and YD. Overall, qualities of PBCPs fermented by CH18, CH23, and TCX were better than that fermented by SCZG and YD. However, defect was observed in the physical appearance of PBCP fermented by TCX. Consequently, CH18 and CH23 were more appropriate for the processing of PBCP. This research underscores the significance of broad bean cultivar as an instrumental factor driving the variances in physicochemical and sensory attributes of PBCP, and it thereby advocates the selection of raw material to improve the quality of final products.

Key words: broad bean cultivar; Pixian broad bean chili paste; physical and chemical indicators; free amino acid; volatile substances

郫县豆瓣因其营养丰富、色泽鲜艳、香气独特而被广泛应用于川菜烹饪,素有“川菜之魂”的美誉^[1],其发酵过程通常包括辣椒到椒醪、蚕豆到甜瓣子和椒醪-甜瓣子混合发酵 3 个阶段^[2-3]。郫县豆瓣富含活性多肽等多种功能性成分,具有良好的营养价值,对延缓动脉硬化、降低胆固醇、预防心血管疾病等具有一定作用^[4]。

郫县豆瓣特色风味形成除了与其独特的酿造工艺、环境因素有关外^[5-6],往往还与其原料等因素密切相关。彭桢等^[7]研究发现辣椒品种对郫县豆瓣品质影响显著,美国红单椒豆瓣酱的风味较好,二荆条单椒豆瓣酱的辣度和色泽较优,而二者混配豆瓣酱的风味多样性增加且氨基酸态氮和总酸含量较高。王雪梅等^[8]考察了不同产地鲜辣椒对郫县豆瓣品质的影响,结果表明,不同辣椒品种可引起郫县豆瓣色价、辣度、风味等品质指标的差异。蚕豆作为郫县豆瓣蛋白质、淀粉等营养物质的主要来源,与产品品质密切相关,但有关蚕豆品种对郫县豆瓣品质影响的研究报道很少。蒋四强等^[9]研究发现蚕豆品种对郫县豆瓣制曲过程中豆瓣曲的微生物、酶活性影响显著。项目组前期考察了不同品种蚕豆品质差异以及对郫县豆瓣发酵中间品(甜瓣子)品质的影响,结果表明不同品种蚕豆在理化指标、营养成分等方面均存在显著性差异($P<0.05$),进而对甜瓣子品质产生显著影响^[10-11]。

本文通过进一步考察不同品种蚕豆制备郫县豆瓣的理化指标、游离氨基酸和挥发性成分等品质差

异,以期揭示蚕豆品种对郫县豆瓣品质的影响,为企业生产原料选择提供一定的理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘成胡 18’(CH18)、‘成胡 23’(CH23)、‘通蚕鲜 6 号’(TCX)、‘云豆 2662’(YD)蚕豆 四川省农业科学院作物所提供;市售未知品种(SCZG)蚕豆、红二荆条辣椒 温江区某菜市场购买;门冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、丝氨酸(Ser)、甘氨酸(Gly)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、苏氨酸(Thr)、丙氨酸(Ala)、脯氨酸(Pro)、酪氨酸(Tyr)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、胱氨酸(Cys)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、鸟氨酸(Orn)、赖氨酸(Lys) 纯度 $\geq 98\%$,美国 Sigma-Aldrich 公司;正己烷、三乙胺、乙腈 色谱纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;异硫氰酸苯酯 色谱纯,上海易恩化学技术有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

GCMS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津仪器公司;SPME 装置(50/30 μm , DVB/CAR/PDMS 萃取纤维) 美国 Supelco 公司;DB-WAX(60 $\text{m} \times 0.25 \text{ mm}$, 0.25 μm) 色谱柱、Agilent 1260 Infinity II 高效液相色谱仪 美国安捷伦科技有限公司;Ultimate Amino Acid(4.6 \times 250 mm , 5 μm) 色谱柱 月旭科技(上海)股份有限公司;TGL-20bR 冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 郫县豆瓣制备 甜瓣子制作参照文献报道方

法进行制备^[11]。辣椒醃制作是将新鲜二荆条辣椒挑选、清洗后剁碎,按 20% 的比例加盐腌渍,盐渍 6 个月得到成熟椒醃。最后,将辣椒醃:甜瓣子=75:25 (w/w)比例混合,于玻璃坛日晒夜露,每周翻晒,发酵 6 个月制得豆瓣酱样品。

1.2.2 理化指标检测 水分根据 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》中直接干燥法测定。蛋白质含量根据 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定。脂肪含量根据 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》中索氏提取法测定。淀粉含量根据 GB 5009.9-2016《食品中淀粉的测定》中酶水解法测定。氨基酸态氮含量根据 GB 5009.235-2016《食品中氨基酸态氮的测定》中酸度计法测定。总酸含量根据 GB 12456-2021《食品中总酸的测定》中 pH 计点位滴定法测定。还原糖含量根据周雯君^[12]所报道的 3,5-二硝基水杨酸法进行测定。

1.2.3 游离氨基酸的测定 根据 Li 等^[13]报道的方法进行测定。

1.2.3.1 游离氨基酸的提取 准确称取 1.0 g 粉碎样品于 50 mL 塑料离心管中,加入 9 mL 蒸馏水后涡旋混匀,超声提取 30 min(30 ℃,功率 100%),然后以 8000 r/min 离心 10 min,取上清液为待测样液。

1.2.3.2 衍生化 取 100 μ L 待测样液或标准品于 5 mL 离心管中,然后加入 200 μ L 衍生试剂(乙腈:三乙胺:异硫氰酸苯酯=80:10:1, V/V/V),涡旋混合 20 s 后静置 60 min。反应完成后加入 2 mL 水和 1 mL 正己烷,涡旋混合 1 min 后静置 10 min,除去上层有机层,再次加入 1 mL 正己烷,涡旋混合 1 min 后静置 10 min,除去上层有机层,下层水层过 0.22 μ m 水系过滤器后供 HPLC 分析。

1.2.3.3 液相色谱检测条件 色谱柱: Ultimate Amino Acid(4.6 \times 250 mm, 5 μ m);流速: 1.0 mL/min;柱温: 40 ℃;进样量: 10 μ L;紫外检测器检测波长 254 nm,流动相 A: 0.1 mol/L 醋酸钠溶液-乙腈(93:7, V/V),流动相 B: 乙腈-水(80:20, V/V)。洗脱程序如表 1 所示。

表 1 氨基酸检测的洗脱程序
Table 1 Elution procedure for amino acid detection

流动相	时间(min)									
	0	11.0	13.9	14.0	29.0	32.0	35.0	42.0	45.0	60
A(%)	100	93	88	85	66	30	0	0	100	100
B(%)	0	7	12	15	34	70	100	100	0	0

1.2.3.4 游离氨基酸的味道强度值计算 采用 Gao 等^[14]报道的方法计算各游离氨基酸的味道强度值(taste active value, TAV), TAV 值计算如式(1)所示。

$$TAV_i = \frac{C_i}{T_i} \quad \text{式(1)}$$

式中: C_i 为各游离氨基酸的含量(g/kg); T_i 为各

游离氨基酸在水中的感觉阈值(g/kg)。

1.2.4 挥发性物质的测定 根据李雄波^[15]所报道的方法进行测定。

1.2.4.1 样品处理 称取研磨后的样品 2.0 g 置于 15 mL 萃取瓶中,放入 60 ℃ 水浴中预热 2 min 后,将萃取头插入萃取瓶中留置 50 min,之后取出插入 GC-MS 进样口解析 5 min。

1.2.4.2 GC-MS 检测条件 GC 条件:载气为氦气,流速 1 mL/min;进样口温度 250 ℃;不分流进样。升温程序:起始温度 50 ℃,以 10 ℃/min 升至 85 ℃(保留 1.5 min),再以 5 ℃/min 升至 100 ℃(保留 1 min),以 2.5 ℃/min 升至 175 ℃(保持 1.5 min),最后以 10 ℃/min 升至 250 ℃/min。质谱条件:EI 电离源,电子轰击能量 70 eV;离子源温度 230 ℃;接口温度 250 ℃;质量扫描范围 35~350 amu;检测器电压 0.1 kV;调谐文件 stuneu;扫描模式 scan。

1.2.4.3 定性定量分析 通过将采集的质谱在美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)的 NIST17 数据库中进行检索,根据相似度(SI)>80(最大值为 100)来确认每种挥发性化合物。定量分析采用峰面积归一化法计算各挥发性化合物的百分含量。

1.2.4.4 挥发性物质相对气味活度值计算 采用刘登勇等^[16]报道的方法计算各挥发性化合物的相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)。将对样品风味贡献最大的组分的 ROAV 值定义为 100,其他化合物的 ROAV 值计算如式(2)所示。

$$ROAV_i \approx 100 \times \frac{C_i}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_i} \quad \text{式(2)}$$

式中: C_i 为各挥发性物质的相对含量(%); T_i 为各挥发性物质对应的感觉阈值; C_{stan} 为对试样总体风味贡献最大物质的相对含量(%); T_{stan} 为对试样总体风味贡献最大物质相对应的感觉阈值。

1.2.5 感官评价 选取 7 名(男 4 名,女 3 名)经过感官评定训练的人员组成评价小组,从滋味和气味两个方面对郫县豆瓣进行感官评价。滋味评价按照 Lin 等^[17]报道的方法对郫县豆瓣的鲜味、咸味、甜味、苦味、酸味进行评价。气味评价按照卢云浩等^[18]报道的方法对郫县豆瓣的醇香、酸香、花香、果香、焦糖香、烟熏香、酱香和辛辣味进行评价。

1.3 数据处理

描述性统计值以平均值 \pm 标准偏差表示($n=3$);使用 SPSS 23.0 软件对数据进行标准化和中心化后,再进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和单因素方差分析中的 Duncan's 检验进行显著性分析($P<0.05$);采用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣理化指标分析

对 5 种蚕豆发酵郫县豆瓣的理化指标进行了分

析,结果如图 1 所示,5 个不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣的各项理化指标均呈现显著性差异($P<0.05$)。蛋白质、淀粉和脂肪主要来自蚕豆原料,并在发酵过程中被微生物及酶分解利用形成氨基酸、有机酸、小分子糖类等。5 种郫县豆瓣的蛋白质质量分数为 4.72%~5.69%,淀粉质量分数为 3.90%~6.54%,其中 YD 和 SCZG 郫县豆瓣的淀粉质量分数(6.26%、6.54%)显著高于其他样品(3.90%~4.70%)($P<0.05$)。此外,YD 郫县豆瓣的蛋白质质量分数(4.72%)显著低于其他样品(5.57%~5.69%)($P<0.05$)。本研究中所有样品的脂肪质量分数为 0.56~0.63%,且不同品种间差异较小,与冉玉琴等^[19]研究结果差异较大(3.5%~4.5%),推测可能是由于样品差异导致。蛋白质、淀粉和脂肪含量差异主要是由于原料导致,项目组前期研究结果表明,不同品种蚕豆脂肪含量差异较小,而蛋白质和淀粉含量差异较大,尤其是 YD 蚕豆原料具有低蛋白质(27.35%)、高淀粉(58.78%)的特性^[11]。

总酸、氨基酸态氮和还原糖是郫县豆瓣的重要品质指标,特别是氨基酸态氮被认为是衡量郫县豆瓣质量等级的关键指标^[20]。5 种郫县豆瓣的总酸质量分数范围为 0.61%~0.71%,均在限量范围内($<2.0\%$)^[21]。总酸反映了各种有机酸、脂肪酸、氨基酸等酸性化合物的含量,这些物质与产品风味密切相关,但 CH18、SCZG 郫县豆瓣总酸含量相对偏低。氨基酸态氮主要是蛋白质分解形成的各种游离氨基酸、小分子肽等物质,对郫县豆瓣的品质与整体风味具有重要贡献。5 种郫县豆瓣中氨基酸态氮质量分数在 0.31%~0.36% 之间,均高于 GB/T 20560-2006

《郫县豆瓣》中特级豆瓣标准($>0.25\%$)^[21];且不同品种间存在明显差异,表现为 TCX、CH18 和 CH23 郫县豆瓣的氨基酸态氮质量分数显著高于 SCZG、YD 郫县豆瓣($P<0.05$)。豆瓣酱中还原糖可以反映出原料淀粉的水解程度和微生物的生长代谢情况^[22],5 种郫县豆瓣中还原糖质量分数范围为 1.29%~2.47%,但 SCZG 郫县豆瓣的还原糖质量分数(1.29%)要显著低于其他样品(1.88%~2.47%)($P<0.05$)。此外,5 种郫县豆瓣中水分质量分数在 52.81%~59.11% 之间,其中仅 CH23 郫县豆瓣的水分含量符合特级郫县豆瓣的要求($\leq 53.00\%$)^[21]。整体而言,TCX、CH18 和 CH23 郫县豆瓣的各项理化指标较为接近,具有相似的品质特征。

2.2 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣游离氨基酸分析

2.2.1 游离氨基酸组成分析 游离氨基酸是郫县豆瓣酱中重要的呈味物质,能丰富产品的味觉层次并参与风味物质的合成^[17]。5 种蚕豆发酵郫县豆瓣中均检出 18 种游离氨基酸,但总游离氨基酸含量存在显著差异($P<0.05$)。由图 2(a)可知,TCX、CH18 和 CH23 郫县豆瓣的总游离氨基酸质量分数(11.80~12.35 g/kg)显著高于 SCZG 和 YD 郫县豆瓣(11.12、9.97 g/kg)($P<0.05$)。在检出的 18 种游离氨基酸中,Pro 在所有样品中含量均最高(>2.0 g/kg),其次是 Leu(0.93~1.20 g/kg),而 Glu、Ala、Phe、Arg、Cys、Ile、Val、Lys、Tyr 等也含量丰富,质量分数在 0.50~1.00 g/kg 之间(图 2(b))。此外,所有样品中绝大部分游离氨基酸质量分数呈 TCX>CH18~CH23>SCZG>YD,表

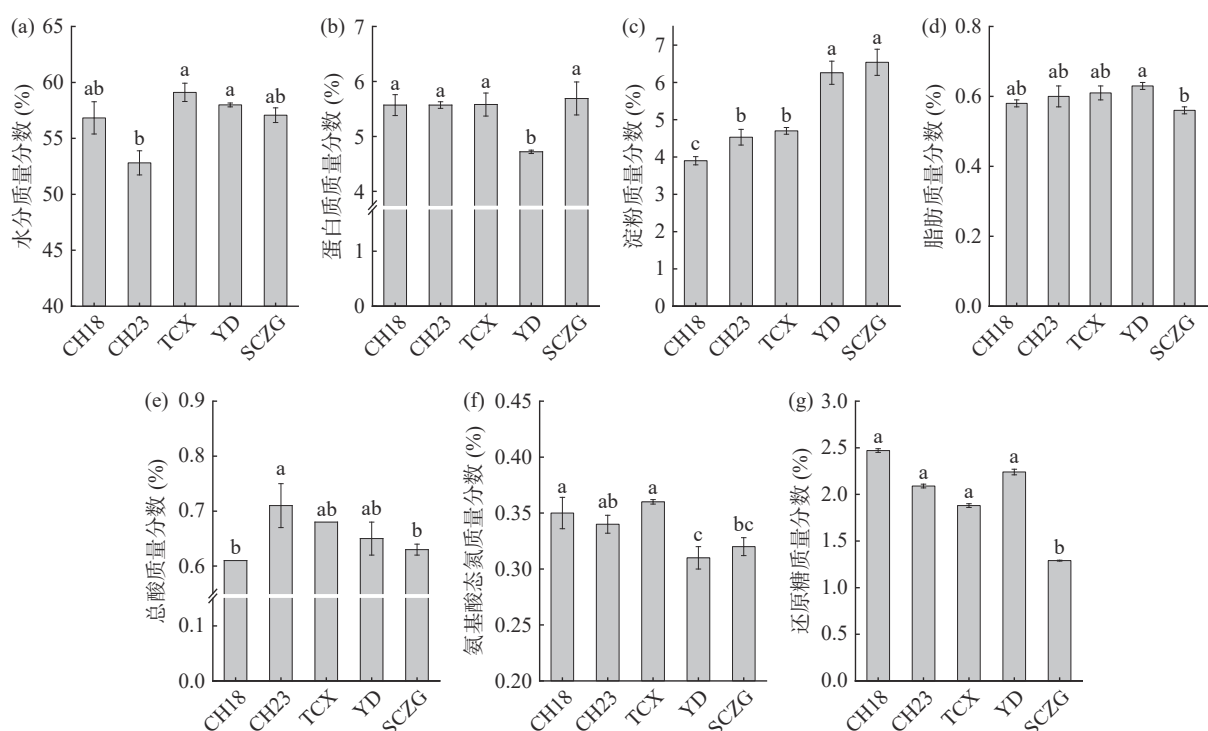


图 1 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣的理化指标

Fig.1 Physicochemical indexes of Pixian Douban from different broad bean cultivars

注: 不同字母表示不同样品间差异显著($P<0.05$), 图 2~图 3 同。

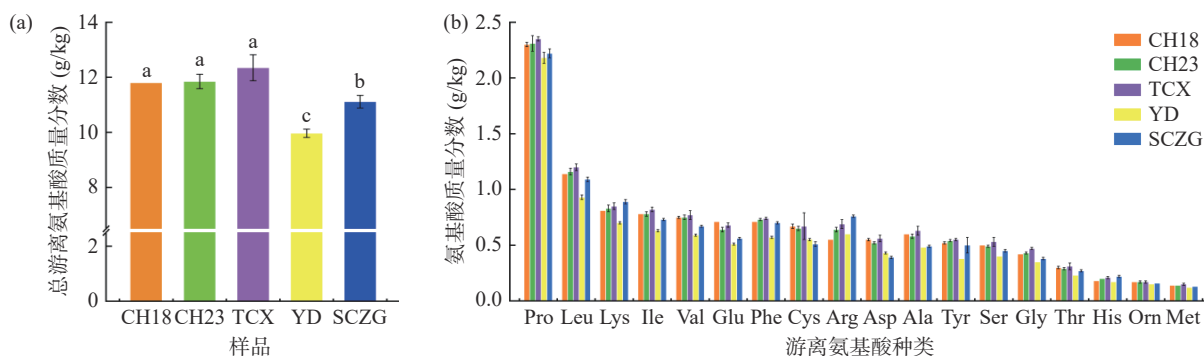


图2 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣游离氨基酸组成

Fig.2 Free amino acid composition of Pixian Douban from different broad bean cultivars

明总游离氨基酸含量差异并非由某一种游离氨基酸含量差异导致。

2.2.2 呈味氨基酸分析 游离态氨基酸按呈味特性可分为鲜味氨基酸(Glu、Asp)、甜味氨基酸(Ser、Gly、Thr、Ala、Lys、Pro)、苦味氨基酸(His、Arg、Val、Met、Ile、Leu、Phe、Tyr)和无味氨基酸(Cys、Orn) 4 大类^[14,23]。由图 3 可知, 5 种郫县豆瓣中呈味氨基酸组成模式相似, 均以甜味、苦味氨基酸为主, 而鲜味和无味氨基酸含量相对较低。但是, 不同品种间 4 类呈味氨基酸含量存在显著差异($P<0.05$)。具体而言, YD 郫县豆瓣中苦味氨基酸含量显著低于其余品种郫县豆瓣($P<0.05$); 而鲜味氨基酸在 TCX、CH18 和 CH23 郫县豆瓣中质量分数(1.16~1.26 g/kg)显著高于 SCZG 和 YD 郫县豆瓣(0.94、0.95 g/kg)($P<0.05$)。此外, SCZG 和 YD 郫县豆瓣的甜味氨基酸含量也相对较低, 质量分数分别为 4.70、4.34 g/kg。虽然郫县豆瓣味觉特征以咸味为主, 这是由于郫县豆瓣含盐量高(18%~22%)导致, 但是在各种呈味氨基酸相互调和下, 使得郫县豆瓣味鲜醇厚, 尤其是鲜味氨基酸(Glu、Asp)与食盐的结合物具有较强的鲜味^[24], 对郫县豆瓣鲜味具有重要贡献。

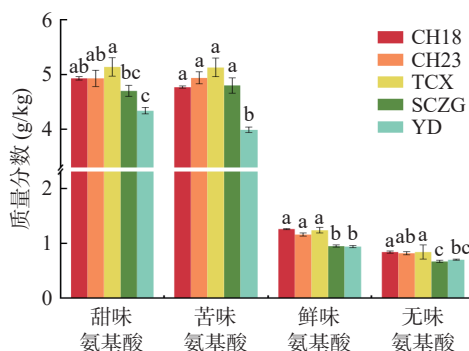


图3 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣的呈味氨基酸组成

Fig.3 Taste amino acid compositions of Pixian Douban from different broad bean cultivars

游离氨基酸对风味贡献与其呈味阈值密切相关, 故可通过味道强度值(taste active value, TAV)对郫县豆瓣呈味氨基酸进行评价。一般认为氨基酸的 TAV 值越大其呈味作用越明显, 当 $TAV>1$ 表明该呈味氨基酸对风味贡献大; 而 $TAV<1$ 则呈味不明

显^[25]。由表 2 中 TAV 值可知, 绝大部分氨基酸对郫县豆瓣风味贡献较弱, 仅有 4 种氨基酸在所有样品中均 $TAV>1$, 分别是 Glu、Lys、Arg 和 Val。林洪斌等^[26]研究发现 Ala、Glu、Asp、Lys、His、Arg 和 Val 对郫县豆瓣呈味贡献作用较大, 与本研究结果较为一致。鲜味氨基酸 Glu 在所有样品中 TAV 值均最高(1.7~2.37), 表明其对郫县豆瓣味觉贡献最大, 可显著增强郫县豆瓣的鲜味。整体而言, 5 种郫县豆瓣中 TAV 大于 1 的氨基酸组成基本相同, 但是味觉贡献强弱存在差异。Glu、Val 在 CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣的 TAV 值明显高于 YD 和 SCZG 郫县豆瓣。Lys、Arg 的 TAV 值在 SCZG 郫县豆瓣最高; 而分别在 YD 和 CH18 郫县豆瓣中最低。此外, 值得注意的是 Ala 和 His 仅在部分样品中有呈味贡献($TAV>1$)。虽然绝大部分氨基酸 $TAV<1$, 呈味效果不明显, 但是其可以增强其他呈味氨基酸的呈味效

表2 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣中游离氨基酸 TAV 分析

Table 2 TAV analysis of free amino acids in Pixian Douban from different broad bean cultivars

呈味特征	氨基酸	风味阈值 ^[26] (mg/g)	TAV				
			CH18	CH23	TCX	YD	SCZG
鲜味	天门冬氨酸(Asp)	1.00	0.55	0.52	0.56	0.43	0.39
	谷氨酸(Glu)	0.30	2.37	2.13	2.27	1.7	1.87
	丝氨酸(Ser)	1.50	0.33	0.33	0.35	0.27	0.30
	甘氨酸(Gly)	1.30	0.32	0.33	0.36	0.27	0.29
甜味	苏氨酸(Thr)	2.60	0.12	0.11	0.12	0.09	0.10
	丙氨酸(Ala)	0.60	1.00	0.97	1.05	0.8	0.82
	赖氨酸(Lys)	0.50	1.62	1.66	1.7	1.4	1.78
	脯氨酸(Pro)	3.00	0.77	0.77	0.78	0.73	0.74
苦味	组氨酸(His)	0.20	0.90	1.00	1.05	0.85	1.10
	精氨酸(Arg)	0.50	1.1	1.28	1.38	1.2	1.52
	缬氨酸(Val)	0.40	1.88	1.88	1.93	1.48	1.68
	蛋氨酸(Met)	0.30	0.47	0.47	0.50	0.4	0.43
	异亮氨酸(Ile)	0.90	0.87	0.87	0.91	0.7	0.81
	亮氨酸(Leu)	1.90	0.6	0.61	0.63	0.49	0.57
	苯丙氨酸(Phe)	0.90	0.79	0.81	0.82	0.63	0.78
	酪氨酸(Tyr)	0.91	0.57	0.59	0.6	0.42	0.55
无味	胱氨酸(Cys)	ND	—	—	—	—	—
	鸟氨酸(Orn)	ND	—	—	—	—	—

注: “ND”表示阈值未查到; “—”表示无。

果。总之,鲜味氨基酸 Glu 对郫县豆瓣味觉贡献最大,尤其是对 CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣鲜味贡献突出。

2.3 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣挥发性物质分析

2.3.1 郫县豆瓣挥发性物质 GC-MS 鉴定结果 由表 3 可知,通过 HS-SPME 结合 GC-MS 从 5 种郫县豆瓣中共鉴定出 48 种挥发性物质(42 种共有组分),包括醇类 6 种、酸类 6 种、酯类 15 种、酚类 1 种、萜类 8 种、醛酮类 3 种、烃类 4 种、杂环类 5 种。从化合物种类来看,5 种郫县豆瓣中挥发性化合物种类组成差异较小,酯类化合物种类最多,与谭馨怡等^[27]研究结果一致。从化合物含量来看(图 4),酯类、醇类、酚类、萜类和酸类化合物是 5 种郫县豆瓣中主要挥发性物质,特别是酯类(28.19%~39.47%)和醇类(23.16%~28.82%)化合物相对含量丰富,且不同品种间差异较大;而醛酮类、烃类、杂环类化合物相对含量较低(<5%)。

酯类化合物是郫县豆瓣中重要的香气成分,可

赋予产品浓郁的花果香和甜味^[28], 其在 CH18 郫县豆瓣中相对含量最高, 其次是 CH23 郫县豆瓣; 而其余豆瓣酱样品中含量相对较低。但是, 主要以月桂酸甲酯、月桂酸乙酯、肉豆蔻酸甲酯、肉豆蔻酸乙酯等高级脂肪酸酯类为主, 这些酯类由脂肪水解形成的脂肪酸与醇类化合物通过酯化反应形成, 其挥发性较低, 对豆瓣酱的香气贡献有限^[29]。5 种郫县豆瓣中醇类化合物相对含量仅次于酯类化合物, 且在 TCX、YD、SCZG 郫县豆瓣中相对含量明显高于 CH18、CH23 郫县豆瓣。苯乙醇、乙醇、异戊醇、2,3-丁二醇是主要的醇类化合物, 尤其是苯乙醇相对含量远高于其他醇类化合物含量。苯乙醇是由酵母菌作用下经 Strecker 代谢途径产生醛以后还原形成^[30], 具有特殊的甜香、玫瑰花香, 是郫县豆瓣特征香气成分之一^[28]。5 种郫县豆瓣中酸类化合物相对含量范围为 6.33%~9.73%, Zhao 等^[31] 认为酸类化合物, 尤其是乙酸、3-甲基丁酸可能对郫县豆瓣酱的整体香气有协同效应。乙酸在所有样品中均被检测, 且 CH18 郫

表3 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣中挥发性物质 GC-MS 鉴定结果

Table 3 Analysis of volatile compounds of Pixian Douban from different broad bean cultivars by GC-MS

序号	保留时间 (min)	挥发性成分	CAS	化学式	阈值 ^[31-32] (mg/kg)	相对含量(%)					ROAV					风味特征
						CH18	CH23	TCX	YD	SCZG	CH18	CH23	TCX	YD	SCZG	
醇类(n=6)																
1	11.532	乙醇	64-17-5	C ₂ H ₆ O	100	4.6	4.8	7.64	6.25	2.49	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	酒味、溶剂味
2	19.25	异戊醇	123-51-3	C ₅ H ₁₂ O	0.22	3	2.88	2.91	3.15	3.41	0.42	0.35	0.33	0.5	0.35	发酵味、水果味、香蕉香气
3	32.725	(R,R)-(-)-2,3-丁二醇	24347-58-8	C ₄ H ₁₀ O ₂	0.0951	0.97	0.87	1.04	1.19	1.12	0.31	0.24	0.28	0.43	0.27	
4	34.278	2,3-丁二醇	513-85-9	C ₄ H ₁₀ O ₂	0.08025	2.87	2.6	2.97	3.37	3.72	1.09	0.87	0.93	1.46	1.05	奶油香气
5	38.959	7-辛烯-1,2-二醇	85866-02-0	C ₈ H ₁₆ O ₂		1.01	1.04	1.04	1.59	1.19						
6	50.389	苯乙醇	60-12-8	C ₈ H ₁₀ O	0.05395	10.71	11.42	11.62	13.27	14.68	6.06	5.66	5.43	8.54	6.17	花香、甜香、蜂蜜味、玫瑰花香
酸类(n=6)																
7	29.279	乙酸	64-19-7	C ₂ H ₄ O ₂	5.6	4.59	3.14	3.84	3.31	2.93	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	刺激性酸味
8	38.956	3-甲基丁酸	503-74-2	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.1	0	0	0.97	1.65	0			0.24	0.57		奶酪味、甜香、发酵味、酸汗臭味
9	47.173	己酸	142-62-1	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.88	0.65	0.66	0.7	1.37	0.39	0.02	0.02	0.02	0.05	0.01	干酪味、水果味
10	51.448	2-乙基戊酸	149-57-5	C ₈ H ₁₆ O ₂	27	0	0	0	0.91	0				<0.01		
11	53.744	月桂酸	143-07-7	C ₁₂ H ₂₄ O ₂		0	0.93	1.05	1.33	2.1						
12	54.566	辛酸	124-07-2	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.9	1.81	1.6	1.48	1.16	1.31	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	酸臭味、肥皂味、干酪味
酯类(n=15)																
13	28.353	辛酸乙酯	106-32-1	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.0193	0.62	0.86	0.42	0.87	0.48	0.98	1.19	0.55	1.57	0.56	果香、葡萄酒香、菠萝味、白兰地酒香
14	35.128	8-甲基壬酸甲酯	5129-54-4	C ₁₁ H ₂₂ O ₂		0.12	0.23	0.15	0.23	0.13						
15	35.377	癸酸甲酯	110-42-9	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.0043	0.36	0.36	0.36	0.2	0.22	2.55	2.24	2.11	1.62	1.16	油脂味、果香
16	35.869	反式-4-癸烯酸乙酯	76649-16-6	C ₁₂ H ₂₂ O ₂		0.34	0.45	0.31	0.58	0.38						
17	37.321	癸酸乙酯	110-38-3	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.005	0.72	0.88	0.58	0.81	0.6	4.39	4.7	2.93	5.63	2.72	略呈脂香、脂肪味、青草味、菠萝味
18	39.299	苯甲酸乙酯	93-89-0	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.053	0.43	0.49	0.37	0.61	0.41	0.25	0.25	0.18	0.4	0.18	甜香、药味、青草味、薄荷味、果味
19	44.961	月桂酸甲酯	111-82-0	C ₁₃ H ₂₆ O ₂		4.73	4.81	5.18	2.49	3.85						蜡味、奶油味、肥皂味、略带椰子味

续表 3

序号	保留时间 (min)	挥发性成分	CAS	化学式	阈值 ^[31-32] (mg/kg)	相对含量(%)					ROAV					风味特征
						CH18	CH23	TCX	YD	SCZG	CH18	CH23	TCX	YD	SCZG	
20	46.088	乙酸苯乙酯	103-45-7	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.25	0.38	0	0	1.31	0.93	0.05			0.18	0.08	甜香、蜂蜜味、花香、玫瑰香
21	46.148	水杨酸乙酯	118-61-6	C ₉ H ₁₀ O ₃	0.084	0.94	1.22	0.98	0	0.72	0.34	0.3	0.29	0	0.19	甜香、冬青味、辛辣味、茴香味
22	46.854	月桂酸乙酯	106-33-2	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.4	8.11	9.24	6.03	8.68	3.61	0.62	0.62	0.38	0.75	0.20	蜡味、肥皂味、花香、略带水果和牛奶味
23	53.212	肉豆蔻酸甲酯	124-10-7	C ₁₅ H ₃₀ O ₂		4.55	4.78	5.38	2.51	4.78						
24	53.465	反十八烯酸乙酯	6114-18-7	C ₂₀ H ₃₈ O ₂		8.86	1.05	2.45	0.64	2.26						
25	51.919	反-9-十八烯酸甲酯	1937-62-8	C ₁₉ H ₃₆ O ₂		1.23	2.75	2.79	0.57	3.66						
26	54.201	肉豆蔻酸乙酯	124-06-1	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	4	6.12	6.88	4.81	6.25	3.92	0.05	0.05	0.03	0.05	0.02	甜香、蜡味、奶油味
27	44.598	水杨酸甲酯	119-36-8	C ₈ H ₈ O ₃	0.04	1.96	2.22	1.87	3.02	2.24	1.49	1.48	1.18	2.62	1.27	甜香、略带根汁汽水的芳香和脂香
酚类(n=1)																
28	54.056	4-乙基愈创木酚	2785-89-9	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.0042	13.77	15.72	16.65	12.09	18.51	100	100	100	100	100	木香、烟熏味、辛辣味、焦香培根味
萜类(n=8)																
29	32.907	芳樟醇	78-70-6	C ₁₀ H ₁₈ O	0.006	3.4	3.49	3.36	3.62	3.18	17.28	15.54	14.13	20.96	12.03	柑橘味、橙子味、柠檬味、花香、蜡味、木香
30	35.694	β -榄香烯	515-13-9	C ₁₅ H ₂₄		0.35	0.37	0.39	0.36	0.42						
31	38.555	α -顺-雪松烯	3853-83-6	C ₁₅ H ₂₄		0.51	0.55	0.37	0.68	0.58						
32	40.238	α -松油醇	10482-56-1	C ₁₀ H ₁₈ O	9.18	0.49	0.6	0.49	0.68	0.62	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	水果味、薄荷味
33	41.119	(4R,4aS,6S)-4,4a-二甲基-6-(丙-1-烯-2-基)-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘	823810-22-6	C ₁₅ H ₂₄		0.37	0.48	0.33	0.26	0.62						
34	41.483	β -雪松烯	1461-03-6	C ₁₅ H ₂₄		0.2	0.26	0.21	0.26	0.27						
35	42.031	β -石竹烯	87-44-5	C ₁₅ H ₂₄	0.064	5.4	6.78	4.56	6.54	8.13	2.57	2.83	1.8	3.55	2.88	辛辣味、丁香味、木香、胡椒味
36	53.939	反式-橙花叔醇	40716-66-3	C ₁₅ H ₂₆ O	0.25	0.27	0.32	0.29	0.35	0.39	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	青草味、花香、木香、果香、柑橘味
醛酮类(n=3)																
37	18.45	二异丁基酮	108-83-8	C ₉ H ₁₈ O		0.59	0.4	0.92	1.17	0.82						白兰地酒香、柑橘味、水果香、菠萝味、香蕉味
38	26.89	壬醛	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	0.0027	0.2	0.19	0.24	0.64	0	2.26	1.88	2.24	8.23	-	柑橘味、肥皂味
39	38.298	苯乙醛	122-78-1	C ₈ H ₈ O	0.00329	1.55	1.19	1.23	1.2	1.1	14.37	9.66	9.43	12.67	7.59	蜂蜜味、甜香、花香、巧克力味、可可口味、带有辛辣的气味
烃类(n=4)																
40	24.861	十三烷	629-50-5	C ₁₃ H ₂₈		0.62	0.75	0.47	0.81	0.94						
41	28.969	2-甲基十四烷	1560-95-8	C ₁₅ H ₃₂		0.26	0.34	0.3	0.43	0.43						
42	29.55	1-丁基-2-丙基环戊烷	62199-50-2	C ₁₂ H ₂₄		0.07	0.19	0.36	0.25	0.14						
43	35.324	十八烷	593-45-3	C ₁₈ H ₃₈		0.23	0.19	0.34	0.32	0.25						
杂环类(n=5)																
44	18.945	吡啶	110-86-1	C ₅ H ₅ N	2	0.36	0.24	0.52	0.5	0.21	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
45	52.507	2-乙酰吡咯	1072-83-9	C ₆ H ₇ NO	0.07644	0.27	0.29	0.43	0.28	0.14	0.11	0.1	0.14	0.13	0.04	甜味、果味、樱桃味、坚果味、山葵味、芥末味、茶味
46	30.056	3-呋喃甲醛	498-60-2	C ₅ H ₄ O ₂		0.41	0.42	0.48	0.72	0.45						
47	38.391	α -呋喃甲醇	98-00-0	C ₅ H ₆ O ₂	1.1143	0.85	0.87	0.95	1.26	1.1	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	焦香、甜香、焦糖味
48	30.254	2,3,5,6-四甲基吡嗪	1124-11-4	C ₈ H ₁₂ N ₂	2.53	0.17	0.19	0.19	0.29	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	坚果味、霉味、可可口味、咖啡香

注: 风味特征描述通过TGSC Information System(<http://www.thegoodscentscompany.com/search2.html>)查询。

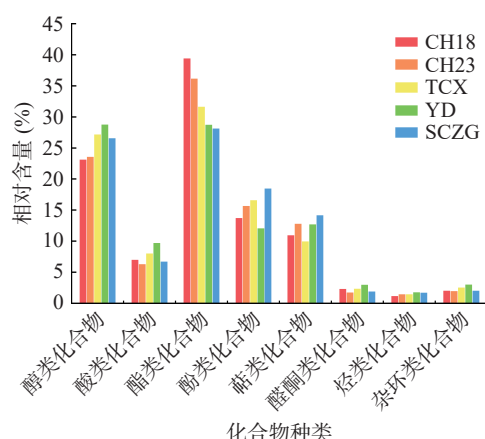


图 4 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣中挥发性物质相对含量

Fig.4 Relative content of volatile compounds of Pixian Douban from different broad bean cultivars

县豆瓣中相对含量(4.59%)明显高于其他样品(2.93%~3.84%);而 3-甲基丁酸仅在 TCX 和 YD 郫县豆瓣中被检出。萜类化合物以异戊二烯为基本单元形成的聚合物和衍生物,是植物中重要的次生代谢产物,本研究从豆瓣酱中检测出 8 种萜类化合物,相对总含量在 10.00%~14.21%。5 种蚕豆发酵郫县豆瓣中萜类化合物种类与含量差异较小,以芳樟醇、 β -石竹烯为主,其中芳樟醇被认为是豆瓣酱特征香气成分之一,能赋予豆瓣酱柑橘香、花香^[28]。酚类化合物仅检出 4-乙基愈创木酚,其作为郫县豆瓣的关键香气成分,能赋予产品强烈的烟熏味^[31],其在 SCZG 郫县豆瓣中相对含量最高(18.51%);而在 YD 郫县豆瓣中相对含量最低(12.09%)。

2.3.2 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣关键香气成分差异分析 香气主要取决于挥发性成分的含量及其阈值,因此仅通过挥发性物质含量不能准确反映该物质对香气的贡献^[31],故通过 ROAV 法来确定豆瓣酱中的关键挥发性风味物质。通过已报道化合物的香气阈值计算得到的各挥发性物质 ROAV 值见表 3,其中 ROAV 值越大,代表该物质对整体的风味贡献度越大。由表 3 可知,基于 ROAV>1 从 5 种郫县豆瓣中共确定 11 种关键风味物质(至少在 1 个样品中 ROAV>1),包括 4 种酯类、2 种醇类、2 种萜类、2 种醛酮类、1 种酚类,分别为辛酸乙酯、癸酸甲酯、癸酸乙酯、水杨酸甲酯、苯乙醇、2,3-丁二醇、芳樟醇、 β -石竹烯、壬醛、苯乙醛和 4-乙基愈创木酚,这些化合物已被广泛证实是豆瓣酱的关键香气成分^[3,31]。5 种豆瓣酱中上述关键风味物质相对含量存在一定的差异,由图 5 可知,4-乙基愈创木酚、 β -石竹烯、苯乙醇、2,3-丁二醇等香气成分在 SCZG 郫县豆瓣中相对含量最高;苯乙醛在 CH18 郫县豆瓣中含量最高,有助于提升产品的甜味和花香;而 CH23、YD 郫县豆瓣中绝大部分香气成分含量均较高。

2.4 感官品质

感官品质最能直观地反映产品质量。从图 6(a)

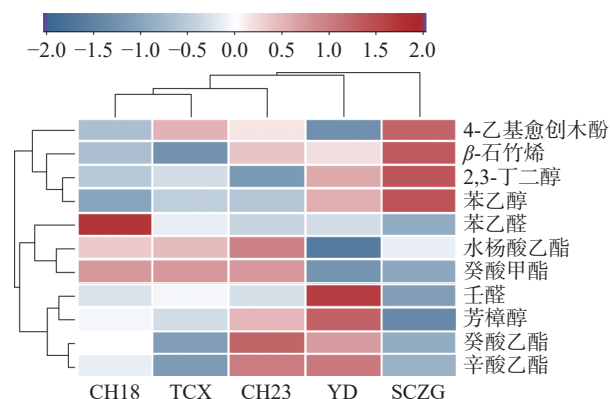


图 5 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣中关键香气成分相对含量热图

Fig.5 Heat map of relative content of key aroma components of Pixian Douban from different broad bean cultivars

产品外观来看,蚕豆品种对郫县豆瓣色泽影响较小,均呈红褐色,油亮有光泽;但对产品体态指标具有明显影响。GB/T 20560-2006 规定郫县豆瓣应可见蚕豆瓣粒^[21],而 TCX 郫县豆瓣几乎无可见蚕豆瓣粒,这与 TCX 蚕豆瓣粒大而薄有关。项目组前期研究结果已表明蚕豆瓣粒大小、厚度等物理指标是影响产品外观、质地的重要因素,瓣粒大而薄的蚕豆经漂烫预处理后更容易软化,进而导致发酵过程中蛋白质、淀粉等大分子物质水解更彻底^[11]。对 5 种郫县豆瓣从滋味和香气方面进行了感官评价,结果如图 6(b)和图 6(c)所示,郫县豆瓣的滋味以鲜味和咸味为主,香气以酱香为主,与前人研究结果一致^[18,26],从而构成了郫县豆瓣的特殊风味。5 种郫县豆瓣主要在鲜味和酱香方面展现出了较大的差异性,TCX 郫县豆瓣鲜味、酱香最突出,得分最高;其次是 CH18 和 CH23 郫县豆瓣;而 SCZG、YD 郫县豆瓣鲜味和酱香得分均较低。此外,SCZG 郫县豆瓣在烟熏香、花香方面得分最高,这与其苯乙醇、2,3-丁二醇、4-乙基愈创木酚等含量较高有关。整体而言,CH18 和 CH23 郫县豆瓣感官品质最好。

2.5 多元统计分析

为了为进一步了解蚕豆品种对郫县豆瓣品质的影响是否具有显著性,联合 TAV>1 的呈味氨基酸、ROAV>1 的香气成分以及其他所有指标进行进行无监督的主成分分析。由图 7 可知,PC1 和 PC2 贡献率分别为 34.4% 和 25.4%,累计贡献率为 59.8%,说明前两个主成分已经可以反映样品中的大部分信息。从图 7 可看出,PCA 能够很好地区分不同品种蚕豆发酵的郫县豆瓣,其中 CH18、CH23、TCX 郫县豆瓣的样品点间距离较近,表明其品质差异较小;而与 YD 和 SCZG 郫县豆瓣的样品点距离较远,品质差异较大。通过载荷可知,CH18、CH23、TCX 郫县豆瓣与酱香、鲜味、苦味、焦糖香关联紧密,可能与其氨基酸态氮、Glu、Val、Ala、癸酸甲酯、水杨酸甲酯等含量较高有关;而 SCZG 郫县豆瓣与烟熏味关

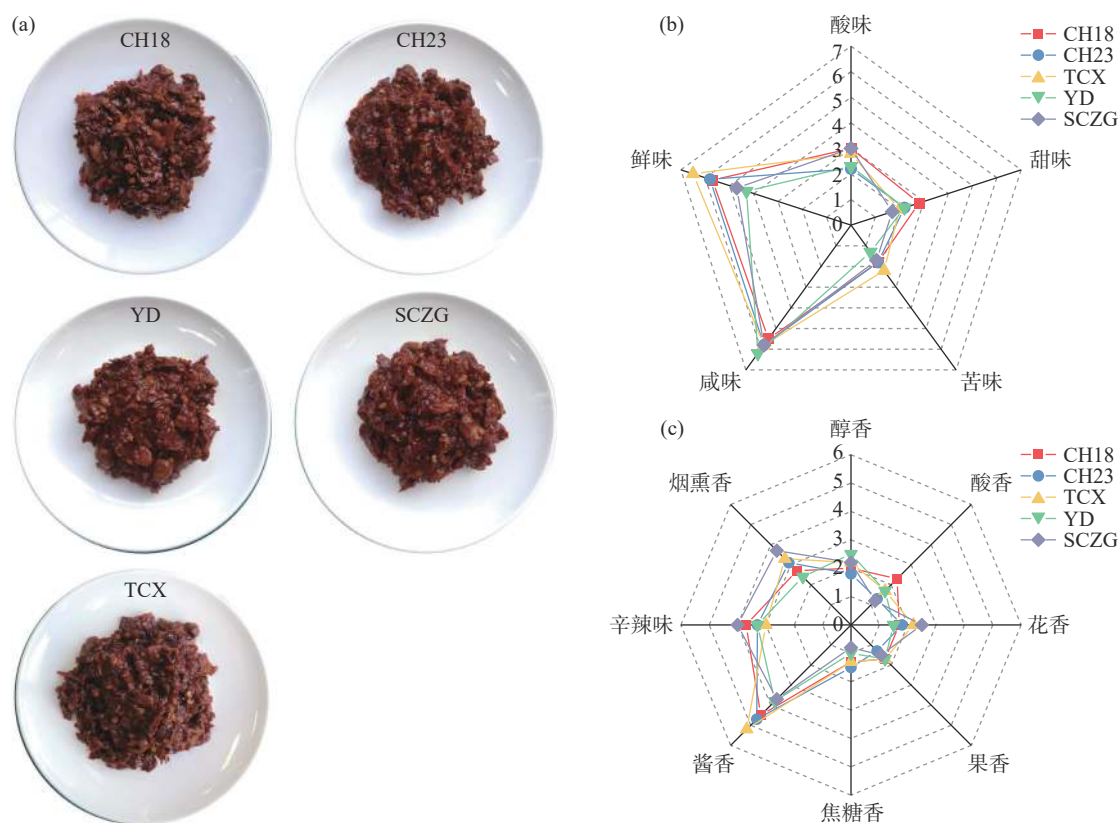


图 6 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣样品与感官评分

Fig.6 Pixian Douban samples from different broad bean cultivars and sensory scores

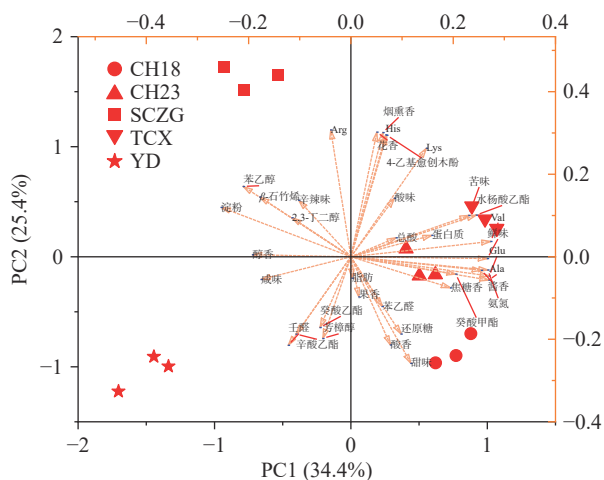


图 7 不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣品质指标 PCA 分析

Fig.7 PCA analysis of quality indexes of Pixian Douban from different broad bean cultivars

联性较强,这是由于其 4-乙基愈创木酚含量较高。

3 结论

本文从理化指标、氨基酸、风味组分和感官特性等方面综合分析了不同品种蚕豆发酵郫县豆瓣的品质差异,结果表明蚕豆品种对郫县豆瓣品质影响显著。5 个不同种蚕豆发酵郫县豆瓣的各项理化指标均呈现显著性差异($P<0.05$),其中 CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣各项理化指标均较好,特别是品质评价核心指标氨基酸态氮含量显著高于 SCZG、YD 郫县豆瓣($P<0.05$)。此外,CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣的总游离氨基酸、鲜味氨基酸含量也显著高于

SCZG、YD 郫县豆瓣($P<0.05$)。通过 TAV 分析发现,鲜味氨基酸 Glu 对 CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣鲜味贡献更为突出,其产品风味价值更好。采用 HS-SPME 结合 GC-MS 联用技术从 5 种郫县豆瓣中共鉴定出 48 种挥发性成分,且均以酯类和醇类化合物为主,而 CH18、CH23 郫县豆瓣中酯类化合物相对含量显著高于其他样品($P<0.05$)。综合而言,CH18、CH23 和 TCX 郫县豆瓣的整体品质优于 SCZG、YD 郫县豆瓣,尤其是对产品风味影响较大的氨基酸态氮、游离氨基酸和挥发性酯类化合物等品质指标。结合感官评价可知,由于 TCX 郫县豆瓣的瓣粒软烂不成形,导致其产品形态存在缺陷,因此综合考虑认为 CH18 和 CH23 品种蚕豆更适宜郫县豆瓣加工。本研究结果可为郫县豆瓣原料选择提供重要依据,但对于其中具体影响机理还有待进一步研究。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] LI Z, RUI J, LI X, et al. Bacterial community succession and metabolite changes during doubanjiang-meju fermentation, a Chinese traditional fermented broad bean (*Vicia faba* L.) paste[J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 534–542.
- [2] ZHANG L, CHE Z, XU W, et al. Dynamics of physicochemical factors and microbial communities during ripening fermentation of Pixian Doubanjiang, a typical condiment in Chinese cuisine[J].

Food Microbiology, 2020, 86: 103342.

[3] LU Y, CHI Y, LÜ Y, et al. Evolution of the volatile flavor compounds of Chinese horse bean-chili-paste[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 102: 131–135.

[4] LI M, FAN W, XU Y. Identification of angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitory and antioxidant peptides derived from Pixian broad bean paste[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 151: 112221.

[5] ZHAO S, NIU C, SUO J, et al. Unraveling the mystery of ‘bask in daytime and dewed at night’ technique in doubanjiang (broad bean paste) fermentation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 149: 111723.

[6] ZHAO S, NIU C, XING X, et al. Revealing the changes of microbiota structure and function in broad bean paste mediated by sunlight and ventilation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 159: 113152.

[7] 彭黎, 黄钧, 黄家全, 等. 不同品种辣椒发酵豆瓣酱的品质分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(5): 54–58. [PENG Gan, HUANG Jun, HUANG Jiaquan, et al. Quality analysis of fermented Doubanjiang with different varieties of pepper[J]. China Brewing, 2021, 40(5): 54–58.]

[8] 王雪梅, 孙文佳, 李亚隆, 等. 不同产地鲜辣椒发酵郫县豆瓣的品质分析[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 213–221. [WANG Xuemei, SUN Wenjia, LI Yalong, et al. Quality analysis of different Pixian broad-bean paste from different fresh pepper-producing areas[J]. Food Science, 2020, 41(10): 213–221.]

[9] 蒋四强, 李雄波, 邓维琴, 等. 郫县豆瓣适用蚕豆品种的选择[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(10): 106–111. [JIANG Siqiang, LI Xiongbo, DENG Weiqin, et al. Selection of pixian douban applicable broad bean cultivars[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(10): 106–111.]

[10] 蒋四强, 李雄波, 邓维琴, 等. 不同品种蚕豆发酵豆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 of different broad bean cultivars in broad bean paste-meju fermentation[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 264–272.]

[11] 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. [LI Xiongbo, FAN Zhiyi, YANG Mei, et al. Suitability of different broad bean cultivars for producing Pixian broad bean paste-meju[J]. Food Science, 2022, 43(23): 49–56.]

[12] 周雯君. 工厂化条件下豆瓣品质监测与鲁氏酵母增香技术研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016. [ZHOU Wenjun. Study on the quality monitoring of soybean sauce and the aroma enhancement technology of *Zygosaccharomyces rouxii* under industrialized conditions[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2016.]

[13] LI H, DENG W, LU Z M, et al. Salinity plays a dual role in broad bean paste-meju fermentation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 173: 114181.

[14] GAO X, ZHANG J, LIU E, et al. Enhancing the taste of raw soy sauce using low intensity ultrasound treatment during moromi fermentation[J]. Food Chemistry, 2019, 298: 124928.

[15] 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. [LI Xiongbo. Study on the effect of salt content on the fermentation process of broad bean mash and the new fermentation technology[D]. Chengdu: Chengdu University, 2020.]

[16] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008, 344(7): 370–374. [LIU Dengyong, ZHOU Guanghong, XU Xinglian, et al. “ROAV” method: A new method for determining key odor compounds of rugao ham[J]. Food Science, 2008, 344(7): 370–374.]

[17] LIN H, YU X, FANG J, et al. Flavor compounds in Pixian broad-bean paste: Non-volatile organic acids and amino acids[J]. Molecules, 2018, 23(6): 1299–1314.

[18] 卢云浩, 何强. 郫县豆瓣特征挥发性物质演变及其香型特性研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(4): 326–335. [LU Yunhao, HE Qiang. Studies on evolution of the odor-active volatile compounds of Pixian-douban and its aroma characteristics[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(4): 326–335.]

[19] 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, 41(10): 203–207, 212. [RAN Yuqin, CHEN Yu, PENG Jie, et al. Changes of fat and fatty acid metabolism in the post-fermentation process of Pixian soybean paste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 203–207, 212.]

[20] 李由. 提高郫县豆瓣氨基态氮含量关键技术的研究[D]. 成都: 西华大学, 2010. [LI You. The key technological research in improvement of Pixian soybean paste amino nitrogen content[D]. Chengdu: Xihua University, 2010.]

[21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 20560-2006 地理标志产品 郫县豆瓣[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 20560-2006 Geographical indication products Pixian Douban[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.]

[22] 李雄波, 李恒, 邓维琴, 等. 盐度对郫县豆瓣甜瓣子发酵过程中微生物及产品品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(22): 193–199. [LI Xiongbo, LI Heng, DENG Weiqin, et al. Effects of salt concentration on microorganism and quality of broad bean mash during fermentation[J]. Food Science, 2020, 41(22): 193–199.]

[23] DING W, YE X, ZHAO X, et al. Fermentation characteristics of Pixian broad bean paste in closed system of gradient steady-state temperature field[J]. Food Chemistry, 2022, 374: 131560.

[24] SOUSA M J, ARDÖ Y, MCSWEENEY P L H. Advances in the study of proteolysis during cheese ripening[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(4-7): 327–345.

[25] 王馨雨, 王蓉蓉, 王婷, 等. 不同品种百合内外鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 211–220. [WANG Xinyu, WANG Rongrong, WANG Ting, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the free amino acid composition of inner and outer lily bulb scales from different cultivars[J]. Food Science, 2020, 41(12): 211–220.]

[26] 林洪斌, 方佳兴, 毕小鹏, 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. [LIN Hongbin, FANG Jiaxing, BI Xiaopeng, et al. Optimization of the extraction technique of free amino acids from Pixian board-bean paste by response surface methodology and analysis of their taste characteristics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 56–63.]

[27] 谭馨怡, 卢云浩, 任尧, 等. 不同陈酿时间下郫县豆瓣挥发性风味化合物及标志性风味成分解析[J]. 中国调味品, 2021, 46(10): 43–46. [TAN Xinyi, LU Yunhao, REN Yao, et al. Analysis of volatile flavor compounds and characteristic flavor components of Pixian bean pateat various aging time[J]. China Condiment, 2021,

46(10): 43-46.]

[28] 刘平, 翟刚, 陈功, 等. 郫县豆瓣特征香气物质的研究鉴定[J]. 中国酿造, 2015, 34(1): 27-32. [LIU Pin, ZHAI Gang, CHEN Gong, et al. Research and identification of characteristic flavor compounds from Pixian soybean pastes[J]. China Brewing, 2015, 34(1): 27-32.]

[29] 张森, 何江红, 贾洪锋, 等. 四川豆瓣加工工艺及风味物质研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2011, 47(1): 35-38. [ZHANG Miao, HE Jianghong, JIA Hongfeng, et al. The research progress on producing technology and flavor of Sichuan traditional broad-bean sauce[J]. Food and Fermentation Technology, 2011, 47(1): 35-38.]

[30] 王成涛, 梁婧如, 尹胜, 等. 溶氧量对酿酒酵母及其工程菌的 β -苯乙醇合成代谢的影响及调控效应[J]. 中国食品学报,

2016, 16(8): 78-86. [WANG Chengtao, LIANG Jingru, YIN Sheng, et al. Effects of dissolved oxygen on β -phenylethanol biosynthesis and metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* and its engineering strains[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(8): 78-86.]

[31] ZHAO C, FAN W, XU Y. Characterization of key aroma compounds in Pixian broad bean paste through the molecular sensory science technique[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 148: 111743.

[32] VAN GEMERT L J. Odour thresholds; Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. Second Enlarged and Revised Edition. Zeist: Oliemans Punter & Partners BV, 2011: 207-359.