

魏依兰, 李娜, 刘佳莉, 等. 郫县豆瓣关键滋味组分的鉴定 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(21): 358–366. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020235

WEI Yilan, LI Na, LIU Jiali, et al. Identification of Key Taste Components of Pixian Borad Bean Paste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(21): 358–366. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020235

· 分析检测 ·

郫县豆瓣关键滋味组分的鉴定

魏依兰, 李娜, 刘佳莉, 曾伟, 姜典典, 刘平*, 徐敏
(西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 610039)

摘要:为探究传统发酵调味品郫县豆瓣中的关键滋味成分, 本研究分别采用氨基酸自动分析仪、高效液相色谱仪、电感耦合等离子体发射光谱仪定性、定量分析了郫县豆瓣中的游离氨基酸、有机酸和无机离子, 并通过滋味活性值 (taste active value, TAV)、滋味重组实验、减除实验和添加实验结合确定了郫县豆瓣的关键滋味组分。结果表明, 郫县豆瓣中共检测出 29 种滋味组分, 通过感官实验确定丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸、精氨酸、酒石酸、乳酸、琥珀酸、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 共 13 种呈味组分为郫县豆瓣的关键滋味物质。13 种关键滋味组分的滋味重组液与 29 种完全滋味重组液有较好的一致性, 但与郫县豆瓣的天然提取液相比, 酸味存在一定差异。本研究加深了对郫县豆瓣的滋味成分和滋味本质的认知, 为郫县豆瓣的发酵过程中滋味变化规律、质量监控与评价提供参考。

关键词: 郫县豆瓣, 滋味组分, 关键滋味物质, 减除实验, 滋味重组

中图分类号: TS264

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)21-0358-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020235



本文网刊:

Identification of Key Taste Components of Pixian Borad Bean Paste

WEI Yilan, LI Na, LIU Jiali, ZENG Wei, JIANG Diandian, LIU Ping*, XU Min

(School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: To explore the key taste components of Pixian Borad Bean Paste (PBBP), free amino acids, organic acids and inorganic ions were quantitatively analyzed by amino acid analyzer, high performance liquid chromatography, and inductively coupled plasma optical emission spectrometer, respectively. The key taste compounds were identified by taste activity value (TAV), taste reconstitution, omission and addition tests. The results showed 29 kinds of taste components were determined in PBBP. Furthermore, alanine, aspartic acid, glutamic acid, lysine, arginine, tartaric acid, lactic acid, succinic acid, K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , PO_4^{3-} and Cl^- were confirmed as the key taste compounds in PBBP by sensory evaluation. Moreover, the taste reconstitutions of 13 key taste components were consistent with that of 29 complete taste components, while its sour taste was different with natural extract of PBBP. This research promotes the knowledge of the taste components and taste essence of PBBP, and provides reference for the taste change pattern, quality monitoring and evaluation during the fermentation of PBBP.

Key words: Pixian Borad Bean Paste; taste components; key taste compounds; taste omission test; taste reconstitution

郫县豆瓣是以红辣椒、蚕豆和小麦粉为主要原料, 在米曲霉微生物作用下自然发酵而成的半固体粘稠状的调味品^[1-2], 有“川菜之魂”之称^[3-4], 因其浓厚的酱香和鲜辣醇厚的味感深受广大消费者喜爱^[5]。目前对郫县豆瓣的研究主要集中在香气成分分析^[6-8]以及后发酵期真菌细菌的掩体变化规律^[9-10],

对郫县豆瓣滋味组分的研究大多集中在对单一类别的滋味物质如有机酸^[11]、游离氨基酸^[12-13]、糖类物质和脂肪酸^[14-15]的定性定量分析, 未考虑郫县豆瓣的总体滋味特性和滋味物质间的相关性^[16-17]。

不同企业的郫县豆瓣在五种基本滋味属性上表现出了较好的一致性, 主要表现出了突出的鲜味和咸

收稿日期: 2023-02-23

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目: 川味特色方便菜肴工业化生产关键技术 (2020YFN0151); 四川省青年科学基金项目 (2022NSFSC1632)。

作者简介: 魏依兰 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品风味化学, E-mail: 1005319407@qq.com。

* 通信作者: 刘平 (1979-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品风味化学, E-mail: dewflowerlp@163.com。

味^[13,18]。其中鲜味主要来源于微生物分解蛋白质形成的多肽、氨基酸和微生物自溶产生的钠盐等^[13,19];咸味主要来源于生产过程中添加的食盐;酸味主要来源于有机酸,国标要求总酸度含量不应大于 2%;甜味属性强度较低,主要由甜味氨基酸以及淀粉糖化产生的部分低聚糖和一些醇类物质共同影响^[13];苦味属性强度不明显,主要来源于生物碱、苦味肽、萜类和糖苷类物质^[20]。但郫县豆瓣的最终滋味形成复杂,不仅取决于单一的某种滋味组分,还取决于各类滋味组分之间的相互作用^[21]。

目前针对郫县豆瓣的非挥发性滋味组分及 TAV 等的研究报道相对碎片化,并未作系统分析和量化比较。采用分子感官科学从分子水平上定性、定量描述滋味,确定食品中滋味的组成,能更加客观地评价食品的滋味品质^[22-23]。但由于食品中的复杂相互作用,仅通过定量分析和个体滋味物质特征研究很难揭示每种滋味物质对食品整体风味的贡献。所以,感官重组实验、减除实验在对食品的潜在滋味化合物进行组分鉴定和定量模拟的基础上,通过重组的方式对滋味的化学本质进行阐明,并进一步通过减除实验描述滋味化合物与基本滋味属性之间的关系,发掘具有关键作用的滋味物质^[24],同时弥补了物理化学分析和感官数据之间的差距。此外,滋味组分之间的复杂关系,如协同效应或掩蔽效应,可以通过减除实验来简化,从而可以对所研究的食品提取物的滋味进行全面分析^[25]。

本研究前期对市售不同等级和不同企业的 11 种郫县豆瓣的感官评价、理化指标和滋味物质定性定量分析,发现郫县豆瓣的基本滋味属性之间差异较小,不同郫县豆瓣中的滋味物质在其定性定量物质的种类、含量、比例与 TAV>1 水平上均表现出了较好的一致性,在此基础上选取滋味组分丰富、协调性和感官偏好性更高,更受消费者欢迎的市售郫县豆瓣为原材料,采用仪器分析和感官分析相结合的方法,对郫县豆瓣中的游离氨基酸、有机酸和无机盐离子 3 类潜在的滋味组分进行识别和量化,通过滋味重组、减除和添加实验确定关键滋味组分并验证其感官特征,进一步明确郫县豆瓣的关键滋味组分,旨在为郫县豆瓣的滋味变化规律和质量评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

郫县豆瓣样品 成都旺丰食品有限公司,为市售包装一级郫县豆瓣,发酵时间为 1.5 年, pH4.61±0.06,总酸 1.718±0.082 g/100 g, 氮氮 0.503±0.007 g/100 g,水分 53.02%±0.95%,盐分 18.02%±2.32%;苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、脯氨酸(Pro)、天冬氨酸(Asn)、谷氨酸(Glu)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、缬氨酸(Val)、甲硫氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、半胱氨酸(Cys)、草酸、酒

石酸、苹果酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸等 标准品,纯度均在 98% 以上,国药集团化学试剂有限公司;甲醇、高氯酸、磷酸 色谱纯,成都市科龙化工试剂厂;柠檬酸、蔗糖、食盐、味精 食品级,成都市郫都区绿源超市。

PHS-320 型 pH 计 成都世纪方舟科技有限公司;MVS-1 旋涡混合器 北京金紫光科技发展有限公司;SB-5200DTN 超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司;H1850R 冷冻离心机 湘仪离心机仪器有限公司;L-8800 氨基酸自动分析仪 日立公司;Waterse2695 高效液相色谱仪(配备 Waters2998PAD 检测器) 沃特世科技有限公司;MDS-6G 微波消解仪 上海新仪微波化学科技有限公司;SXL-1002 程控箱式电炉 上海精宏实验仪器有限公司;Avio200 电感耦合等离子体发射光谱仪 美国 PERKINELMER 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 郫县豆瓣滋味物质提取 将 5.0 g 打碎的郫县豆瓣样品与 30 mL 超纯水混合,涡流振荡 1 min, 4 ℃ 条件下 10000 r/min 冷冻离心 10 min,收集上清液,重复 3 次以上操作,合并上清液定容至 100 mL,得到滋味提取液,然后将其与超纯水以 1:1 的比例稀释得到天然提取液(natural extracts, NE),后续进行感官实验^[26]。

1.2.2 游离氨基酸的测定 游离氨基酸的组成及含量的测定参考国标 GB/T 30987-2020《植物中游离氨基酸的测定》^[27]的全自动氨基酸分析仪法。

1.2.3 有机酸的测定 将 5.0 g 郫县豆瓣加入 35 mL 70% 乙醇,涡流振荡 1 min,室温 40 kHz 频率下超声提取 37 min,在 4 ℃ 条件下 10000 r/min 冷冻离心 10 min,收集上清液,重复以上操作,合并上清液定容至 100 mL,得到待测液,然后采用 0.22 μm 尼龙过滤器过滤,滤液于 4 ℃ 下保存备用。

HPLC 色谱条件:色谱柱 Inertsil ODS-3(4.6 mm×250 mm, 5 μm);柱温 30 ℃;流速 0.5 mL/min;流动相为甲醇和 0.01 mol/L 磷酸二氢钾体积比为 3:97, pH2.8;采用光电二极管阵列检测器,检测波长 210 nm;进样量 10 μL^[11]。

1.2.4 无机离子的测定 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺和 PO₄³⁻的含量测定参考王冲等^[28]的方法,通过微波消解对郫县豆瓣样品进行预处理,加入 5 mL 浓硝酸、2 mL 浓过氧化氢置于消解罐中进行消解。第一阶段,控温 120 ℃,升温 5 min,恒温 2 min;第二阶段,控温 150 ℃,升温 3 min,恒温 4 min;第三阶段,控温 190 ℃,升温 4 min,恒温 26 min,消解结束进行赶酸处理,并用 5% 硝酸定容至 10 mL。样液稀释 100 倍后,用 0.22 μm 聚醚砜滤膜过滤。然后使用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)检测郫县豆瓣中 5 种矿物质元素(K、Na、Ca、Mg、P)的定量分

析。CI的测定方法参考 GB/T 5009.44-2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》^[29]。

1.2.5 感官分析 所有感官实验在专业的感官分析实验室进行,室内温度为 25±2 ℃,通风良好,照明正常。12 名感官评价员(8 名女性,4 名男性,年龄 20~24 岁)均无味觉障碍,且每名成员具有郫县豆瓣的感官实验经历。在感官实验中评价员使用鼻夹,防止滋味与气味间的相互作用。

遵循 ISO 8586-1:2012 的要求,对所有小组成员进行三点检验法以评估基本滋味。五种基本味道的培训采用 0.08% 柠檬酸、1% 蔗糖、0.5%L-亮氨酸、0.2% 氯化钠和 0.1% 味精分别代表酸味、甜味、苦味、咸味和鲜味,感官评价员对所有标准液的浓度和滋味强度多次讨论达成共识^[30]。

1.2.5.1 滋味轮廓分析 分别将 4 个样品呈送给感官员,包括新鲜制备的 NE、完全滋味重组液(complete taste recombinant, CTR)、简化滋味重组液(simplified taste recombinant, STR)、关键滋味重组液(key taste recombinant, KTR),使用九点强度标度法评估每个样品的五个滋味属性的强度(酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味)。五种基本滋味的标准液被认为是 5 分,1~3 分表示味道极弱或者没有味道;3~5 表示味道弱;5~7 表示味道强;7~9 分表示滋味非常强。其中,CTR 的制备是将所有滋味组分根据检测到的浓度溶解在超纯水中;STR 制备将 TAV>1 的滋味组分以其检测到的浓度溶解在超纯水中;KTR 制备将感官评价分析出的关键滋味组分以其天然浓度溶解在超纯水中。

1.2.5.2 减除实验 检测出的滋味物质根据检测方法和结构差异分为游离氨基酸、有机酸、无机离子三组,先通过对完全滋味重组液 CTR 中逐一减除单一物质后,将减除后的样品和两份 CTR 进行三点检验法进行判别^[31-32],通过 ISO 4120:2004(E)(Sensoryanalysis-Methodology-Triangle test)的标准表判定是否存在显著性差异($P<0.05$)。若存在显著性差异,感官评价员使用九点强度标度法感官判定滋味属性强度大小。再从 CTR 中逐一减除单一滋味物质,重复上述操作。结果可用于衡量每一组或每一种滋味物质是否对整体滋味做出贡献和滋味属性强度大小。

1.2.5.3 添加实验 制备通过减除实验初步鉴定出的 13 种关键滋味物质的模型溶液,依次将未加入的滋味物质按照检测到的浓度加入到模型溶液中,将加入后的样品与两份 CTR 进行三点检验法进行判别,通过 ISO 4120:2004(E)的标准表判定是否存在显著性差异。若存在显著性差异,使用九点强度标度法感官判定滋味属性强度变化大小。

1.2.6 TAV 分析 评价单个滋味物质对食品滋味的贡献大小通常采用 TAV 值的大小,这是一种比较客观的评价方法,目前已经广泛应用于各种食品的风味研究。它的计算公式如下:

$$TAV = \frac{\text{样品中某呈味物质的绝对浓度值}}{\text{该物质的味道阈值}}$$

当 TAV>1 时,说明该物质对食品的风味有贡献,贡献程度与其数值大小成正比;当 TAV<1 时,则说明该物质对于食品的风味贡献较小。

1.3 数据处理

所有定量数据均独立测定三次,结果以平均值±标准偏差表示。所有感官实验重复三次,获得每个属性的 36 个响应值(12×3)。三点检验法的显著性差异($P<0.05$, $P<0.01$ 和 $P<0.001$)通过 ISO 4120:2004(E)(Sensoryanalysis-Methodology-Triangle test)的标准表判定。采用 ANOVA(SPSS 17.0)分析 NE、CTR、STR、和 KTR 中各滋味属性在 5%($P<0.05$)的显著性水平的差异。

2 结果与分析

2.1 游离氨基酸分析

水溶性的含氮化合物如短肽、氨基酸和其它蛋白降解产物对于发酵食品的特有滋味的形成起到重要作用,其中游离氨基酸通常被认为是郫县豆瓣中鲜味的主要来源^[33]。由表 1 可知,郫县豆瓣中检测出 18 种游离氨基酸,包括 17 种游离氨基酸和 1 种酰胺类物质,总游离氨基酸含量在 31.36±0.03 mg/g。参考林洪斌等^[13]对不同游离氨基酸的呈味特性,将氨基酸

表 1 郫县豆瓣中游离氨基酸的含量、滋味阈值和 TAV
Table 1 Free amino acid content, taste threshold and TAV in Pixian Borad Bean Paste

呈味特性	物质	含量(mg/g)	呈味阈值 ^[36,42] (mg/g)	TAV
甜鲜味	苏氨酸(Thr)	1.46±0.00 ⁱ	2.60	0.56
	丝氨酸(Ser)	1.75±0.00 ^h	1.50	1.17
	甘氨酸(Gly)	0.88±0.00 ⁱ	1.30	0.68
	丙氨酸(Ala)	2.07±0.01 ^f	0.60	3.45
甜鲜味氨基酸总量		6.15±0.14 ^e		
鲜酸味	脯氨酸(Pro)	2.75±0.00 ^e	3.00	0.92
	天冬氨酸(Asp)	3.14±0.06 ^b	1.00	3.14
	天冬酰胺(Asn)	1.72±0.03 ^b	ND	nd
	谷氨酸(Glu)	3.43±0.00 ^a	1.00	3.43
鲜酸味氨基酸总量		11.04±0.09 ^a		
苦甜味	赖氨酸(Lys)	1.89±0.01 ^g	0.50	3.78
	组氨酸(His)	0.47±0.01 ^m	0.20	2.35
	精氨酸(Arg)	2.13±0.04 ^e	0.50	4.25
	苦甜味氨基酸总量	4.49±0.02 ^d		
苦味	缬氨酸(Val)	1.92±0.02 ^g	0.40	4.80
	甲硫氨酸(Met)	0.16±0.00 ^a	0.30	0.55
	异亮氨酸(Ile)	1.57±0.01 ⁱ	0.90	1.75
	亮氨酸(Leu)	2.51±0.01 ^d	1.90	1.32
	酪氨酸(Tyr)	1.06±0.01 ^k	0.9	1.17
	苯丙氨酸(Phe)	1.48±0.01 ⁱ	0.90	1.64
苦味氨基酸总量		8.70±0.06 ^b		
咸味	半胱氨酸(Cys)	0.03±0.00 ^g	0.3	0.11
游离氨基酸总量		31.36±0.03		

注:同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),表2~表3同;ND表示未查出;nd表示未检测出。

分为甜鲜味、鲜酸味、苦甜味、苦味和咸味氨基酸五类。其中呈现鲜酸味氨基酸的含量最高, 总量达到 $11.04 \pm 0.09 \text{ mg/g}$, 其次是苦味氨基酸含量和甜鲜味氨基酸, 分别达到了 $8.70 \pm 0.06 \text{ mg/g}$ 和 $6.15 \pm 0.14 \text{ mg/g}$, 不同呈味特性的游离氨基酸存在显著差异 ($P < 0.05$)。其中 Glu 含量是单一游离氨基酸含量最高的, 占总游离氨基酸的 10.92%, Asp 含量是单一游离氨基酸含量第二的, 占总游离氨基酸的 10.13%, 所以 Glu 和 Asp 被认为是主要的鲜味氨基酸, 具有形成鲜味和缓冲咸味等味道的特殊功效^[34-35], 同时 Glu 和盐的复合反应能提高食品的鲜味^[36-37]。而 Pro、Leu、Arg、Ala、Val、Lys、Ser、Asn、Ile 在郫县豆瓣中含量依次降低, 其含量均占总游离氨基酸含量的 5% 以上。经文献研究发现, 郫县豆瓣的游离氨基酸大多来自原料蚕豆的蛋白质降解, 虽然不同发酵环境、产品类型和原料来源等因素会对郫县豆瓣的游离氨基酸总量差异产生影响, 但其组成比例和 TAV 值大小表现出较好的一致性, 同时不同滋味特性的氨基酸之间的比例也基本保持不变, 与本研究基本一致^[38-41]。

同时, 由表 1 中的 TAV 值可知, 游离氨基酸中的 Ser、Ala、Asp、Glu、Lys、His、Arg、Val、Ile、Leu、Tyr、Phe 的 TAV 值均大于 1, 因此, 这 12 种游离氨基酸被初步认定为郫县豆瓣的潜在关键滋味组分。

2.2 有机酸分析

有机酸作为郫县豆瓣中呈酸味的滋味物质, 大多数是在制曲及发酵过程中通过微生物作用由原料中的蛋白质、淀粉和脂肪等物质转化而来, 而少量有机酸来自于原料^[43-44]。由表 2 可知, 郫县豆瓣中检测发现草酸、酒石酸、苹果酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸和富马酸 7 种有机酸, 富马酸的含量较低 ($\text{TAV} < 0.01$) 不参与讨论。郫县豆瓣样品中测得的总有机酸含量达到 9.26 mg/g , 其中有机酸含量最高的是乳酸, 含量高达 $6.776 \pm 0.016 \text{ mg/g}$, 占总有机酸含量的 73%, 具有温和的酸味^[45-46]。其次是酒石酸和琥珀酸, 含量分别为 $1.322 \pm 0.009 \text{ mg/g}$ 和 $0.801 \pm 0.192 \text{ mg/g}$, 不同有机酸物质存在显著含量差异 ($P < 0.05$), 单一有机酸的含量差异和有机酸种类间的含量比例都会影响郫县豆瓣的口感和质量^[47]。酒石酸其呈味阈值高达 88.15, 不仅表达出了强烈的酸味, 也表达出了微弱的

咸味, 这可能是味感之间的掩蔽作用^[48]。另外琥珀酸呈味阈值是 7.55, 产生明显酸味, 同时文献报导显示琥珀酸具有和谷氨酸相似的增味效应, 具有鲜味增效作用^[49]。优势酸为乳酸、酒石酸、琥珀酸, 与前人研究结果有较好的一致性, 其含量差异主要与其微生物和原料相关^[11]。

由表 2 可知, 有机酸中的酒石酸、乳酸和琥珀酸的 TAV 值均大于 1, 因此, 这 3 种游离氨基酸被初步认定为郫县豆瓣的潜在关键滋味组分。

2.3 无机离子分析

通常无机离子来自主要显示出来的味感是咸味, 正、负无机离子都会影响咸味的生成。咸味由阳离子产生, 阴离子起到修饰或改善咸味的作用。其中 Na^+ 产生咸味强烈且纯正, Ca^{2+} 和 K^+ 咸中带苦, 而 PO_4^{3-} 、 Cl^- 对的咸味起到了消杀和抑制的作用, 其中 PO_4^{3-} 产生温和爽快的酸味, 抑制作用更为明显^[20,51]。由表 3 可知, 郫县豆瓣中检测发现了 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 这 6 种无机离子, 其中含量最高的无机离子是 Na^+ , 含量高达 $62.504 \pm 0.508 \text{ mg/g}$, 是呈味阈值的 41.67 倍, Na^+ 含量的显著差异与郫县豆瓣的咸味表现出了一致性 ($P < 0.05$), 主要来源于甜瓣子和椒胚发酵中食盐的添加^[19]。其次含量第二的是 Cl^- , 含量为 $10.934 \pm 1.406 \text{ mg/g}$, 是呈味阈值的 4.11 倍, 而郫县豆瓣中 Cl^- 含量明显低于 Na^+ 含量主要是由于在形成的同时也与谷氨酸和天冬氨酸生成化合物谷氨酸钠等重要的呈鲜物质。含量第三的是 K^+ , 含量为 $7.063 \pm 0.051 \text{ mg/g}$, 是呈味阈值的 5.43 倍。目前对无机离子的含量与滋味分子主要集中在水产品 and 菜肴呈味特性研究^[52-54]。

表 3 郫县豆瓣中无机盐离子的含量、滋味阈值和 TAV
Table 3 Inorganic salt ion content, taste threshold and TAV in Pixian Borad Bean Paste

呈味特性	物质	含量(mg/g)	呈味阈值 ^[55] (mg/g)	TAV
苦味	Ca^{2+}	$0.482 \pm 0.045^{\text{d}}$	1.50	0.32
咸味	K^+	$7.063 \pm 0.051^{\text{c}}$	1.30	5.43
苦味	Mg^{2+}	$1.591 \pm 0.071^{\text{d}}$	0.96	1.66
咸味	Na^+	$62.504 \pm 0.508^{\text{a}}$	1.50	41.67
咸味	PO_4^{3-}	$1.709 \pm 0.155^{\text{d}}$	1.4246	1.20
无味	Cl^-	$10.934 \pm 1.406^{\text{b}}$	2.66	4.11

由表 3 可知, 除了 Ca^{2+} , 郫县豆瓣中的 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 的含量均超过呈味阈值, 因此这五种无机盐离子在郫县豆瓣中对味道贡献较大^[56]。

综合以上对郫县豆瓣中游离氨基酸、有机酸和无机盐离子的定量, 通过对其 TAV 进行分析, Ser、Ala、Asp、Glu、Lys、His、Arg、Val、Ile、Leu、Tyr、Phe、酒石酸、琥珀酸、乳酸、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 这 20 种滋味物质可能是郫县豆瓣的潜在关键滋味组分。但是, 滋味物质中有部分特殊的物质, 这些物质本身无味或仅仅呈现非常弱的基本味, 但当这些物质在模型溶液或另一些基本味觉的存在时(鲜

表 2 郫县豆瓣中有机酸的含量、滋味阈值和 TAV

Table 2 Organic acid content, taste threshold and TAV in Pixian Borad Bean Paste

呈味特性	物质	含量(mg/g)	呈味阈值 ^[50] (mg/g)	TAV
酸味	草酸	$0.050 \pm 0.000^{\text{e}}$	0.504	0.10
酸味	酒石酸	$1.322 \pm 0.009^{\text{b}}$	0.015	88.15
酸味/苦味	苹果酸	$0.275 \pm 0.031^{\text{d}}$	0.496	0.55
酸味	乳酸	$6.776 \pm 0.016^{\text{a}}$	1.260	5.38
酸味	柠檬酸	$0.035 \pm 0.019^{\text{e}}$	0.450	0.08
酸味/鲜味	琥珀酸	$0.801 \pm 0.192^{\text{c}}$	0.106	7.55
酸味	富马酸	$0.0009 \pm 0.0004^{\text{e}}$	0.300	<0.01

味、甜味、苦味等),能够体现出提升、抑制、变调或非常复杂的味道,即本身滋味较弱的滋味物质在鉴定时会遗漏造成整体滋味缺失^[57],因此郫县豆瓣中 TAV<1 的滋味物质可能在亚阈值浓度下也对滋味做出贡献。为探讨滋味物质对郫县豆瓣滋味的影响,将通过滋味轮廓分析、减除实验和增添实验进行下一步实验。

2.4 感官评价结果

2.4.1 滋味轮廓分析 以上可知,郫县豆瓣中共检测出 31 种滋味组分,富马酸 TAV<0.01 对感官影响较小,天冬酰胺存在标品上的限制,因此在实际感官实验中仅采用其余 29 种滋味物质进行感官分析。根据上述游离氨基酸、有机酸和无机盐离子的定性定量结果制备由 29 种 TAV>0.01 滋味物质(表 1~表 3)构成的 CTR 和根据 TAV>1 的 20 种潜在滋味物质构成的 STR。通过滋味轮廓图的对比,结果如图 1 所示,CTR 表现出突出的咸味和鲜味,滋味属性强度分别是 7.9 和 7.3,其次是轻微的酸味和甜味,滋味属性强度分别是 4.6 和 4.0,而苦味属性特别微弱,可忽略不计。CTR 和 STR 的滋味属性轮廓高度相似,都具有突出的咸味、鲜味和酸味,且各属性强度基本相同。两者都在咸味和鲜味属性上较好的模拟出 NE 的典型滋味特征,但酸味属性呈现出显著差异($P<0.05$)。

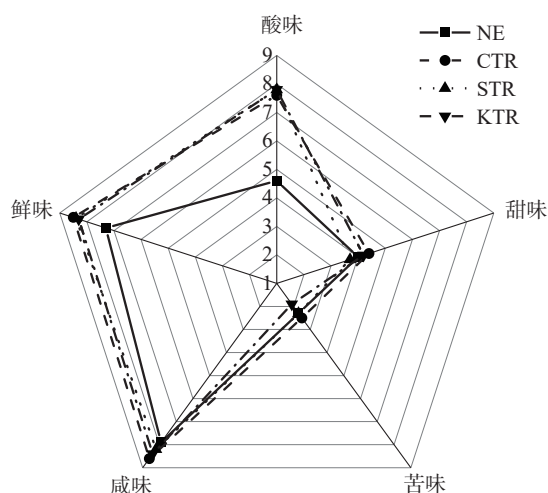


图 1 NE、CTR、STR、KTR 的滋味属性强度值

Fig.1 Intensity of taste attribute of NE, CTR, STR and KTR

2.4.2 减除实验分析 在对郫县豆瓣滋味的化学本质进行阐述后,减除实验可以进一步描述某一个或某一类化学物对所有滋味属性的映射关系,可以进一步消除滋味物质,进一步压缩对郫县豆瓣滋味溶液中具有关键的物质,达到以“最少”的滋味组分对原有食品滋味进行模拟的效果。

2.4.2.1 组间减除实验 滋味物质按照物质的结构分类探讨每一组滋味物质对整体滋味的影响,分别从 CTR 中移除组 1(游离氨基酸)、组 2(有机酸)和组 3(无机离子)时后评价其是否对整体滋味轮廓造

成的影响,若存在显著的滋味差异,则评价员使用九点强度法描述样品与 CTR 之间的滋味属性强度的差异变化。三点检验法的正确鉴别的个数对应着感官的显著性水平。对于 36 个响应值,当正确鉴别数<18,表示结果不显著;当 18<正确鉴别数<20,表示结果具有显著性差异($P<0.05$);当 20<正确鉴别数<22,表示结果具有极显著差异($P<0.01$);当正确鉴别数>22,表示结果具有高度显著差异($P<0.001$)。滋味差异的水平即滋味强度的改变,是在三点检验法基础上探究减除液与 CTR 之间的五个滋味属性强度的差异变化。

由表 4 可知,当从 CTR 中移除各组滋味物质,感官评价员能够在三点检验法时正确判别出减除后的样品 34、36 和 36 次,即减除游离氨基酸、有机酸和无机离子后均能观察到高度显著的滋味差异($P<0.001$)。从 CTR 中减除组 1 游离氨基酸时,酸味、鲜味发生高度显著性降低($P<0.001$),即游离氨基酸是提供鲜味的主要成分。从 CTR 中减除组 2 有机酸后,酸味、咸味和鲜味发生高度显著的降低($P<0.001$),甜味发生了极显著性降低($P<0.01$)。从 CTR 中减除组 3 无机离子,咸味和鲜味发生高度显著的降低($P<0.001$),酸味反而发生了高度显著的升高($P<0.001$),验证了无机离子和咸味、鲜味存在了高度相关性。这与文献结果类似,即游离氨基酸、有机酸和无机离子的减除会造成鲜味和鲜味的降低^[52,58]。

2.4.2.2 组内减除实验 在组间减除实验的基础上进一步通过组内减除实验确定郫县豆瓣中的关键滋味组分,阐明关键滋味物质与感官属性之间的映射关系。

组 1 中,总游离氨基酸的减除对滋味属性的影响主要体现在鲜味和咸味的降低。由表 4 可知,Ala、Asp、Glu、Lys、Arg 的减除使整体的感官滋味属性呈现显著性差异。其中,减除 Ala 导致鲜味的显著降低($P<0.05$),减除 Glu 和 Asp 导致鲜味的高度显著性降低($P<0.001$),而减除 Asp、Glu 则表现出鲜味的高度显著性降低($P<0.001$)。其他游离氨基酸的缺失对重组物的滋味属性结构没有明显影响。

组 2 中,有机酸的减除对滋味属性的影响主要体现在酸味、鲜味、咸味的高度显著性降低上($P<0.001$),和甜味的较显著性降低($P<0.01$)。减除酒石酸后,滋味重组物的酸味呈现出了高度显著降低($P<0.001$),鲜味呈现显著降低($P<0.05$);减除乳酸后,重组物的酸味呈现出了高度显著降低($P<0.001$);移除琥珀酸后咸味和鲜味表现出高度显著性降低($P<0.001$)。有机酸的减除实验中鉴定出了酒石酸、乳酸和琥珀酸为关键滋味组分,这与有机酸的滋味阈值强度表现出了一致性,即 TAV>1 的该三种有机酸在郫县豆瓣的滋味属性中表现出显著贡献。即减除实验进一步在 TAV 的判定基础上确定了有机酸中的关键滋味物质。

表 4 组间和组内成分的减除对郫县豆瓣滋味属性的影响
Table 4 Effect of absence of group or individual compounds on the taste attributes of the complete taste recombinant of Pixian Borad Bean Paste

减除的组分	正确鉴别的 个数(n=36)	显著性	滋味差异的水平 (滋味强度的改变)
组1: 游离氨基酸	34	***	Sa↓*** (8.6→6.0)、 U↓*** (8.5→6.0)、So↓、S↓、B↓
苏氨酸(Thr)	12	—	
丝氨酸(Ser)	10	—	
甘氨酸(Gly)	15	—	
丙氨酸(Ala)	18	*	U↓* (8.5→8.0)、Sa↓、So↓
脯氨酸(Pro)	11	—	
天冬氨酸(Asp)	25	***	U↓*** (8.5→7.6)、Sa↓、So↓
谷氨酸(Glu)	29	***	U↓*** (8.5→7.8)、Sa↓、So↓
赖氨酸(Lys)	26	***	Sa↓、B↓
组氨酸(His)	12	—	
精氨酸(Arg)	25	***	Sa↓、B↓、U↓
缬氨酸(Val)	11	—	
甲硫氨酸(Met)	14	—	
异亮氨酸(Ile)	13	—	
亮氨酸(Leu)	12	—	
酪氨酸(Tyr)	12	—	
苯丙氨酸(Phe)	7	—	
半胱氨酸(Cys)	6	—	
组2: 有机酸	36	***	Sa↓*** (8.6→5.4)、 U↓*** (8.5→5.3)、 So↓*** (7.6→6.8)、 S↓** (4.4→3.4)、B↓
草酸	16	—	
酒石酸	26	***	So↓*** (7.6→6.4)、 U↓* (8.5→8.0)、S↓、B↓
苹果酸	13	—	
乳酸	25	***	So↓*** (7.6→6.6)、U↓、S↓
柠檬酸	14	—	
琥珀酸	28	***	Sa↓*** (8.6→7.6)、 U↓*** (8.5→7.4)、So↓、B↓
组3: 无机离子	36	***	Sa↓*** (8.6→3.3)、 U↓*** (8.5→3.3)、 So↑*** (7.6→8.6)、S↓、B↓
Ca ²⁺	15	—	
K ⁺	20	**	Sa↓** (8.6→7.5)、 U↓** (8.5→7.5)、S↓、B↑
Mg ²⁺	19	**	Sa↓** (8.6→7.0)、 U↓** (8.5→7.2)、S↓、B↑
Na ⁺	34	***	Sa↓*** (8.6→5.6)、 U↓*** (8.5→6.7)、So↑、S↓、B↑
PO ₄ ³⁻	36	***	So↓*** (7.6→3.3)、 Sa↓*** (8.6→7.6)、U↓、S↓、B↓
Cl ⁻	29	***	Sa↓** (8.6→6.4)、 U↓** (8.5→7.1)、B↓

注: So, 酸味; S, 甜味; B, 苦味; Sa, 咸味; U, 鲜味; “—”无显著性差异; *表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$; ***表示 $P<0.001$; “↓”, 滋味属性强度下降; “↑”滋味属性强度上升。

组 3 中, 无机离子的减除对滋味属性的影响主要体现在酸味、鲜味和咸味的极显著性降低($P<0.001$)。其中 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 的缺失主要导致了咸味和鲜味的极显著性降低($P<0.01$), Na^+ 的缺失导致咸味和鲜味高度显著性降低($P<0.001$); PO_4^{3-} 的缺失导致了酸味和咸味的高度显著性的降低($P<0.001$), 即 PO_4^{3-} 表现出显著的酸味, 这可能是滋味轮廓结果中

CTR 和 STR 与 NE 在酸味属性上存在显著差异的原因。无机离子的减除实验中鉴定出了 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 PO_4^{3-} 、 Cl^- 为关键滋味组分, 这同时与无机离子的滋味阈值强度表现出了一致性。

综合组间和组内减除实验可知, 确定了 Ala、Asp、Glu、Lys、Arg、酒石酸、乳酸、琥珀酸、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 13 种滋味物质为郫县豆瓣的关键滋味组分。

2.4.3 添加实验分析 为了避免关键滋味物质在减除试验中遗漏, 进一步采用添加实验以确定几种物质的关联是否对一种或多种滋味特性产生影响。以减除实验鉴定出的 13 种郫县豆瓣关键滋味组分制备模型溶液, 逐一添加筛选出的非关键滋味组分的单一物质。如表 5 所示, 均未观察到显著的滋味差异($P<0.05$), 进一步印证了减除实验结果的有效性和可靠性。

表 5 添加实验的结果
Table 5 Results of addition tests

添加的组分	正确鉴别的个数(n=36)	显著性水平
组1: 游离氨基酸		
苏氨酸(Thr)	15	—
丝氨酸(Ser)	14	—
甘氨酸(Gly)	11	—
脯氨酸(Pro)	9	—
组氨酸(His)	12	—
缬氨酸(Val)	11	—
甲硫氨酸(Met)	10	—
异亮氨酸(Ile)	14	—
亮氨酸(Leu)	8	—
酪氨酸(Tyr)	13	—
苯丙氨酸(Phe)	12	—
半胱氨酸(Cys)	6	—
组2: 有机酸		
草酸	10	—
苹果酸	8	—
柠檬酸	14	—
组3: 无机离子		
Ca ²⁺	14	—

注: “—”表示无显著差异。

根据减除实验和添加实验的结果, 最终确定 Ala、Asp、Glu、Lys、Arg、酒石酸、乳酸、琥珀酸、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 共 13 种物质配制的简化滋味液可模拟郫县豆瓣的滋味。

2.4.4 KTR 滋味分析 由图 1 可知, CTR 和 KTR 在郫县豆瓣的典型滋味属性上表现出了较好的一致性。CTR 的典型滋味属性是显著的咸味和鲜味, 重组液 KTR 整体滋味与 CTR 几乎没有差异(正确响应值=12/36), 即关键滋味重组液能够较好的复刻完全滋味重组液的滋味信息。同时, 根据 TAV 计算组成的简单滋味重组液 STR 也与 CTR 表现出了较好的滋味一致性, 可能因为滋味化合物通常有感官受体

直接感受,不经历基质释放过程,受到基质作用的影响较小^[30]。

3 结论

通过对郫县豆瓣的关键滋味组分探究,明确了咸味和鲜味是郫县豆瓣滋味提取液的典型滋味属性;并确定 Ala、Asp、Glu、Lys、Arg、酒石酸、乳酸、琥珀酸、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 PO_4^{3-} 和 Cl^- 是郫县豆瓣的关键滋味物质。目前对关键滋味组分的构成研究大多局限于水产品,其特征性关键滋味物质类型和含量是造成水产品的风味差异的主要原因^[30,52]。在对调味品滋味物质研究中,郫县豆瓣与其他发酵调味品如腐乳、鱼露和酱油等^[59-61] 中的滋味成分具有很高的相似性,这些成分构成了发酵调味品的基本味觉特征,而典型滋味组分类型的差异和共有组分定量差异导致了每种发酵调味品的特征滋味。

后续可以加强在郫县豆瓣特征滋味物质形成机制方面的研究,并进一步探究其变化规律及形成机制,从滋味方面对产品进行质量控制。另外,可以通过分子感官科学技术对区域性郫县豆瓣进行研究,建立产品风味物质和指纹图谱数据库,形成数字化评价标准,进行质量评价,以扩大分子感官科学技术的应用范围,为保障食品质量发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 李幼筠. “郫县豆瓣”剖析[J]. 四川食品与发酵, 2008(1): 19-23. [LI Y J. Analysis of “Pixian Bean Paste”[J]. Sichuan Food and Fermentation, 2008(1): 19-23.]
- [2] 孟甜, 黄韬睿, 李玉峰. 响应面法优化郫县豆瓣制曲工艺[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 193-197. [MENG T, HUANG T R, LI Y F. Optimization of the preparation of Pixian Bean Sauce Koji by response surface methodology[J]. Food Science, 2014, 35(15): 193-197.]
- [3] 石磊, 李诚. HACCP 在郫县豆瓣生产中的应用[J]. 中国调味品, 2007, 1(6): 25-27. [SHI L, LI C. Application of HACCP in processing Pixian spicy bean paste[J]. China Condiment, 2007, 1(6): 25-27.]
- [4] 韩永奇. 关于提升郫县豆瓣品牌力的市场观察与思考[J]. 中国调味品, 2009, 34(6): 115-117. [HAN Y Q. Market observation and reflection on enhancing the brand power of Pixian Douban[J]. China Condiment, 2009, 34(6): 115-117.]
- [5] 高岭. 郫县豆瓣的生产工艺改进[J]. 中国调味品, 2006(5): 34-39. [GAO L. Improvement of production process for Pixian Douban[J]. China Condiment, 2006(5): 34-39.]
- [6] 李治华, 黄驰, 王自鹏, 等. 不同后熟发酵时间郫县豆瓣酱挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 180-184. [LI Z H, HUANG C, WANG Z P, et al. Analysis of volatile components of Pixian Broad-Bean Sauce with different Post-Ripening fermentation times[J]. Food Science, 2014, 35(16): 180-184.]
- [7] 杨国华, 杨帆, 叶玉娇, 等. 豆瓣中风味物质的研究现状[J]. 中国调味品, 2018, 43(6): 194-200. [YANG G H, YANG F, YE Y J, et al. Review on the flavor components in Broad Bean Paste[J]. China Condiment, 2018, 43(6): 194-200.]
- [8] 罗静, 赵红宇, 徐炜桢, 等. 郫县豆瓣后发酵过程中挥发性呈香物质测定及主成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 209-216. [LUO J, ZHAO H Y, XU W Z, et al. Analysis of volatile com-
- pounds in Pixian Soybean Paste during Post-Fermentation by SPME-GC-MS combined with PCA[J]. Food Science, 2018, 39(18): 209-216.]
- [9] 赵红宇, 徐炜桢, 杨国华, 等. 基于高通量测序的郫县豆瓣后发酵期真菌演替变化分析[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 51-56. [ZHAO H Y, XU W Z, YANG G H, et al. Fungal community analysis by High-Throughput sequencing in Pixian Soybean Paste during post-fermentation[J]. Food Science, 2017, 38(16): 51-56.]
- [10] 赵红宇, 徐炜桢, 杨国华, 等. 基于高通量测序的郫县豆瓣后发酵期细菌多样性研究[J]. 食品科学, 2017, 38(10): 117-122. [ZHAO H Y, XU W Z, YANG G H, et al. Bacterial community analysis of Pixian Soybean Paste during post-fermentation by high-throughput sequencing[J]. Food Science, 2017, 38(10): 117-122.]
- [11] 于筱雨, 方佳兴, 向琴, 等. 响应面法优化郫县豆瓣中有机酸的提取工艺及 HPLC 定量分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 286-291. [YU Y Y, FANG J X, XIANG Q, et al. Extraction optimization by response surface methodology and HPLC analysis of organic acids from Pixian Broad Bean Paste[J]. Food Science, 2019, 40(4): 286-291.]
- [12] 孙文佳. 食盐替代物与乳酸链球菌素在低钠盐郫县豆瓣发酵中的应用研究[D]. 成都: 西华大学, 2021. [SUN W J. Study on the application of salt substitute and Nisin in the fermentation of low-sodium Pixian Broad Bean Paste[D]. Chengdu: Xihua University, 2021.]
- [13] 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 H B, FANG J X, BI X P, 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.]
- [14] 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 Y Q, CHEN Y, PENG J, et al. Changes of fat and fatty acid metabolism in post-fermentation process of Pixian soybean paste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 203-207, 212.]
- [15] 冉玉琴. 郫县豆瓣后发酵期脂肪酸、糖及生物胺变化研究[D]. 成都: 西华大学, 2020. [RAN Y Q. Study on changes of fatty acids, sugars and biological amines in post-fermentation process of Pixian soybean paste[D]. Chengdu: Xihua University, 2020.]
- [16] ENGEL E, NICKLAUS S, SEPTIER C, et al. Taste active compounds in a goat cheese water-soluble extract. 2. Determination of the relative impact of water-soluble extract components on its taste using omission tests[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2000, 48(9): 4260-4267.
- [17] 徐琳娜, 王璋, 许时婴. 豆瓣酱后熟过程中氨基酸和风味物质的变化[J]. 中国调味品, 2006(9): 21-25. [XU L N, WANG Z, XU S Y. Changes of free amino acid and volatile flavor compound in the process of aging of broad bean sauce[J]. China Condiment, 2006(9): 21-25.]
- [18] 曾艳, 白艳, 余进, 等. 传统郫县豆瓣和红油郫县豆瓣后发酵过程中风味成分的差异分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-9. [2023-08-21]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034682. [ZENG Y, BAI Y, YU J, et al. Flavor compounds dynamic changes during ripening fermentation of traditional and commercial Pixian Douban Jiang(broad bean paste)[J/OL]. Food and Fermentation Industries: 1-9. [2023-08-21]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034682.]
- [19] 刘志伟, 谭兴和, 姚曙光. 豆瓣酱的研究进展及发展方向

- [J]. 中国调味品, 2011, 36(3): 13–16. [LIU Z W, TAN X H, YAO S G. Technology present situation and development directions of pea sauce[J]. China Condiment, 2011, 36(3): 13–16.]
- [20] 窦璐. 腐乳基本滋味及其呈味物质的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005. [DOU J. Study on the basic tastes and taste compounds in water-soluble extract of Sufu[D]. Beijing: China Agricultural University. 2005.]
- [21] LIU P, XIANG Q, SUN W J, et al. Correlation between microbial communities and key flavors during post-fermentation of Pixian broad bean paste[J]. Food Research International, 2020, 137: 109513.
- [22] 叶丹, 王传明, 刘鹏, 等. 分子感官科学技术在调味品上的应用研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(5): 198–200. [YE D, WANG C M, LIU P, et al. Research progress on application of molecular sensory science and technology in condiments[J]. China Condiment, 2021, 46(5): 198–200.]
- [23] 张燕红, 尹军峰, 刘政权, 等. 分子感官科学技术在茶叶风味上的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 5922–5929. [ZHANG Y H, YIN J F, LIU Z Q, et al. Research progress of application of molecular sensory science technology in tea flavor[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(22): 5922–5929.]
- [24] 代丽凤, 罗理勇, 罗江琼, 等. 植物苦味物质概况及其在食品工业的应用[J]. 中国食品学报, 2020, 20(11): 305–318. [DAI L F, LUO L Y, LUO J Q, et al. Overview of bitter substances in plants and their application in Food Industry[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(11): 305–318.]
- [25] KEAST R, BRESLIN P. An overview of taste–taste interactions[J]. Food Quality and Preference, 2003, 14(2): 111–124.
- [26] ZHANG N, AYED C, WANG W, et al. Sensory-guided analysis of key taste-active compounds in pufferfish (*Takifugu obscurus*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(50): 13809–13816.
- [27] 倪正, 关今韬, 沈绍传, 等. 苯乳酸的微生物合成及分离研究进展[J]. 化工进展, 2016, 35(11): 3627–3633. [NI Z, GUAN J T, SHEN S C, et al. An overview of recent advances in microbial synthesis and separation of phenyllactic acid[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(11): 3627–3633.]
- [28] 王冲, 陶璇, 冯云柯, 等. ICP-OES 和 ICP-MS 方法分析郫县豆瓣中矿物质元素的分布[J]. 中国测试, 2019, 45(12): 62–68. [WANG C, TAO X, FENG Y K, et al. Analysis of mineral elements distribution in Pixian broad-bean paste based on ICP-OES and ICP-MS[J]. China Measurement & Test, 2019, 45(12): 62–68.]
- [29] 王蔚新. 酸鱼发酵过程中蛋白质降解及其风味形成机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017. [WANG W X. Research on proteolysis and flavor formation mechanism during Suanyu fermentation[D]. Wuxi: Jiangnan University. 2017.]
- [30] 张宁龙. 养殖河鲀鱼特征性滋味组分及呈味肽的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019. [ZHANG N L. Research on the taste characteristic components and flavor peptides of Bred Pufferfish[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University. 2019.]
- [31] HAYASHI T, YAMAGUCHI K, KONOSU S. Sensory analysis of taste-active components in the extract of Boiled Snow Crab meat[J]. Journal of Food Science, 2010, 46(2): 479–483.
- [32] NF V09-013-2021, Sensory analysis-methodology-triangle test[S].
- [33] 武俊瑞, 顾采东, 田甜, 等. 豆酱自然发酵过程中蛋白质和氨基酸的变化规律[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 139–144. [WU J R, GU C D, TIAN T, et al. Evaluation of changes in protein and amino acids in naturally fermented soybean pastes with different fermentation periods[J]. Food Science, 2017, 38(8): 139–144.]
- [34] 唐霄, 孙杨赢, 江雪婷, 等. 不同蛋白酶制备鹅肉呈味肽的对比分析[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 141–146. [TANG X, SUN Y Y, JIANG X T, et al. Comparative analysis of flavor peptides prepared by enzymatic hydrolysis of goose meat with different proteases[J]. Food Science, 2019, 40(22): 141–146.]
- [35] 赵静, 丁奇, 孙颖, 等. 香菇菌汤及酶解液中滋味成分及呈味特性的对比分析[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 99–104. [ZHAO J, DING Q, SUN Y, et al. Comparison of taste compounds and taste characteristics of shiitake mushroom soup and enzymatic hydrolysate[J]. Food Science, 2016, 37(24): 99–104.]
- [36] SOUSA M J, Y ARDÖ, MCSWEENEY P. Advances in the study of proteolysis during cheese ripening[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(4-7): 327–345.
- [37] 邓捷春, 王锡昌, 刘源. 鱼肉风味研究进展[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 375–378, 383. [DENG J C, WANG X C, LIU Y. Research progress in fish flavor research[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(6): 375–378, 383.]
- [38] 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 X M, SUN W J, LI Y L, et al. Quality analysis of pixian broad-bean pastes made with fresh hot peppers from different producing areas[J]. Food Science, 2020, 41(10): 213–221.]
- [39] DING W W, ZHAO X Y, XIE S L, et al. Dynamics and correlation of microbial community and flavor in Pixian douban fermented with closed process of constant temperature[J]. 2021, 101(10): 4142–4153.
- [40] 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): 76–80, 85. [HU T, FAN Z Y, ZHANG Q S, et al. Study on enhanced fermentation of sweet beans of Pixian broad bean paste by yeast[J]. China Condiment, 2020, 45(7): 76–80, 85.]
- [41] LIN H B, YU X Y, FANG J X, et al. Flavor compounds in pixian broad-bean paste: Non-volatile organic acids and amino acids[J]. Molecules, 2018, 23(6): 1299.
- [42] 郑宇, 程程, 刘静, 等. 中国传统固态发酵食醋主要特征风味物质组成分析[J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 237–247. [ZHENG Y, CHENG C, LIU J, et al. Analysis of main characteristic flavor components in Chinese traditional solid-state fermented vinegars[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(8): 237–247.]
- [43] SHUKLA S, CHOI T B, PARK H K, 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.
- [44] 鲍奕达. 郫县豆瓣酿造微生物来源分析及多肽降解功能微生物解析[D]. 无锡: 江南大学, 2020. [BAO Y D. Source tracking of microbial community and functional microbiota analysis for polypeptide-degrading in pixian broad bean paste[D]. Wuxi: Jiangnan University. 2020.]
- [45] 胡来丽, 秦礼康, 王玉珠. 百香果全果与果汁发酵酒滋味成分及香气成分对比[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 10–19. [HU L L, QIN L K, WANG Y Z. Provincial mountain resources research institute, comparison of taste and aroma components between whole passion fruit and fruit juice fermented wine[J]. Food & Machinery, 2021, 37(12): 10–19.]
- [46] LIU C, MENG F, TANG X, et al. Comparison of nonvolatile taste active compounds of wild and cultured mud crab scylla para-

- manosain[J]. *Fisheries Science*, 2018, 84(14): 897–902.
- [47] 钟小廷, 吕杰, 张任虎, 等. 两种发酵工艺甜瓣子品质分析[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(1): 17–23, 35. [ZHONG X T, LÜ J, ZHANG R H, et al. Quality analysis of sweet petal with different fermentation technology[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2021, 57(1): 17–23, 35.]
- [48] GWAB C, XSAB C, LIN Z, et al. A flavoromics strategy for the differentiation of different types of Baijiu according to the non-volatile organic acids[J]. *Food Chemistry*, 2021, 374(374): 131641.
- [49] LIU C S, JI W Z, JIANG H Z, et al. Comparison of biochemical composition and non-volatile taste active compounds in raw, high hydrostatic pressure-treated and steamed oysters *Crassostrea hongkongensis*[J]. *Food Chemistry*, 2021, 344(344): 128632.
- [50] HUFNAGEL J C, HOFMANN T. Quantitative reconstruction of the nonvolatile sensometabolome of a red wine[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(19): 9190–9199.
- [51] 邓捷春, 王锡昌, 刘源. 暗纹东方鲀与红鳍东方鲀滋味成分差异研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(3): 106–108. [DENG J C, WANG X C, LIU Y. Study on difference of taste compounds between *Fugu obscurus* and *Fugu rubripes*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(3): 106–108.]
- [52] 向晨曦, 钟明慧, 徐新星, 等. 蒸制鲟鱼肉特征性滋味组分的鉴定[J]. *肉类研究*, 2021, 35(6): 22–27. [XIANG C X, ZHONG M H, XU X X, et al. Identification of characteristic taste components of steamed sturgeon[J]. *Meat Research*, 2021, 35(6): 22–27.]
- [53] 赵金梅, 周兴桃, 李娜, 等. 宫保鸡丁菜肴的呈味特性研究[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1–11[2023-08-21]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033619. [ZHAO J M, ZHOU X T, LI N, et al. Study on taste characteristics of Kong bao chicken[J/OL]. *Food and Fermentation Industries*: 1–11[2023-08-21]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033619.]
- [54] QI J, LIU D Y, ZHOU G H, et al. Characteristic flavor of traditional soup made by stewing chinese yellow-feather chickens[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(9): 2031–2040.
- [55] 翁丽萍. 养殖大黄鱼和野生大黄鱼风味的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012. [WONG L P. Research on flavor of breeding large Yellow Croaker and wild large Yellow Croaker[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012.]
- [56] FUKU S, KONOSU S. Taste-active components in some foods: A review of Japanese research[J]. *Physiology & Behavior*, 1991, 49(5): 863–868.
- [57] 杨会. 白酒中不挥发呈味有机酸和多羟基化合物研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017. [YANG H. Characterization of non-volatile gustatory organic acids and polyhydroxy compounds in chinese liquors[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]
- [58] MANNINEN H, ROTOLA-PUKKILA M, AISALA H, et al. Free amino acids and 5'-nucleotides in finnish forest mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2018, 247: 23–28.
- [59] YAMAMOTO S, SHIGA K, KODAMA Y, et al. Analysis of the correlation between dipeptides and taste differences among soy sauces by using metabolomics-based component profiling[J]. *Journal of Bioscience & Bioengineering*, 2014, 118(1): 56–63.
- [60] KAMAL G M, WANG X, YUAN B, et al. Compositional differences among Chinese soy sauce types studied by C-13 NMR spectroscopy coupled with multivariate statistical analysis[J]. *Talanta*, 2016: 89–99.
- [61] 李爱平, 李震宇, 邢婕, 等. 核磁共振代谢组学技术检测食醋化学成分[J]. *食品科学*, 2013, 34(12): 247–253. [LI A P, LI Z Y, XING J, et al. Chemical characterization of different vinegars by NMR-based metabolomic approach[J]. *Food Science*, 2013, 34(12): 247–253.]