

不同菌种发酵所得酸豆乳风味物质的主成分分析

朱涔铭, 郝正祺, 郭顺堂*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 植物蛋白与谷物加工北京市重点实验室, 北京 100083)

摘 要: **目的** 针对酸豆乳存在的重要感官缺陷, 判断不同菌种发酵风味间的差异性。**方法** 收集与酸豆乳风味相关的、具有代表性、实验设计合理、数据信息完整的文献, 共提取了 27 种发酵菌种制得的酸豆乳风味物质测定数据, 将其进行统计并标准化处理, 根据各风味物质出现频率筛选出酸豆乳风味体系中主要的风味物质, 结合阈值和含量计算香气活度值(odoractivityvalue, OAV)和相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)值, 确定对酸豆乳风味起主要贡献的物质。将其作为研究对象, 对不同菌种发酵豆乳的风味进行 PCA 主成分分析。**结果** 对酸豆乳风味起主要贡献的物质有 2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、1-辛烯-3-酮、3-羟基-2-丁酮、乙醛、正己醛、2-辛烯醛、2,4-癸二烯醛、戊醛、己醇、1-庚醇、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。**结论** 27 种菌种在 4 类风味物质(强豆腥味物质、奶香味物质、非豆腥味物质、弱豆腥味物质)的相对含量上存在显著性差异。**关键词:** 酸豆乳; 菌种; 风味物质; 主成分分析

Principal component analysis of flavoring substances in fermented soymilk with different strains

ZHU Cen-Ming, HAO Zheng-Qi, GUO Shun-Tang*

(Beijing Key Laboratory of Plant Protein and Cereal Processing, College of Food Science and Nutrition Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Objective To determine the difference of fermented flavor between different strains of fermented soybean milk in view of the important sensory defects. **Methods** The representative literatures with reasonable experimental design and complete data information related to flavor of fermented soymilk were collected, and the flavor substances data of fermented soymilk produced by 27 kinds of strains were summarized. According to the occurrence frequency of each substance, the main flavor substances of fermented soymilk were determined, and odoractivityvalue (OAV) and relative odor activity value (ROAV) were calculated by their thresholds and contents, to determine the main contribution to the flavor of soymilk. Furthermore, principal component analysis(PCA) was used to analyze the flavor of fermented soymilk from different strains. **Results** The main substances contributing most to the flavor of fermented soymilk were 2,3-butyl ketone of 2,2,3-glutaric ketone, 1-octene-3-ketone, 3-hydroxy-2-butanone, acetaldehyde, hexanal, 2-octene aldehyde, 2,4-decadienal, pentaldehyde, hexanol, 1-heptanol, 1-octene-3-alcohol, and 2-pentyl furan. **Conclusion** There are significant differences in the relative contents of 4 kinds of flavor substances, including milk flavor, strong beany flavor, weak beany flavor and non-beany flavor.

基金项目: 十三五重点研发计划项目(2016YFD0400402)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0400402)

*通讯作者: 郭顺堂, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学。E-mail: shuntang@cau.edu.cn

*Corresponding author: GUO Shun-Tang, Ph.D, Professor, China Agricultural University, No. 17, Qinghuadonglu, Haidian District, Beijing 100083, China. E-mail: shuntang@cau.edu.cn

KEY WORDS: fermented soymilk; strains; flavor substance; principal component analysis

1 引言

豆乳是以大豆为原料加工而得的植物蛋白饮料,含有丰富的蛋白质,且必需氨基酸种类齐全,营养价值与牛肉、鸡蛋、牛奶等动物蛋白相当,具有较高的营养价值。但同时,豆乳中由于含有一定的抗营养因子,人体不易吸收,造成胀气等生理不适。豆乳还存在豆腥味、豆涩味等感官缺陷^[1]。研究表明,发酵有利于分解豆乳中抗营养因子和改善豆腥味。

由乳酸菌发酵豆乳,再经过冷藏后熟制得的酸豆乳是一种新型大豆凝乳产品,营养价值丰富,具有促消化、抗肿瘤等功能^[2,3]。已有研究结果表明,酸豆乳风味体系构成复杂,其风味物质一方面来源于原料豆乳,一方面来自于菌种生长代谢生成物^[4]。另外,各化合物相互作用生成新物质,亦会对酸豆乳风味体系做出贡献。发酵可以降低豆乳原料中部分豆腥味物质,如己醛、2,4-癸二烯醛、2-辛烯醛、2-戊基呋喃、1-辛烯-3-醇等^[4],又能够产生乙酸、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丙酮等奶香味物质^[5],从而构成酸豆乳的风味体系。

乳酸菌产生风味物质主要通过乳酸发酵、糖酵解、三羧酸循环、蛋白质水解、氨基酸代谢、脂类代谢等途径完成^[6]。同型乳酸发酵的乳酸菌能够将体系中的乳糖、葡萄糖等碳源转化为乳酸,而异型乳酸发酵类型除生成乳酸外还能生产乙醇、乙酸等产物。乳酸在辅酶I(NAD⁺)的作用下可以与丙酮酸发生相互转化。在柠檬酸代谢过程中,柠檬酸裂解酶和草酰乙酸脱羧酶作用于柠檬酸,生成丙酮酸。丙酮酸再经脱氢等一系列反应生成乙醛、乙醇和乙酸等风味物质。也可以通过柠檬酸代谢途径,在双乙酰合成酶的作用下生成双乙酰(即 2,3-丁二酮),再在还原酶的作用下进一步生成 2,3-丁二醇^[7,8]。而豆乳中的糖类主要是蔗糖、棉籽糖、水苏糖等低聚糖,由于不同菌种对这些糖类的利用能力不同,加上生长代谢的途径不同,对豆腥味物质的代谢程度和香味物质的生成程度不同,因此发酵所得酸豆乳的风味也存在着一定差异。

据统计,目前已用于酸豆乳风味研究的乳酸菌有嗜酸乳杆菌(*L. acidophilus*)、嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)、保加利亚乳杆菌(*L. bulgaricus*)、植物乳杆菌(*L. plantarum*)、干酪乳杆菌(*L. casei*)、瑞士乳杆菌(*L. helveticus*)、德氏乳杆菌(*L. delbrueckii*)、双歧杆菌等,以及使用酵母菌与乳酸菌复配发酵^[9]。但有关发酵风味最佳的菌种尚不明确。本研究通过收集与酸豆乳风味相关的、具有代表性、实验设计合理、数据信息完整的文献,提取酸豆乳风味物质测定信息进行处理并进行了荟萃分析,利用

主成分分析法建立不同菌种发酵酸豆乳的风味评价模型,为酸豆乳风味改善提供思路。

2 材料与方法

2.1 文献检索

2.1.1 检索策略

中文检索词为“酸豆乳、发酵豆乳、酸豆奶、发酵豆奶、大豆酸奶”,每个词条分别与“风味、香气、挥发性物质、气质联用”相组合进行检索。

英文检索词:”fermented soymilk, soy yogurt”,每个词条分别与”flavor, volatiled compound, GC-MS, GC-O-MS, HS-SPME”相组合进行检索。

检索采用主题词与自由词结合的方式,用布尔逻辑运算符连接检索词。

不限地区,研究语种为中文、英文和日文。

2.1.2 检索数据库

中文数据库以中国学术期刊全文数据库(CNKI)、万方知识服务平台、读秀知识库为主,英文数据库以 Web of science 数据库、EBSCO 数据库为主,查找范围包括期刊、学位论文、会议、专利标准、科技报告、图书。使用 Sci-Hub 查找未找到全文的相关文献。

将检索到的所有文献导入到文献管理工具 NoteExpress 中。

2.1.3 文献筛选

纳入标准:(1)研究内容涉及发酵豆乳的风味物质;(2)各研究假设与研究方法相同或相似。

排除标准:(1)重复研究的文献报道;(2)发酵原料非纯豆乳;(3)研究设计存在缺陷,质量较差。

初筛:通过文献管理工具 NoteExpress 逐篇阅读文献题目、摘要、关键词等,合并重复或者一稿多投的文献,剔除明显不符合纳入标准的文献。

复筛:进一步查找初步筛选准备纳入的文献全文,逐篇阅读,根据其风味物质分析实验数据进行取舍和归类,再次排除不符合要求的文献,确定纳入文献。

2.1.4 文献纳入情况

初检出相关文献 251 篇,其中中文文献 135 篇,英文文献 116 篇,日文文献 1 篇,时间跨度 1976~2020 年。剔除明显不符合纳入标准及重复发表的文献后,获得 66 篇相关文献,经阅读文题、摘要和关键字等初筛后纳入 39 篇文献。进一步查找和阅读全文,排除发酵原料为复合豆乳、未得到有效数据的文献,最终纳入 32 篇文献,其中中文文献 24 篇,英文文献 7 篇,日文文献 1 篇。

其中有完整酸豆乳风味物质数据的 10 篇,仅对比了

关键风味物质的 7 篇, 研究了风味改善方法的 15 篇, 时间跨度为 1986~2020 年。

2.1.5 原始文献的资料提取方法

纳入研究的一般信息有: 文献题目、作者、发表年限、研究对象等。

研究对象的一般信息: 发酵菌种、发酵温度和时长、风味物质的提取测定方法、各类挥发性风味化合物的种类及数量、特征风味物质种类、风味改善的方法及验证结论等。

2.1.6 文献纳入结果

对 10 篇含有完整酸豆乳发酵风味物质信息的文献进行数据提取, 文献的基本信息如表 1。

2.2 风味评价

香气活度值(odoractivityvalue, OAV)可用于评价各风味物质对样品总体风味的贡献^[20]。

$$OAV_i = \frac{C_i}{T_i}$$

式中, C_i 为该化合物浓度, $\mu\text{g/L}$; T_i 为感觉阈值, $\mu\text{g/L}$ 。

由于食品风味物质种类多, 成分复杂, 绝对定量难度大^[21], 因此, 一般用相对浓度(C_r)代替绝对浓度进行分析, 相对浓度(C_r)可由峰面积归一化法计算得到, 即

$$C_r \approx C$$

为了方便分析, 参考吴林等^[22]的方法, 可以采用相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)代替 OAV 值来评价各物质对酸豆乳总体风味的贡献。

2.3 数据处理

本研究使用 SPSS17.0 软件对不同菌种发酵豆乳的风味物质进行标准化处理, 排除误差数据, 再进行主成分分析(principal component analysis, PCA), 通过降维, 使得各主要风味物质间呈现一定聚性, 可以更为简洁地表达不同菌种对酸豆乳风味形成的影响。

3 结果与分析

3.1 酸豆乳挥发性风味物质种类

酸豆乳风味体系构成十分复杂, 其风味物质一方面来源于原料豆乳中, 一方面来自于菌种生长代谢。另外, 各化合物相互作用生成新物质, 亦会对酸豆乳风味体系做出贡献^[23]。原料豆乳的风味物质主要由醛类构成, 乳酸菌发酵能够一定程度将醛类转化为醇类、酮类等^[24]。根据文献报道, 各研究者通过固相微萃取、顶空固相微萃取技术结合 GC-MS 法对不同菌种发酵的酸豆乳产生的风味化合物进行了提取分析, 表明构成酸豆乳风味的物质种类主

表 1 纳入文献的资料特征^[10-19]
Table 1 Material characteristics of the included literature^[10-19]

作者	发酵剂	发酵方式	香气提取方式	香气种类数量
周艳萍	直投式发酵剂 A、B、C、D、E	42 °C发酵至 pH4.7, 冷藏后熟	固相微萃取结合气相色谱-质谱联用法(Gas chromatography - mass spectrometry, GC-MS)	24 种
武旭	Hanson 商业乳酸菌与纳豆芽孢杆菌 1: 1	40 °C发酵, 4 °C冷藏后熟	固相微萃取结合 GC-MS	31 种
李理	保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌 1: 1	接种量 4%, 42 °C发酵 4 h, 4 °C冷藏后熟 12 h	固相微萃取结合 GC-MS	35 种
徐寅	嗜热链球菌 GRX90、AM1、XN53、ST、971-8	接种量 3%, 42 °C发酵 4 h, 4 °C冷藏后熟 12 h	固相微萃取结合 GC-MS	42 种
李程程	植物乳杆菌 70810	接种量 3%, 42 °C发酵 4 h, 4 °C冷藏后熟 12 h	固相微萃取结合 GC-MS	37 种
张佳	保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、瑞士乳杆菌	接种量 5%, 42 °C发酵 4 h, 4 °C冷藏后熟	固相微萃取结合 GC-MS	43 种
侯小真	嗜酸乳杆菌 MF204	接种量 3%, 39 °C发酵 8 h 缓慢破乳, 4 °C冷藏后熟	固相微萃取结合 GC-MS	22 种
姜涛	嗜酸乳杆菌 LA-2	接种量 5%, 40 °C发酵 4 h, 4 °C冷藏后熟	固相微萃取结合 GC-MS	30 种
冯静文	市售乳酸菌 XPL-1、葡萄酒活性干酵母、阿米塞毕赤氏酵母 Y	接种量 10%, 32 °C发酵 16 h, 4 °C冷藏后熟	固相微萃取结合 GC-MS	41 种
郭帅	嗜热链球菌 S10、XJ57-3、S32-5、GW45-4、GW21-4	接种量 5%, 40 °C发酵 4 h, 4 °C冷藏后熟	固相微萃取结合 GC-MS	40 种

要有醇类、醛类、酸类、酮类、呋喃类、酸酯类,还有少部分菌种发酵产生芳香类、烯类和烷烃类化合物。采用不同菌种发酵的酸豆乳风味体系构成有所区别,又有一定共性。

目前文献数据显示,研究者们共采用了 27 种发酵菌种进行酸豆乳发酵,其中嗜热链球菌 10 种,分别为 GRX90、AM1、XN53、ST、971-8、S10、XJ57-3、S32-5、GW45-4、GW21-4;嗜酸乳杆菌 2 种,分别为嗜酸乳杆菌 MF204 和 LA-2;植物乳杆菌 1 种,即植物乳杆菌 70810;市售发酵剂 6 种,复合菌种发酵剂 8 种,即保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌 1:1 混合菌种、嗜热链球菌与瑞士乳杆菌混合菌种、纳豆芽孢杆菌与 Hanson 商用乳酸菌混合菌种、市售乳酸菌 XPL-1 与 VIC 混合菌种、XPL-1 与阿塞毕赤氏酵母 1:1 混合菌种、27-XPL-1 与阿塞毕赤氏酵母 1:2 混合菌种。

从发酵所得酸豆乳中提取的挥发性风味物质共有 176

种,其中醇类 44 种,醛类 32 种,酮类 26 种,酸类 22 种,酸酯类 21 种,烷烃类 12 种,芳香类 10 种,烯类 6 种,呋喃类 3 种。其中超过 2 篇文献中均含有的风味物质统计如表 2。

虽然酸豆乳中的风味物质很多,但不同风味物质由于相对含量不同、风味阈值不同、呈味特性不同,对酸豆乳风味的贡献程度也有所差别。因此在酸豆乳中,对最终呈味效果起关键作用的一般是相对含量高、风味阈值低、风味特殊、保留时间长的几种物质。

3.2 酸豆乳挥发性风味物质主成分分析

通过在文献资料中查询各物质的阈值,再对上述至少 2 篇文献中出现过的风味物质进行标准化处理,排除存在明显误差的数据,取各物质相对含量均值,并计算 ROAV 值。

各物质风味描述、相对平均含量及 ROVA 值统计如表 3。

表 2 酸豆乳中主要的挥发性风味物质
Table 2 The main volatile compounds of fermented soymilk

风味物质种类	挥发性风味物质
醇类(12 种)	乙醇、1-戊醇、正己醇、2-甲基丁醇、3-甲基丁醇、3-辛醇、1-辛烯-3-醇、1-庚醇、1-辛醇、2-辛烯-1-醇、1-壬醇、苯乙醇
醛类(10 种)	乙醛、正己醛、2-己烯醛、壬醛、2-辛烯醛、2,4-庚二烯醛、苯甲醛、2-癸烯醛、2,4-癸二烯醛、糠醛
酮类(11 种)	2-丁酮、2,3-丁二酮(双乙酰)、2,3-戊二酮、2-庚酮、3-羟基-2-丁酮(乙偶姻)、羟基丙酮、1-辛烯-3-酮、2-壬酮、3-辛烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-酮、2-十一烷酮
酸类(7 种)	乙酸、丁酸、己酸、辛酸、壬酸、癸酸、苯甲酸
呋喃类(2 种)	2-乙基呋喃、2-戊基呋喃
酸酯类(1 种)	乙酸乙酯
芳香类(1 种)	苯酚

表 3 酸豆乳主要风味物质的分析^[25-27]
Table 3 Analysis of the main flavor substances of fermented soymilk^[25-27]

序号	风味物质	风味描述	阈值/(mg/kg)	相对含量均值/%	ROVA/%
1	2,3-丁二酮	黄油、奶油、干酪香气	0.0023~0.0065	25.70	4.710
2	2,3-戊二酮	黄油、奶油、干酪香气	0.063	7.77	0.099
3	2-丁酮	特殊刺激味	8	3.60	<0.001
4	2-庚酮	香蕉香、奶酪香	0.14	2.05	0.012
5	2-壬酮	脂肪味	5	2.61	<0.001
6	3-羟基-2-丁酮	奶油味	0.005	1.22	0.197
7	羟基丙酮	鸡肉味	-	0.48	-
8	1-辛烯-3-酮	土壤味、蘑菇味	0.00005	0.86	13.871
9	3-辛烯-2-酮	-	-	0.44	-

续表 3

序号	风味物质	风味描述	阈值/(mg/kg)	相对含量均值/%	ROVA/%
10	3, 5-辛二烯-2-酮	-	-	10.66	-
11	2-十一烷酮	脂肪味、果味	0.007	0.38	0.044
12	乙醛	醚味、稀释有果香	0.015	1.57	0.084
13	戊醛	强烈辛辣味	0.0002~0.002	0.54	0.435
14	正己醛	青草味	0.0028~0.0045	4.55	0.917
15	壬醛	绿菜花、柑橘味	0.12	0.68	0.005
16	2-己烯醛	青香味、苹果味、油脂味	0.017	0.23	0.011
17	2-辛烯醛	黄瓜、蔬菜味	0.00007	0.78	8.986
18	2-癸烯醛	-	-	0.21	-
19	2, 4-庚二烯醛	水果香、甜香味	0.1	1.12	0.009
20	2, 4-癸二烯醛	油脂氧化、油漆味	0.00007	8.68	100.0
21	苯甲醛	中药、苦杏仁味	4.2	1.25	< 0.001
22	糠醛	杏仁、蜂蜜味、略苦涩	4.03	1.81	< 0.001
23	乙醇	酒精味		23.85	-
24	己醇	青草、油漆味	0.25	13.59	0.044
25	1-戊醇	特殊辣味	-	1.82	<0.001
26	2-甲基丁醇	-	-	0.67	-
27	3-辛醇	蘑菇味、大蒜味	0.018	0.62	0.028
28	1-庚醇	清淡油脂味、酒味	0.03	1.99	0.053
29	1-辛醇	强烈油脂味	0.11	1.67	0.012
30	1-壬醇	玫瑰味、油脂味	0.033	1.07	0.026
31	2-辛烯-1-醇	-	0.04	0.55	0.011
32	苯乙醇	风信子、苦味	0.8	3.55	0.004
33	1-辛烯-3-醇	蘑菇味、油腻味	0.001	8.53	6.879
34	2-乙基呋喃	豆味、麦芽味	0.06	0.95	0.013
35	2-戊基呋喃	生涩味	0.06	3.77	0.051
36	乙酸	醋味	0.2	7.73	0.031
37	丁酸	干酪味	2.2	0.75	< 0.001
38	己酸	干酪味伴有尖酸气息	2.51	5.07	0.002
39	辛酸	膻味	5	1.93	< 0.001
40	壬酸	脂肪臭	3	2.75	0.001
41	癸酸	石蜡味	4	1.62	< 0.001
42	苯甲酸	花香味、焦甜味	-	1.37	-
43	乙酸乙酯	菠萝味、果香	32.55	3.99	<0.0001
44	苯酚	刺激酚类	5.9	0.98	<0.0001

根据相对气味活度值筛选出对酸豆乳风味影响较大的几种物质,如 2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、1-辛烯-3-酮、3-羟基-2-丁酮、乙醛、正己醛、2-辛烯醛、2,4-癸二烯醛、戊醛、己醇、1-庚醇、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃,将其作为研究对象,对不同菌种发酵豆乳的风味进行 PCA 主成分分析。

通过计算,上述对酸豆乳风味贡献较大的几种物质的特征值和方差贡献率如表 4。

表 4 各风味物质的特征值和方差贡献率
Table 4 The eigenvalue and variance contribution rate of the flavor substances

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献值/%
1	4.195	32.272	32.272
2	3.017	23.206	55.478
3	1.948	14.982	70.460
4	1.479	11.378	81.839
5	0.790	6.075	87.913
6	0.493	3.791	91.704
7	0.407	3.133	94.837
8	0.338	2.603	97.440
9	0.162	1.249	98.689
10	0.092	0.709	99.399
11	0.053	0.409	99.808
12	0.016	0.127	99.934
13	0.009	0.066	100.000

由此可见,在上述发酵豆乳关键性风味物质主成分中,信息主要集中在前 4 个主成分。其中第 1 主成分和第 2 主成分方差贡献率较大,分别为 32.272%和 23.206%,其次是第 3 和第 4 主成分,其累计方差贡献率为 81.839%。依据相关旋转成分矩阵的特征向量可以得到主成分的函数式为。

$$Y_1=-0.393X_1+0.921X_2+0.906X_3+0.836X_4-0.300X_5-0.091X_6-0.005X_7+0.757X_8-0.377X_9+0.215X_{10}+0.332X_{11}+0.343X_{12}+0.766X_{13}$$

$$Y_2=-0.125X_1-0.174X_2+0.049X_3-0.316X_4-0.225X_5-0.372X_6+0.788X_7+0.256X_8-0.163X_9+0.887X_{10}+0.860X_{11}-0.512X_{12}-0.421X_{13}$$

$$Y_3=-0.069X_1+0.042X_2+0.199X_3-0.320X_4-0.164X_5+0.858X_6+0.047X_7-0.355X_8-0.457X_9+0.261X_{10}+0.180X_{11}+0.721X_{12}-0.301X_{13}$$

$$Y_4=-0.717X_1+0.072X_2-0.010X_3-0.016X_4+0.669X_5+0.203X_6+0.083X_7+0.083X_8+0.629X_9+0.147X_{10}+0.097X_{11}+0.161X_{12}-$$

$0.067X_{13}$
其中,各因子代表的风味物质如表 5 所示。

表 5 各因子代表的风味物质表
Table 5 The flavor substance represented by each factor

因子	风味物质	因子	风味物质
X_1	1-庚醇	X_8	戊醛
X_2	正己醇	X_9	2,4-癸二烯醛
X_3	1-辛烯-3-醇	X_{10}	2,3-丁二酮
X_4	正己醛	X_{11}	2,3-戊二酮
X_5	乙醛	X_{12}	1-辛烯-3-酮
X_6	2-辛烯醛	X_{13}	2-戊基呋喃
X_7	3-羟基-2-丁酮		

由上述公式看出,在第 1 主成分 Y_1 中, X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_8 、 X_{13} 的系数最大,表明第 1 主成分由正己醇、1-辛烯-3-醇、正己醛、戊醛、2-戊基呋喃组成。在第 2 主成分 Y_2 中, X_7 、 X_{10} 、 X_{11} 的系数最大,表明第 2 主成分由 3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮组成。在第 3 主成分 Y_3 中, X_6 、 X_{12} 的系数最大,表明第 3 主成分由 2-辛烯醛、1-辛烯-3-酮构成。在第 4 主成分 Y_4 中, X_5 、 X_9 的系数最大,表明第 4 主成分由乙醛和 2,4-癸二烯醛构成。1-庚醇与其它物质无明显相关性和差异性。由此可以将不同菌株发酵的酸豆乳主要风味物质划分为 4 类,不同菌种在这 4 类物质的含量上存在着显著性差异,主要呈现出 4 个聚类。

结合各物质的风味描述及其在主成分 1 与主成分 2(图 1)、主成分 1 与主成分 4(图 2)的载荷图可以发现,正己醇、1-辛烯-3-醇、正己醛、戊醛、2-戊基呋喃等典型的醇类、醛类豆腥味物质聚集在第 1 主成分的正向端。3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮等酮类物质聚集在第 2 主成分正向端。乙醛、2,4-癸二烯醛则位于第 4 主成分正向端。2-辛烯醛、1-辛烯-3-酮为第 3 主成分中的风味物质。

研究表明,正己醇、1-辛烯-3-醇、正己醛、戊醛、2-戊基呋喃醛、2,4-癸二烯醛是豆乳中豆腥味的主要贡献成分,也是使酸豆乳呈现酸腐味的主要原因^[28,29]。而 3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮是酸奶中最主要的香味物质,徐寅等人通过分析发酵豆乳感官评价和风味物质相关性发现,感官评分与 3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮呈显著正相关^[30],因此,3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮可代表发酵豆乳的良好风味。第 3 主成分中的 2-辛烯醛、1-辛烯-3-酮被定义为“非豆腥味物质”,因此其对发酵豆乳的风味影响不大^[31]。有研究称,乙醛与 2,3-丁二酮比例在 0.22~0.33 间呈现出良好风味,过高的乙醛含量会使酸豆乳呈现不良风味^[32]。

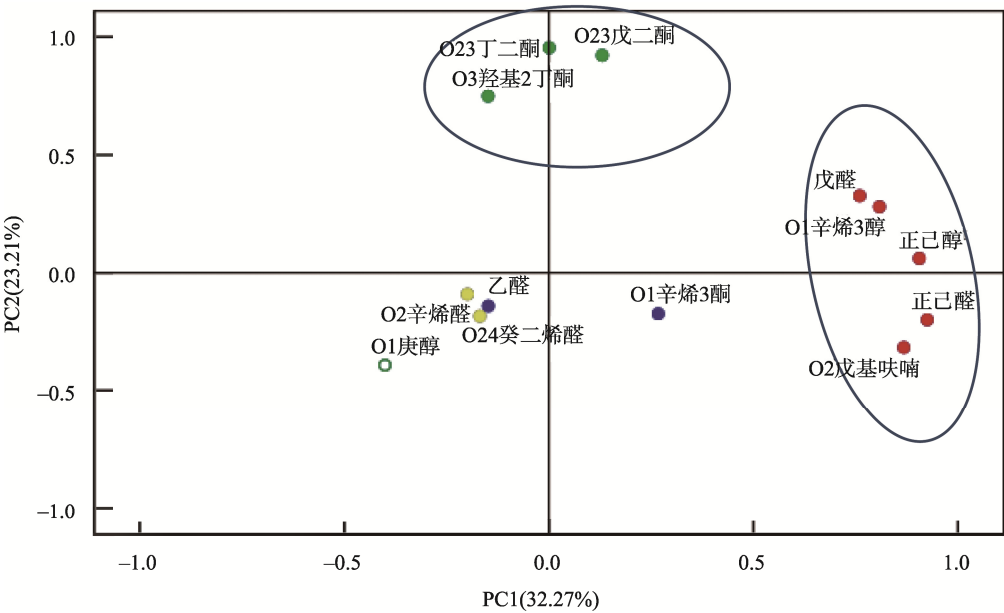


图 1 各风味物质在主成分 1 和主成分 2 上的载荷图
Fig.1 Load diagram of each flavor substance on PC1 and PC2

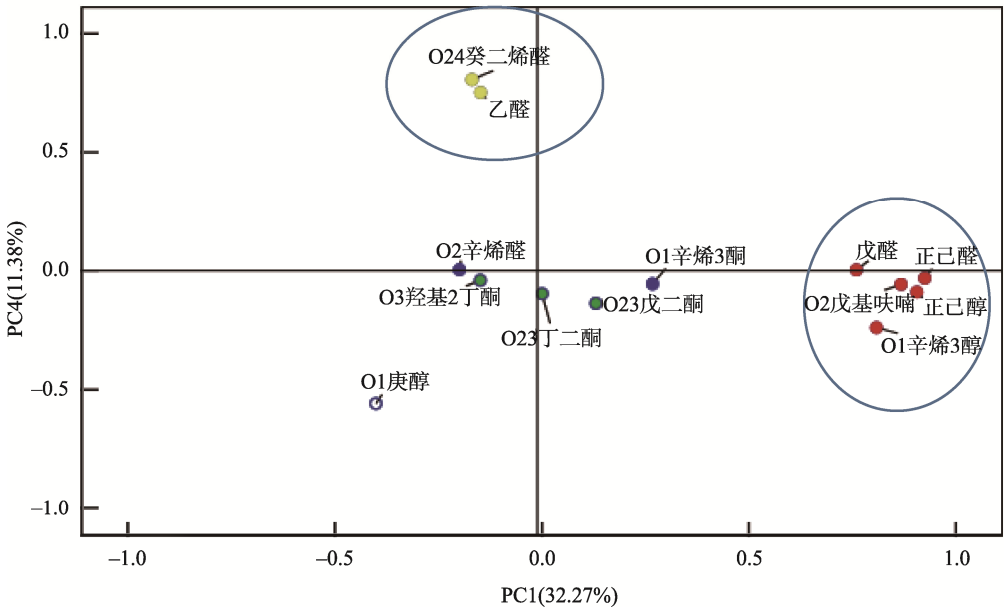


图 2 各风味物质在主成分 1 和主成分 4 上的载荷图
Fig.2 Load diagram of each flavor substance on PC1 and PC4

图 3 为文献中 27 种菌种发酵豆乳中的风味物质在主成分 1、主成分 2、主成分 4 上的分布图, 不同菌种分布在不同区域。徐寅^[13]采用的嗜热链球菌 GRX90、AM1、XN53、ST、971-8 发酵的酸豆乳分布在 PC1 正向端、PC2 负向端、PC4 正向端, 表明其具有典型的豆腥味、酸腐味, 且良好风味物质含量极少; 郭帅^[19]用嗜热链球菌 S10、XJ57-3、S32-5、GW45-4、GW21-4 发酵的酸豆乳位于 PC1 负向端、PC2 负向端、PC4 正向端, 表明其酸腐味有所下降, 但产香

不足; 李峰^[12]采用保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌联合发酵、张桂等^[15]分别使用保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌和瑞士乳杆菌复配发酵、侯晓真^[16]和姜涛^[17]分别使用的嗜酸乳杆菌 MF204、嗜酸乳杆菌 LA-2、李程程^[14]使用的植物乳杆菌 70810、武旭^[11]使用的纳豆芽孢杆菌与 Hanson 商用乳酸菌复配发酵所得酸豆乳位于 PC1 负向端、PC2 负向端、PC4 原点附近, 表明其酸腐味明显下降, 但呈香物质仍不足; 周艳平等^[10]采用的市售发酵菌种 A、B、C、D、E 位于

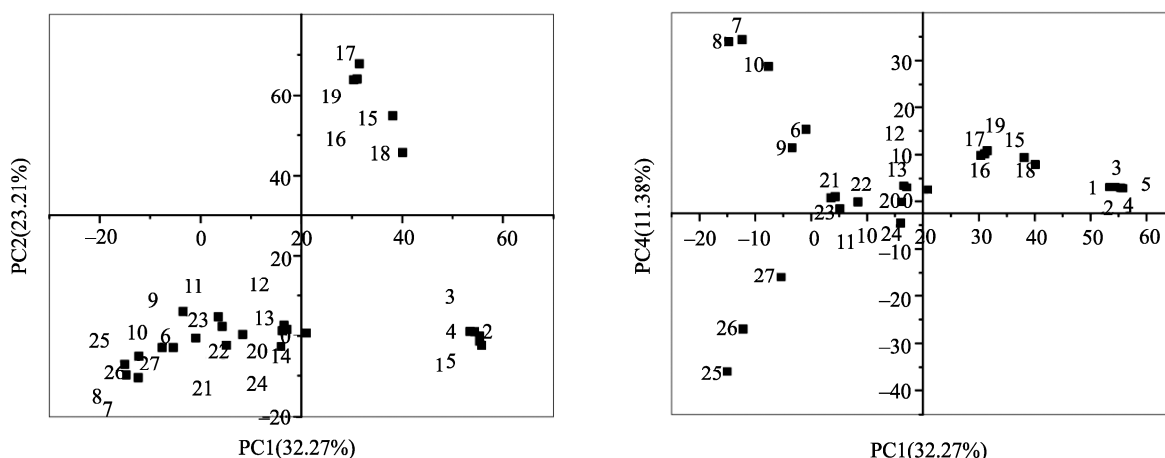


图 3 各菌种发酵豆乳风味物质在 PC1、PC2 和 PC4 上的因子得分图

Fig.3 Factor scores of flavor substances of each strain on PC1, PC2 and PC4

注: 图中 1-嗜热链球菌 GRX90; 2-AM1; 3-XN53; 4-ST; 5-971-8; 6-嗜热链球菌 S10; 7-XJ57-3; 8-S32-5; 9-GW45-4; 10-GW21-4; 11-保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌混合菌种; 12-LBS1; 13-LHS; 14-LBS2; 15-市售乳酸菌 A; 16-B; 17-C; 18-D; 19-E; 20-嗜酸乳杆菌 LA-2; 21-嗜酸乳杆菌 MF204; 22-植物乳杆菌 70810; 23-纳豆芽孢杆菌与 Hanson 商用乳酸菌混合菌种; 24-市售乳酸菌 XPL-1; 25-XPL-1 与 VIC 混合菌种; 26-XPL-1 与阿塞毕赤氏酵母 1:1 混合菌种; 27-XPL-1 与阿塞毕赤氏酵母 1:2 混合菌种

PC1 正向端、PC2 正向端、PC4 正向端, 相较而言, B、C、E 酸豆乳更靠近 PC2 正向, 表明其发酵产物中酸腐味有所下降, 良好风味成分明显增加; 冯静文^[18]使用市售乳酸菌 XPL-1、葡萄酒活性干酵母、阿米塞毕赤氏酵母 Y 分别复配发酵所得酸豆乳位于 PC1 负向端、PC2 负向端、PC4 负向端位置, 表明其对酸腐味的降低尤为明显, 但相关呈香物质生成不足。

4 讨论与结论

4.1 讨论

从 PCA 分析的结果来看, 对酸豆乳中酸腐味的消除最为显著的是市售乳酸菌 XPL-1 与葡萄酒活性干酵母和阿米塞毕赤氏酵母 Y 复配的发酶剂, 其对于良好风味成分 3-羟基-2-丁酮、2, 3-丁二酮、2, 3-戊二酮生成不足, 但其最终发酵产物里醇类物质含量最高, 多为乙醇、2-甲基丁醇等酒香物质, 并且产生了大量的酸酯类物质, 酸酯类物质一般具有花果香、清香, 是酒类中重要的呈香物质^[33]。这与唐巧等^[34]利用酵母发酵大豆粉的结果相符, 豆腥味被有效去除, 且产生了多种醇酯类香气物质。相关报道也表明, 酵母菌能与乳酸菌形成共生作用^[35], 乳酸菌为营养缺陷型菌种, 而酵母菌可以利用大部分糖类, 两者间存在着代谢产物互补机制。酵母发酵产生的醇类物质能与乳酸、乙酸等反应产生酸酯类化合物, 有效改善了乳制品风味品质^[36]。但酵母与乳酸菌复配的菌种不同, 也有可能造成酒味过浓, 风味不佳。

其次嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌复配发酶剂、嗜热

链球菌和瑞士乳杆菌复配发酶剂、嗜酸乳杆菌 MF204、嗜酸乳杆菌 LA-2、植物乳杆菌 70810、纳豆芽孢杆菌与 Hanson 商用乳酸菌复配发酶剂也能够一定程度上降低酸豆乳酸腐味, 结合其所得酸豆乳风味物质相对含量构成来看, 其酸类物质含量高, 同时也含有一定含量的酮类, 多为庚酮、壬酮等, 2, 3-丁二酮和 2, 3-戊二酮含量相对较少, 也可呈现较好发酵风味。瑞士乳杆菌与保加利亚乳杆菌均为同型乳酸发酵菌株, 与嗜热链球菌在乳制品中能形成共生作用, 但都不能利用豆乳中的低聚糖, 产生的香味物质较少^[37,38], 因而发酵所得酸豆乳风味不如酸奶。而嗜酸乳杆菌能利用豆乳中的低聚糖进行同型发酵产生乳酸, 通过消耗醛类产醇、又消耗醇类产酸^[39], 因此发酵产物以乳酸为主, 对己醛等豆腥味的代谢程度较高^[40]。植物乳杆菌通过异型乳酸发酵能有效代谢棉籽糖、水苏糖, 将己醇、己醛等豆腥类物质转化为酮酸类^[41], 赋予发酵豆乳爽口的酸味, 董喜梅^[42]的研究结果同样印证了这一结论。而在纳豆芽孢杆菌发酵产物中, 异戊酸、三甲基吡嗪、1-辛烯-3-醇和 1-己醇是其主要风味特征化合物^[43], 但相关风味物质形成机制尚不明确^[44]。综合来看, 这几种菌株发酵酸豆乳中, 豆腥味成分均可被有效降低。

周艳平^[10]使用 5 种市售酸奶发酶剂 A、B、C、D、E 发酵所得酸豆乳中, 仍含有正己醇、1-辛烯-3-醇、正己醛、戊醛、2-戊基呋喃醛、2, 4-癸二烯醛等致酸腐味的物质, 但也具有 3-羟基-2-丁酮、2, 3-丁二酮、2, 3-戊二酮含量高的特点, 结合相对物质含量来看, 酮类物质含量最高(占 48.59%~78.61%), 醇类、醛类虽有残留但含量低于酮类, 表明该系列发酶剂对豆腥味成分的降低能力虽不如上述几

种,但对于酮类物质的生成能力较高,与在酸奶风味体系中近似。

嗜热链球菌 S10、XJ57-3、S32-5、GW45-4、GW21-4 在 PCA 分析中显示致酸腐味的正己醇、1-辛烯-3-醇、正己醛、戊醛、2-戊基呋喃醛含量低,但 2, 4-癸二烯醛含量极高,使发酵豆乳呈现油脂、油炸风味。而产生的酮类物质中 3-羟基-2-丁酮、2, 3-丁二酮、2, 3-戊二酮含量低,3, 5-辛二烯-2-酮含量高,3, 5-辛二烯-2-酮在茶类中呈花香和果香,但在酸豆乳中的呈味特征未知。但从其感官评价结果来看,该系列菌种发酵风味略差。嗜热链球菌 GRX90、AM1、XN53、ST、971-8、市售乳酸菌 XPL-1 发酵产物里醇类物质含量最高,且多为豆乳中呈强烈豆腥味的正己醇、1-辛烯-3-醇,虽有酮类香气物质生成,但含量远低于醇类,发酵香气不足以掩盖酸腐味,故其发酵风味较差。由此可见,单独使用嗜热链球菌发酵的酸豆乳,豆腥味残留严重,香味生成不足,风味相对较差。

4.2 结 论

本研究利用已有文献中关于酸豆乳发酵风味物质的数据信息,通过 OAV 值、ROAV 值计算出对酸豆乳风味起主要贡献的化合物有 2, 3-丁二酮、2, 3-戊二酮、1-辛烯-3-醇、3-羟基-2-丁酮、乙醛、正己醛、2-辛烯醛、2, 4-癸二烯醛、戊醛、己醇、1-庚醇、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃。

本研究利用 PCA 主成分分析法对其进行分析,发现不同菌种发酵酸豆乳主要风味物质含量间存在差异,呈现出 4 个聚类,主成分 1 包含正己醇、1-辛烯-3-醇、正己醛、戊醛、2-戊基呋喃等典型的醇类、醛类豆腥物质;主成分 2 包含 3-羟基-2-丁酮、2, 3-丁二酮、2, 3-戊二酮等酮类香气物质;第 3 主成分包含 2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇等非豆腥类物质;第 4 主成分包含乙醛、2, 4-癸二烯醛等弱豆腥类物质。不同菌种发酵风味在上述 4 个主成分上存在一定差异,体现出不同的发酵风味特性,从而能够建立酸豆乳发酵风味模型对样品进行评价。

但是,不同研究者采用的豆乳原料不同,以及风味物质提取分析等操作过程均有可能产生误差,对分析结果产生影响。未来应该扩大样本容量,收集更多的可靠数据,使得对酸豆乳风味模型的建立将更加准确。

参考文献

- [1] 高辉,赵虎山,阎青松.豆乳发酵改善其营养价值的研究[J].食品工业科技,1996,(4):28-30.
- Gao H, Zhao HS, Yan QS. Study on improving nutritional value of soybean milk by fermentation [J]. Sci Technol Food Ind, 1996, (4): 28-30.
- [2] 田三德,刘爱香,杨大庆,等.发酵豆乳改善胃肠道消化功能的研究[J].陕西科技大学学报,2004,(2):35-38.
- Tian SD, Liu AX, Yang DQ, et al. Research for improve function of stomach-intestines tract (alimentary tract) by fermented soybean-milk [J]. J Shaanxi Univ Sci, 2004, (2): 35-38.

- [3] Kitawaki R, Nishimura Y, Takagi N, et al. Effects of *Lactobacillus* fermented soymilk and soy yogurt on hepatic lipid accumulation in rats fed a cholesterol-free diet [J]. Jpn Soc Biosci Biotechnol Agrochem, 2009, 73(7): 1483-1488.
- [4] 施小迪,左锋,郭顺堂.微压煮浆对豆乳风味特性的影响[J].农业机械学报,2017,48(5):343-349.
- Shi XD, Zuo F, Guo ST. Effect of micro-pressure heating on soymilk flavor characteristics [J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2017, 48(5): 343-349.
- [5] Murti TW, Lamberet G, Bouillanne C, et al. *Lactobacilli* growth in soy-milk-effects on viscosity, volatile compounds and proteolysis [J]. Sci Aliment, 1993, 13(3): 491-500.
- [6] 李新华,许娜,王安平.豆浆乳酸菌发酵脱腥及在大豆冰淇淋中的应用研究[J].食品工业科技,2010,31(12):279-281.
- Li XH, Xu N, Wang AP. Study on the deodorization of soy milk by lactic acid bacteria fermentation and the application in soy ice cream [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(12): 279-281.
- [7] Kaneko D, Igarashi T, Aoyama K. Reduction of the off-flavor volatile generated by the yogurt starter culture including *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp *Bulgaricus* in soymilk [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(7): 1658-1663.
- [8] 袁星星,余元善,徐玉娟.柠檬酸的乳酸菌发酵降解途径及其应用[J].食品研究与开发,2017,38(10):204-208.
- Yuan XX, Yu YS, Xu YJ. Citric acid fermentation of lactic acid bacteria and its application [J]. Food Res Dev, 2017, 38(10): 204-208.
- [9] 李学莉,胡海娥,张金桃,等.乳酸菌发酵豆乳研究进展[J].食品工业科技,2016,37(12):385-390.
- Li XL, Hu HE, Zhang JT, et al. Progress in researches on lactic acid bacteria-fermented soymilk [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(12): 385-390.
- [10] 周艳平,张彩猛,孔祥珍,等.酸奶发酵剂对大豆酸奶品质的影响[J].大豆科学,2018,37(1):149-156.
- Zhou YP, Zhang CM, Kong XZ, et al. Effect of yoghurt starter cultures on the quality of soybean yoghurt [J]. Soybean Sci, 2018, 37(1): 149-156.
- [11] 武旭.利用纳豆芽孢杆菌与乳酸菌发酵全豆豆乳的研究[D].无锡:江南大学,2016.
- Wu X. Study on fermentation of whole soybean milk by *Bacillus natto* and lactic acid bacteria [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.
- [12] 李锋.不同类型的大豆蛋白制备大豆酸奶的研究[D].无锡:江南大学,2004.
- Li F. Study on the preparation of soybean yoghurt with different types of soybean protein [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2004.
- [13] 徐寅.乳酸菌对发酵豆乳风味及抗氧化活性影响研究[D].扬州:扬州大学,2012.
- Xu Y. Effect of lactic acid bacteria on flavor and antioxidant activity of fermented soybean milk [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2012.
- [14] 李程程.产黏植物乳杆菌 70810 发酵豆乳生产拉丝酸豆乳饮品的研制[D].南京:南京农业大学,2010.
- Li CC. Development of fermented soybean milk beverage with fermented soybean milk by *Lactobacillus mucilagenosus* 70810 [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [15] 张佳,马永昆,崔凤杰,等.乳酸菌发酵酸豆乳香气成分分析及评价[J].食品科学,2010,31(20):298-302.

- Zhang J, Ma YK, Cui FJ, *et al.* Determination and evaluation of volatile components of soymilk yoghurts fermented by lactic acid bacteria [J]. Food Sci, 2010, 31(20): 298–302.
- [16] 侯晓真. 嗜酸乳杆菌发酵豆乳饮料的研制及其稳定机理探讨[D]. 浙江工商大学, 2009.
- Hou XZ. Development and stability mechanism of soybean milk beverage fermented by *Lactobacillus acidophilus* [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2009.
- [17] 姜涛. 嗜酸乳杆菌发酵豆乳工艺及其凝胶特性的研究[D]. 浙江工商大学, 2008.
- Jiang T. Study on fermentation technology and gel properties of *Lactobacillus acidophilus* fermented soymilk [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2008.
- [18] 冯静文. *Pichia amethionina* Y 的分离鉴定及去除豆腥味研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- Feng JW. Isolation and identification of *Pichia amethionina* Y and removal of beany smell [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [19] 郭帅. 适用于豆乳发酵的嗜热链球菌筛选及其应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- Guo S. Screening and application of *Streptococcus thermophilus* for soybean milk fermentation [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [20] 谢恬, 王丹, 马明娟, 等. OAV 和 GC-O-MS 法分析五香驴肉风味活性物质[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 123–128.
- Xie T, Wang D, Ma MJ, *et al.* Identification of flavor-active compounds in spiced donkey meat by odor activity value (OAV) calculation and gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry [J]. Food Sci, 2018, 39(8): 123–128.
- [21] 张强, 辛秀兰, 杨富民, 等. 主成分分析法评价红树莓果醋的相对气味活度值[J]. 现代食品科技, 2015, 31(11): 332–338.
- Zhang Q, Xin XL, Yang FM, *et al.* Evaluation of the relative odor activity value in red raspberry fruit vinegar by principal component analysis [J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 31(11): 332–338.
- [22] 吴林, 张强, 臧慧明, 等. 气味活度值法评价蓝莓果皮、果肉、果汁挥发性香气成分[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 195–200.
- Wu L, Zhang Q, Zang HM, *et al.* Evaluation of volatile aroma components in blueberry peel, pulp and juice by odor activity value method [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(1): 195–200.
- [23] Ara K, Yoshimatsu T, Ojima M, *et al.* Effect of new lactic acid fermentation on sensory taste of fermented soymilk [J]. Jpn Soc Biosci Biotechnol Agrochem, 2002, 49(6): 377–387.
- [24] Liu JR, Chen MJ, Lin CW. Characterization of polysaccharide and volatile compounds produced by kefir grains grown in soymilk [J]. J Food Sci, 2002, 67(1): 104–108.
- [25] 王越男, 米智慧, 李常坤, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS 的植物乳杆菌 P-8 发酵乳代谢物轮廓分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 152–160.
- Wang YN, Mi ZH, Li CK, *et al.* Metabolite profile analysis of *Lactobacillus plantarum* P-8 fermented milk based on UPLC-Q-TOF-MS [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(11): 152–160.
- [26] 范文来, 徐岩. 白酒 79 个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 80–84.
- Fan WL, Xu Y. Determination of odor thresholds of volatile aroma compounds in baijiu by a forced-choice ascending concentration series method of limits [J]. Liquor Mak, 2011, 38(4): 80–84.
- [27] 代敏. 保鲜乳挥发性风味物质的分析与调控[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006.
- Dai M. Analysis and control of volatile flavor compounds in fresh milk [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2006.
- [28] 施小迪. 豆乳及豆乳发酵液不良风味的形成及改善途径研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- Shi XD. Study on the formation and improvement of bad flavor of soybean milk and soybean milk fermentation broth [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [29] Ahmad N. The development of soy cheese with pleasant flavor [D]. 广州: 华南理工大学, 2008.
- Ahmad N. The development of soy cheese with pleasant flavor [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2008.
- [30] 徐寅, 黄玉军, 顾瑞霞, 等. 乳酸菌对发酵豆乳风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(5): 91–95.
- Xu Y, Huang YJ, Gu SX, *et al.* Influence of lactic acid bacteria on the flavor of fermented soymilk [J]. Food Ferment Ind, 2012, 38(5): 91–95.
- [31] 张文灿, 邹焱, 朱辰, 等. 豆奶风味物质的研究[J]. 大豆科技, 2014, (4): 32–38.
- Zhang WC, Zou Y, Zhu C, *et al.* Study on flavor compounds of soybean milk [J]. Soybean Sci Technol, 2014, (4): 32–38.
- [32] Quek MBI, Seow Y, Ong PKC, *et al.* Formation of volatile sulfur-containing compounds by *Saccharomyces cerevisiae* in soymilk supplemented with L-methionine [J]. Food Biotechnol, 2011, 25(4): 292–304.
- [33] Vong WC, Liu S. Changes in volatile profile of soybean residue (okara) upon solid-state fermentation by yeasts [J]. J Sci Food Agric, 2017, 97(1): 135–143.
- [34] 唐巧, 胡茂丰, 刘素纯. 去除豆腥味的酵母菌筛选[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6): 116–120.
- Tang Q, Hu MF, Liu SC. Screening of beany-flavor removal yeast from fermented soybean meal [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(6): 116–120.
- [35] Fleet GH. Yeasts in dairy-products [J]. J Appl Bacteriol, 1990, 68(3): 199–211.
- [36] Tamime AY, Marshall VME. Microbiology and technology of fermented milks [M]. US: Springer, 1997.
- [37] 徐柳柳. 两种乳杆菌发酵西瓜汁的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- Xu LL. Study on watermelon juice fermented by two *Lactobacillus* species [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [38] 李理, 冯静文, 刘力, 等. 豆腐酸浆中酵母的分离鉴定及其在酸豆乳中的应用[J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 173–179.
- Li L, Feng JW, Liu L, *et al.* Isolation and identification of yeast from acidic tofu whey and its application to soy yogurt [J]. Mod Food Sci Technol, 2016, 32(5): 173–179.
- [39] 田芬, 陈俊亮, 霍贵成. 嗜酸乳杆菌和双歧杆菌的主代谢产物分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 220–226.
- Tian F, Chen JL, Huo GC. Analysis of the main metabolites of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(6): 220–226.

- [40] 范兴艺. 嗜酸乳杆菌的分离、鉴定及其在发酵豆乳中生长特性的研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2008.
Fan XY. Isolation and identification of *Lactobacillus acidophilus* and its growth characteristics in fermented soybean milk [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2008.
- [41] 苏芳. 六株植物乳杆菌在豆乳中的发酵特性研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
Su F. Study on fermentation characteristics of six *Lactobacillus plantarum* strains in soybean milk [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [42] 董喜梅. 植物乳杆菌发酵豆乳风味物质的初步研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
Dong XM. Study on flavor compounds of soybean milk fermented by *Lactobacillus plantarum* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [43] Keitarou K, Satoshi Y. Trends in the application of *Bacillus* in fermented foods [J]. Curr Opin Biotechnol, 2019, (56): 36–42.
- [44] 刘毕琴. 植物乳杆菌和枯草芽孢杆菌混合发酵改善豆豉风味分子机制的初步研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.

Liu BQ. Preliminary study on molecular mechanism of mixed fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* to improve the flavor of douchi [D]. Kunming: Kunming University of Science And Technology, 2016.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



朱涔铭, 主要研究方向为食品科学与工程。
E-mail: 18725062389@163.com



郭顺堂, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学。
E-mail: shuntang@cau.edu.cn

“农副产品加工与检测分析”专题征稿函

农副产品是由农业生产所带来的副产品, 包括农、林、牧、副、渔五业产品, 分为粮食、经济作物、禽畜产品、干鲜果、干鲜菜及调味品、土副产品、水产品等若干类。我国农副产物资源丰富, 每年农产品的加工利用产生种类众多的食品和相关制品, 但同时也产生大量副产物, 致使资源得不到充分利用以及造成环境污染。为提高农副产物资源的综合利用水平, 实现农产品加工的全利用和零排放, 同时使农副产物增值, 实现农产品加工的可持续发展。

本刊特别策划了“农副产品加工与检测分析”专题, 主要围绕果蔬加工与综合利用、禽肉制品加工与综合利用、农产品营养与健康功能、食品生物发酵技术、农产品贮藏保鲜技术、水产品加工与综合利用、粮油作物加工与综合利用等方面或您认为有意义的相关领域展开论述和研究, 综述及研究论文均可, 本专题计划在 2020 年 12 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员特邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 综述、研究论文和研究简报均可。请在 2020 年 10 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

谢谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com (备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 农副产品加工与检测分析”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com (备注农副产品加工与检测分析专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部