

沙棘添加对乳酸菌发酵牛乳风味和消费者接受度的影响

葛晓佳, 唐楠煜, 杨瑞, 赵小淦, 刘再美, 许丹玲, 刘玉肖, 李伟

Study on the Effect of Sea Buckthorn on the Flavor and Consumer Acceptance of *Lactobacillus* Fermented Milk

GE Xiaojia, TANG Nanyu, YANG Rui, ZHAO Xiaogan, LIU Zaime, XU Danling, LIU Yuxiao, and LI Wei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050220>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于智能感官与人工感官评价的中国三大干腌火腿风味特性分析

Flavor Characterization of Three Major Dry-Cured Hams in China Based on Intelligent Sensory Evaluation and Artificial Sensory Analysis

食品工业科技. 2020, 41(17): 231–236

基于电子鼻和气质联用分析干燥方式对郫县豆瓣风味的影响

Effect of Different Drying Methods on the Flavor Substances of Pixian Horsebean based on E-nose and GC-MS

食品工业科技. 2018, 39(23): 261–266

不同发酵时间对乌虾酱风味的影响

Effect of Different Fermentation Time on the Flavor of Shrimp Paste

食品工业科技. 2020, 41(12): 75–81,87

电子鼻和电子舌在分析桑果汁风味上的应用

Analysis of Flavor Difference of Mulberry Juice by E-Nose and E-Tongue

食品工业科技. 2020, 41(12): 234–237,244

电子鼻结合GC-MS检测猪肉内源脂肪酶对奶制品风味的影响

Effect of Pork Endogenous Lipase on Dairy Products Flavor by Electronic Nose Combined with GC-MS

食品工业科技. 2018, 39(15): 242–248

电子鼻结合GC-MS检测沙拉酱对挪威三文鱼风味的影响

Effect of Mayonnaise on Norwegian Salmon Flavor by Electronic Nose Combined with GC-MS

食品工业科技. 2019, 40(17): 257–262,275



关注微信公众号，获得更多资讯信息

葛晓佳, 唐楠煜, 杨瑞, 等. 沙棘添加对乳酸菌发酵牛乳风味和消费者接受度的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 97–105. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050220

GE Xiaoja, TANG Nanyu, YANG Rui, et al. Study on the Effect of Sea Buckthorn on the Flavor and Consumer Acceptance of *Lactobacillus* Fermented Milk [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 97–105. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050220

· 研究与探讨 ·

沙棘添加对乳酸菌发酵牛乳风味和消费者接受度的影响

葛晓佳, 唐楠煜, 杨瑞, 赵小淦, 刘再美, 许丹玲, 刘玉肖, 李伟^{*}
(南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095)

摘要: 本研究目的是探究添加沙棘 (5%, v/v) 对发酵乳风味和消费者接受度的影响。选取本实验室前期从新疆老酸奶、西藏开菲尔颗粒等样品中筛选到的 8 株乳酸菌进行原味发酵乳和沙棘发酵乳的制备。通过电子鼻 (Electronic-nose, E-nose) 和电子舌 (Electronic-tongue, E-tongue) 技术, 采用模糊数学综合评定法对不同发酵乳的消费者接受度作出评价, 进一步利用顶空固相微萃取气质联用技术 (Head space-solid phase microextraction-gas chromatography/mass, HS-SPME-GC/MS) 对原味发酵乳和沙棘发酵乳中的风味物质组成进行分析。结果显示添加沙棘 (5%, v/v) 可以对发酵乳的风味产生显著影响, 主要体现为香气的增加和不良气味的减弱, 在滋味上表现为苦味、鲜味和丰富度的减少。GC/MS 结果表明沙棘发酵乳中含有更高浓度的酯类和醇类化合物, 是其中水果香气、发酵香气和浓郁花香的主要贡献者; 在所选取的 8 株乳酸菌中, 来源于泡菜的戊糖乳杆菌 Z-14 (*Lactobacillus pentosus* Z-14), 其沙棘发酵乳的综合评定结果最优, 且具有最高的消费者接受度。

关键词: 沙棘发酵乳, 风味, 电子鼻, 电子舌, 气相串联质谱 (GC/MS)

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0097-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050220

本文网刊:



Study on the Effect of Sea Buckthorn on the Flavor and Consumer Acceptance of *Lactobacillus* Fermented Milk

GE Xiaoja, TANG Nanyu, YANG Rui, ZHAO Xiaogan, LIU Zaime, XU Danling, LIU Yuxiao, LI Wei^{*}

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the influence of 5% (v/v) sea buckthorn on the flavor and consumer acceptance of probiotic yogurts. Eight strains of lactic acid bacteria (LAB) were screened from pickled cowpea, pickles, Tibetan kefir, kurut, Xinjiang condensed yogurt previously and then applied in the fermentation of plain yogurt and sea buckthorn yogurt. Firstly E-nose, E-tongue and fuzzy comprehensive evaluation method were used to evaluate the consumer acceptance of the plain yogurt and sea buckthorn yogurt fermented by different LAB. Then head space-solid phase microextraction-gas chromatography/mass (HS-SPME-GC/MS) method was used to analyze the flavor composition of plain yogurt and sea buckthorn yogurt. The results showed that addition of 5% (v/v) sea buckthorn could significantly affect the flavor of yogurt, including the increase of aroma and the decrease of unpleasant odor, as well as the decrease of bitterness, umami and richness. The results of GC/MS showed that the addition of sea buckthorn could provide more esters and alcohols to yogurt, which were well-known to present fruity, fermentative and floral aroma in many fruits. The results of sensory evaluation showed that among 8 strains of selected LAB, sea buckthorn yogurt fermented by *Lactobacillus pentosus* Z-14 screened from pickles had the highest score and was best accepted by consumers.

收稿日期: 2021-05-26

基金项目: 国家自然科学基金 (U1903108, 31871771); 江苏省自然科学基金 (BK20201320); 江苏省农业科技自主创新资金项目 (CX(20)3043); 江苏省青蓝工程项目, 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD)。

作者简介: 葛晓佳 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品微生物与生物技术, E-mail: Ge_xiaoja_950628@163.com。

* 通信作者: 李伟 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品微生物与生物技术, E-mail: lw1981@njau.edu.cn。

Key words: sea buckthorn yogurt; flavor; E-nose; E-tongue; gas chromatography-mass spectrometry(GC/MS)

沙棘(拉丁学名: *Hippophae rhamnoides* Linn.)是一种胡颓子科、沙棘属落叶性灌木,成熟的沙棘果实呈椭圆形或圆形,根据品种的不同有黄色、橙色或红色之分^[1-2],具有独特的风味和较高的营养价值,被誉为“绿色黄金”^[3]。我国是全球沙棘资源最丰富的国家,天然生长的沙棘多达4个种5个亚种,分布在我国的西北、华北和西南等地区^[4]。芬兰沙棘分类学家罗西教授将沙棘分为4个种9个亚种,而根据我国沙棘分类学家廉永善教授的分类法,沙棘一共可以分为6个种12个亚种^[5]。目前市面上有200多种沙棘的衍生产品,包括各种保健食品、化妆品和药品。各国研究者对沙棘在医药、食品和化妆品等领域应用研究的兴趣日益浓厚^[6]。从沙棘中提取的制剂已被临床应用于治疗辐射损伤、烧伤、软组织溃疡和心脑血管疾病等案例,在我国藏药中也有悠久的应用历史^[7-8]。

根据 FinDiet 的调查,沙棘作为日常饮食的一部分可以预防慢性疾病及不良生活习惯引起的其他疾病^[9],但由于大量有机酸($\approx 5.4\%$)和酚酸的存在,沙棘浆果味道酸涩,消费者接受度低。目前沙棘已经衍生出各种消费者可以接受的食品如风味酸奶、果汁、果醋、果酱和果冻,甚至还被应用于婴儿食品中^[10-11]。因为沙棘中主要的有机酸是酸味强烈而刺激的苹果酸,现在也有一些研究利用苹果酸-乳酸发酵(MLF, Malolactic fermentation),将苹果酸转化为酸味更柔和的乳酸,一定程度上减轻酸涩味^[12-14]。将沙棘果汁引入酸奶制成风味酸奶是一种较为简便易行的可以有效减轻沙棘不良风味的方式,在国内外已有一定的研究基础,但是大多数研究侧重于新型产品的开发和产品工艺的优化,而添加沙棘造成酸奶风味和消费者接受度变化的系统研究非常少见。传统研究中发酵酸奶所用菌株也局限于一般商业化发酵剂(即:嗜热链球菌和德氏乳杆菌保加利亚亚种),使用其他乳酸菌发酵酸奶的研究比较少。本实验采用电子鼻、电子舌和感官评价结合 HS-SPME-GC/MS 的方法,分析了添加沙棘对发酵乳气味、滋味及消费者接受度的影响,为沙棘衍生功能性食品的开发提供了思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

沙棘原浆 辽宁省朝阳市建平县采购的大果沙棘经过初步杀菌处理的产品;伊利全脂纯牛奶 江苏省南京市玄武区苏果超市;蛋白胨、酵母浸粉 分析纯,北京奥博星生物技术有限责任公司;葡萄糖、无水乙酸钠、柠檬酸铵、 $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ 分析纯,南京化学试剂股份有限公司;牛肉膏 分析纯,上海博威生物医药有限公司; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、 $MnSO_4 \cdot H_2O$ 、吐温 80 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

MRS 培养基: 蛋白胨 10 g、牛肉膏 8 g、酵母浸

粉 4 g、葡萄糖 20 g、磷酸氢二钾 2 g、柠檬酸铵 2 g、无水乙酸钠 5 g、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g、吐温 80 1 g 溶于 1 L 蒸馏水, 121 °C 灭菌 20 min。

本实验中所用菌株均为本实验室自有保藏菌种,详细信息见表 1,以下叙述中分别用编号 Z-3 代表 “*Lactobacillus pentosus* Z-3”, Z-14 代表 “*L. pentosus* Z-14”,以此类推。

表 1 8 株乳酸菌来源及微生物学分类

Table 1 Source and microbiological classification of eight LAB strains

分离源	菌株编号	种属名
酸豇豆	Z-3	<i>L. pentosus</i>
泡菜	Z-14	<i>L. pentosus</i>
西藏开菲尔颗粒	L17	<i>L. pentosus</i>
奶疙瘩	GD-3A	<i>L. pentosus</i>
泡菜	Z-15	<i>L. fermentum</i>
新疆老酸奶	S-A	<i>L. fermentum</i>
新疆老酸奶	SNA	<i>L. paracasei</i> subsp. <i>tolerans</i>
新疆老酸奶	SNB	<i>L. paracasei</i> subsp. <i>tolerans</i>

LDZX-40AI 型立式电热压力灭菌锅 上海申安医疗器械厂; GZX-9140MBE 数显鼓风干燥箱 上海博远有限公司医疗设备厂; HH-6 型数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司; AIR TECH 洁净工作台 苏净集团安泰公司制造; LRH-150 系列生化培养箱 上海一恒科学仪器有限公司; Beckman Avanti J-E 冷冻离心机 美国 BECKEMAN 公司; 岛津 AUY-120 分析天平 日本 SHIMADZU 公司; SL-N ELECTRONIC BALANCE 电子天平 上海民桥精密科学仪器有限公司; 加热磁力搅拌器 常州市金坛大地自动化仪器厂; PEN2 型电子鼻 德国 Airsense 公司; SA402B 型电子舌 日本 INSENT 公司; 320-MS GC/MS 气相色谱质谱联用仪 美国布鲁克道尔顿质谱公司; 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 型号固相微萃取头 美国 Supelco 科技公司。

1.2 实验方法

1.2.1 乳酸菌活化 按照 2%(v/v)的接种量,将 -80 °C 甘油管中保藏的菌株接种于 MRS 培养基中,37 °C 培养 12 h,然后按照相同的条件连续传代培养 3 次。保留三活菌液(OD_{600} 达到 1.4~1.6)用于发酵乳的制备。

1.2.2 发酵乳制备 在灭菌锥形瓶中接入 50 mL 含有不同浓度(0%、2.5%、5.0%、7.5%, v/v)沙棘原浆的全脂纯牛奶,混合均匀,65 °C 巴氏杀菌 30 min,以 6%(v/v)的接种量接种三活菌液,37 °C 发酵直至凝乳,观察并记录发酵乳凝乳所需时间。将得到的发酵乳样品保存在 4 °C 冰箱等待下一步分析。

1.2.3 电子鼻检测 参考李婷、杨爽等^[15-16]报道的

方法对样品进行电子鼻检测, 略有改动。取 4 g 发酵乳于 20 mL 顶空瓶中并封口, 42 ℃ 水浴平衡 30 min。用电子鼻进行气味录入, 数据采集时间 90 s, 载气为干燥洁净的空气, 内部流量 400 mL/min, 进样流量 400 mL/min, 样品准备时间 5 s, 传感器清洗时间 180 s, 每个样品重复测定 3 次, 取平均值。实验所使用电子鼻各气敏传感器阵列及特征描述见表 2。

1.2.4 电子舌检测 SA402B 型电子舌主要配备 5 种传感器, 分别是咸味(CTO), 鲜味(AAE), 酸味(CAO), 苦味(COO)和涩味(AEI)。发酵乳加入同等体积去离子水稀释, 10000 r/min 室温离心 10 min, 取 40 mL 上清液于测量杯中, 设置采样时间 120 s, 每种样品平行测定 4 次。

1.2.5 发酵乳感官评定 参考杨璐、刘俊艳和李超敏等^[17-19]的研究方法, 选取 10 位经过专业培训的感官评价员, 通过色泽、香气、滋味及质构四个因素分别对样品进行打分。感官评价人员在评价前应避免接触刺激性强的物品或嚼口香糖, 抹去唇膏, 避免浓

妆和喷香水, 不能使用有气味的化妆品或肥皂, 每评定完一个样品后以清水漱口。评定结束后收集评价表, 并以模糊数学法构建综合评判模型分析得分数数据, 详细的感官评定标准见表 3 和表 4。

按照感官评定标准设定因素集 $U=\{u_1, u_2, u_3, u_4\}=\{\text{色泽, 香气, 滋味, 质构}\}$, 评语集 $V=\{v_1, v_2, v_3\}=\{\text{好, 较好, 差}\}$ 。根据相关文献确定权重集 $X=\{x_1, x_2, x_3, x_4\}=\{0.15, 0.35, 0.30, 0.20\}$, 总和为 1。由此创建模糊关系综合评判集 $Y=X \times R$, 其中 X 为权重集, R 为模糊数学评判矩阵。

1.2.6 HS-SPME-GC/MS 检测 参考成塑、SOCACI 和 TIITINEN 等^[20-22]报道的方法, 采用 HS-SPME 法收集挥发性成分, 结合 GC/MS 对样品中风味物质进行分析, 略有改动。

1.2.6.1 样品前处理 称取 5 g 待检样品于 20 mL 装有磁力搅拌子的顶空采样瓶中, 密封并在 45 ℃ 水浴平衡 30 min, 开启磁力搅拌器, 设置温度 45 ℃, 转速 150 r/min。然后将手动固相微萃取进样器固定在

表 2 电子鼻 10 种气敏传感器阵列及其特征描述

Table 2 Ten types and characteristics of gas sensor arrays based on PEN 2 electronic nose

阵列序号	传感器名称	性能描述	灵敏物质及阈值(mL/cm ³)
1	W1C	对芳香性成分灵敏	甲苯, 10
2	W5S	对氮氧化合物很灵敏, 且灵敏度大	二氧化氮, 1
3	W3C	对芳香性成分氨水、苯等灵敏	苯, 10
4	W6S	对氯气有选择性	氯气, 100
5	W5C	对芳香性成分、烷烃等灵敏	丙烷, 1
6	W1S	对烷烃灵敏	甲烷, 100
7	W1W	对硫化物等灵敏	硫化氢, 1
8	W2S	对醇类灵敏	一氧化碳, 100
9	W2W	对芳香性成分、有机硫化物等灵敏	硫化氢, 1
10	W3S	对烷烃、甲烷等灵敏	甲烷, 10

表 3 沙棘发酵乳的评价标准

Table 3 Sensory evaluation criterion of sea buckthorn yoghurt

项目	好(5分)	较好(3~4分)	差(1~2分)
色泽	呈均匀一致的淡黄色	色泽均匀, 颜色较淡或过于发黄	色泽不均匀, 黄白相间
香气	具有独特的沙棘汁的清香	淡淡的沙棘清香	沙棘果香不明显
滋味	酸甜爽口, 具有浓郁的沙棘酸奶风味	酸甜适口, 异味不明显	过酸或过甜
质构	组织均匀一致, 无分层, 凝块硬度适当, 细腻滑润, 没有或有较少乳清析出	组织较均匀, 有轻微分层, 凝块较粗糙, 或凝块较柔软, 乳清析出较多	组织不均匀, 有分层, 或有大量乳清析出, 凝块过软

表 4 原味发酵乳的评价标准

Table 4 Sensory evaluation criterion of plain yoghurt

项目	好(5分)	较好(3~4分)	差(1~2分)
色泽	色泽均匀一致, 呈乳白或乳黄色	非添加原料来源的深黄色或灰色	非添加原料来源的有色斑点或杂质, 或其它异常颜色
香气	具有纯正的乳品的香气, 以及自然的发酵气味	自然的发酵气味不够	奶香不够, 或者有不愉悦的气味
滋味	具有纯正的奶味, 以及自然的发酵风味, 酸甜比适中	自然发酵风味不足, 略酸或略甜	奶味不够, 自然的发酵风味差, 有苦味, 过酸或过甜
质构	组织均匀一致, 无分层, 凝块硬度适当, 细腻滑润, 没有或有较少乳清析出	组织较均匀, 有轻微分层, 凝块较粗糙, 或凝块较柔软, 乳清析出较多	组织不均匀, 有分层, 或有大量乳清析出, 凝块过软

搭载装置上,将针头插入顶空瓶中,推出萃取纤维,顶空吸附萃取 60 min。吸附结束后将萃取头插入进样口,250 °C 解析 3 min。

1.2.6.2 GC 条件 进样器温度 260 °C, 检测器温度 270 °C, 载气 He, 流速 1.0 mL/min, 不分流进样; 初始柱温 35 °C, 保持 12 min, 以 10 °C/min 的速度升温至 105 °C, 1 °C/min 升至 135 °C, 20 °C/min 升至 230 °C, 保持 5 min。

1.2.6.3 MS 条件 电离方式为 EI 源, 电离能 70 eV, 离子源温度 220 °C, 检测电压 1.8 kV, 质量扫描范围 m/z 33~450 amu, 发射电流 100 μA。

1.3 数据处理

数据用 Excel 2016 进行统计,作图采用 Origin 软件 2021 版本。GC/MS 的结果图谱用仪器自带的软件进行分析,然后导出并使用 Excel 2016 进行汇总。

2 结果与分析

2.1 沙棘添加量的确定

如表 5 所示,不添加沙棘的发酵乳凝乳时间均高于 9 h,甚至有超过 50% 的乳酸菌没有在 12 h 内完成凝乳,而添加 5%(v/v)沙棘后乳酸菌的凝乳时间最短,可以达到 4~5 h,已接近商业发酵剂的效率。由此可以看出,添加 5% 沙棘可以明显缩短凝乳所需时间。这种现象的产生一方面可能是由于沙棘的添加降低了乳基的 pH,为乳酸菌的生长繁殖提供了适宜的环境,另一方面可能是由于沙棘中富含的低聚果糖起到了益生元的作用^[23],促进乳酸菌生长,还有研究显示蛋白质和沙棘中富含的酚类物质相互作用会对发酵乳的质构产生影响^[24~26]。

故在本实验中,选取添加 5% 沙棘的发酵乳(沙棘发酵乳)为实验组、不添加沙棘的发酵乳(原味发酵乳)为对照组进行风味对比实验。

2.2 电子鼻分析沙棘对发酵乳风味的影响

电子鼻是用于检测、识别和分析某些复杂气味的仪器,基于仿生学原理所以跟一般化学分析仪器不同,得到的不是某些确定成分的定性定量分析数据,而是某一类挥发性成分的整体信息,也就是常说的“指纹”信息^[27]。图 1 为不同样品电子鼻分析结果,可以看到,添加沙棘的样品和不添加沙棘的样品在各个探头的响应值呈现较大的差异,这说明添加沙棘可以对发酵乳的气味产生显著的影响。如图 1A 所示,添加沙棘后的样品显示 W1W 和 W2W 的响应值上升,这表明添加沙棘可以增加香气成分,如萜烯、芳香性物质或含硫化合物^[28]。W1S 对烷烃等有害物质敏感,在未经过发酵的样品,即 M5 中,W1S 探头的响应值为 1.20,而经过不同乳酸菌发酵之后,该探头的响应值有不同程度的降低,最低可以达到 1.06,这表明乳酸菌发酵可以在一定程度上减弱沙棘中的不良气味。W1C、W3C 和 W5C 分别对芳香性成分、氨水和烷烃类物质灵敏度大,添加沙棘后的样品经 W1C、W3C 和 W5C 传感器检测到的信号均有不同程度的降低,经不同乳酸菌发酵后,响应值进一步降低,说明乳酸菌可以代谢掉一些产生不良气味的成分。

2.3 电子舌对发酵乳中的风味物质分析

电子舌利用 5 个味觉传感器和 2 个参比电极,实现对人体 5 种味觉(酸、苦、咸、鲜、涩)以及相关后味的分析。图 2 为不同样品的电子舌分析结果。如图 2A 所示,添加沙棘可以增强样品的酸味和涩味,降低鲜味,酸涩味的产生是由于沙棘中存在大量的有机酸和酚类物质,强烈的酸味会掩盖一部分牛奶的鲜味。而经过 SNA、SNB、S-A、Z-15、L17 和 Z-3 的发酵,沙棘发酵乳的酸味低于原味发酵乳的酸味,可能是沙棘中呈现刺激性酸味的有机酸被乳酸菌转化为更加柔和的乳酸。沙棘发酵乳的鲜味随着不同乳酸菌的作用逐渐高于原味发酵乳,可能是乳酸菌代

表 5 不同乳酸菌发酵不同浓度的沙棘发酵乳的凝乳时间

Table 5 The coagulation time of yogurt with different concentrations of sea buckthorn and fermented by different LAB strains

菌株编号	沙棘添加量(%)	凝乳时间(h)	菌株编号	沙棘添加量(%)	凝乳时间(h)
SNA	0	>12	SNB	0	10
	2.5	10		2.5	8
	5	5		5	4
	7.5	/		7.5	/
Z-15	0	9	S-A	0	11.5
	2.5	5.5		2.5	9
	5	4		5	4
	7.5	/		7.5	/
L17	0	>12	GD-3A	0	>12
	2.5	6.5		2.5	>12
	5	4.5		5	4
	7.5	/		7.5	/
Z-3	0	>12	Z-14	0	>12
	2.5	12		2.5	8
	5	4.5		5	4
	7.5	/		7.5	/

注: “/”表示大于 24 h 仍未凝乳。

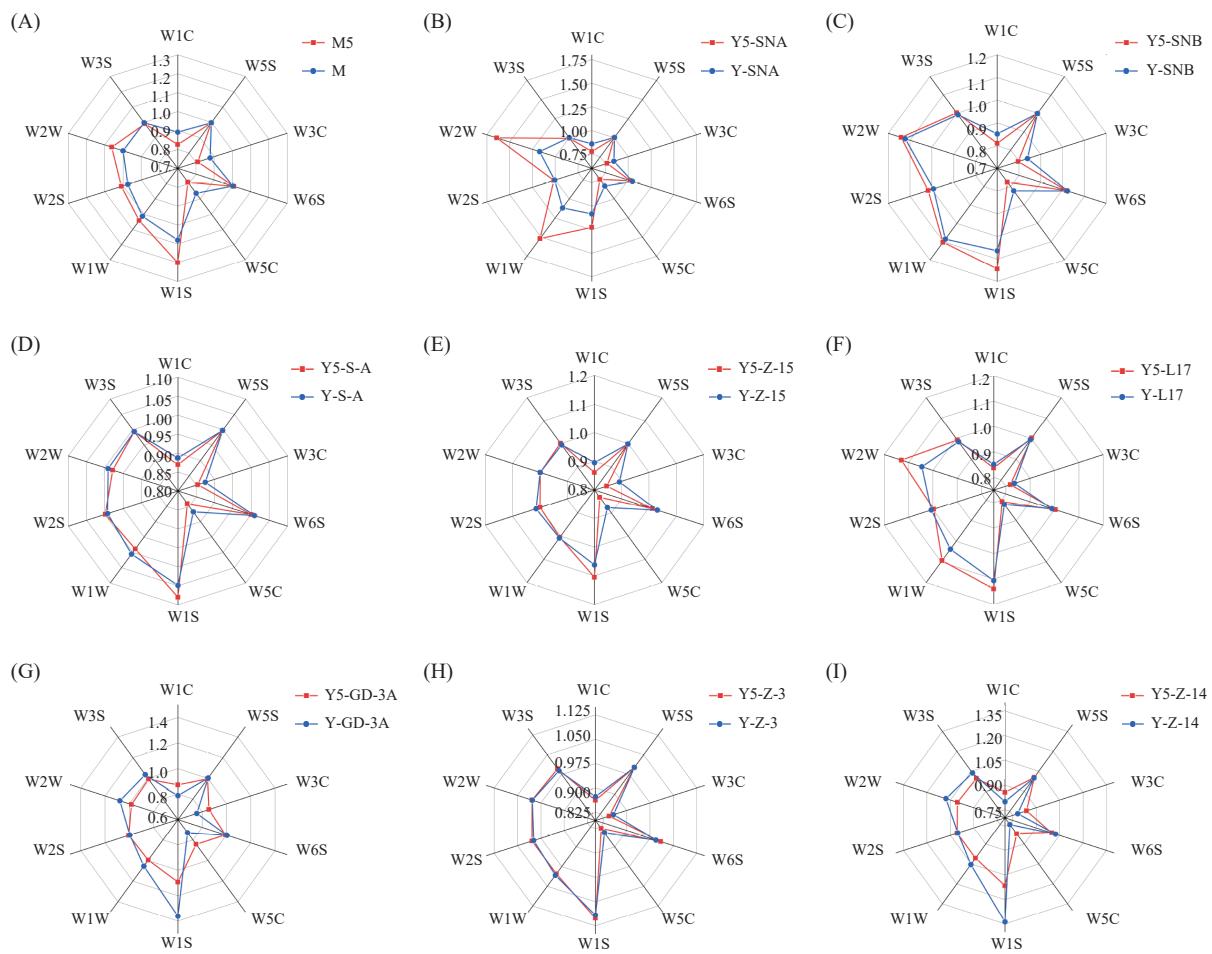


图 1 不同乳酸菌发酵的沙棘发酵乳和原味发酵乳的电子鼻分析

Fig.1 Radar plots of sea buckthorn yogurt and plain yogurt fermented by different lactic acid bacteria obtained by E-nose

注: 未经过乳酸菌发酵 (A), SNA 发酵 (B), SNB 发酵 (C), S-A 发酵 (D), Z-15 发酵 (E), L17 发酵 (F), GD-3A 发酵 (G), Z-3 发酵 (H) 和 Z-14 发酵 (I), Y5 (M5) 和 Y (M) 分别代表添加沙棘样品和不添加沙棘样品, 后面的编号代表发酵样品所用的乳酸菌编号; 图 2 同。

谢激发了沙棘中的呈鲜物质。此外, 添加沙棘还可以降低发酵乳中的苦味。

2.4 发酵乳感官评定分析

2.4.1 发酵乳感官评价结果 表 6 所示为不同样品的感官评价结果的票数统计。

2.4.2 发酵乳模糊数学综合评判矩阵 以 SNA 发酵的原味发酵乳为例, 对每个因素的得票数进行归一化

$$\text{处理得到模糊评判矩阵: 即 } R = \begin{vmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 \end{vmatrix}$$

根据模糊变换原理, 用权重 X 乘以模糊矩阵 R, 得到综合评价结果 Y, 即 $Y=X\times R$ 。

$$Y=X\times R = (0.15 \quad 0.35 \quad 0.30 \quad 0.20) \times \begin{vmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 \end{vmatrix} = (0.435 \quad 0.545 \quad 0.02)$$

从上述综合评价的结果可以看出, 将样品最终评级为“较好”的人数最多, 为 54.5%, 43.5% 的人将样品评级为“好”, 只有 2% 的人将样品评级为“差”,

表 6 感官评定结果

Table 6 Sensory evaluation score

组别	发酵菌株	色泽 u_1			香气 u_2			滋味 u_3			质构 u_4		
		好	较好	差									
	SNA	6	4	0	5	5	0	3	7	0	4	5	1
	SNB	4	6	0	1	6	3	1	4	5	0	5	5
	S-A	5	5	0	1	9	0	1	9	0	4	6	0
	Z-15	5	5	0	3	7	0	2	7	1	4	6	0
发酵乳	L17	6	4	0	1	9	0	2	7	1	5	5	0
	GD-3A	5	5	0	1	7	2	0	7	3	1	7	2
	Z-3	6	4	0	3	7	0	2	7	1	2	7	1
	Z-14	8	2	0	2	8	0	3	6	1	5	5	0
	SNA	4	6	0	3	6	1	2	5	3	5	4	1
	SNB	2	5	3	2	8	0	1	7	2	1	6	3
	S-A	2	5	3	1	8	1	2	7	1	2	7	1
沙棘味	Z-15	4	5	1	2	6	2	3	6	1	5	5	0
发酵乳	L17	0	7	3	1	9	0	1	8	1	2	8	0
	GD-3A	4	5	1	1	9	0	0	10	0	2	8	0
	Z-3	10	0	0	2	8	0	4	6	0	7	3	0
	Z-14	7	3	0	2	8	0	6	4	0	9	1	0

所以最终判定该样品的评价等级为“较好”。

同理可计算其他样品的综合评价结果, 在表 7 中展示。可以发现, Z-14 发酵的沙棘发酵乳是唯一

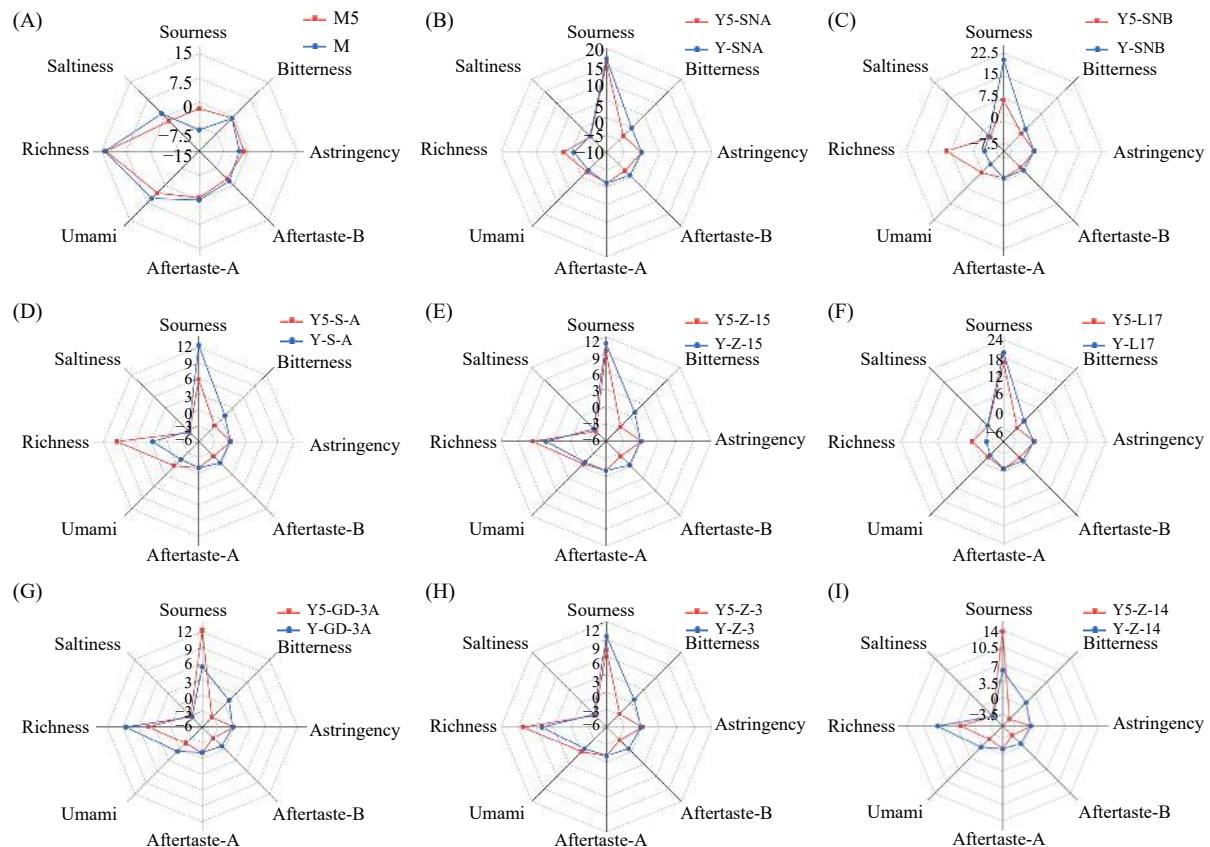


图 2 不同乳酸菌发酵的沙棘发酵乳和原味发酵乳的电子舌分析

Fig.2 Radar plots of sea buckthorn yogurt and plain yogurt fermented by different lactic acid bacteria obtained by E-tongue

表 7 模糊数学综合评判结果

Table 7 Comprehensive evaluation results of fuzzy mathematics

组别	发酵菌株	综合评定级别	综合评定分
原味发酵乳	SNA	较好	0.545
	SNB	较好	0.52
	S-A	较好	0.78
	Z-15	较好	0.65
	L17	较好	0.685
	GD-3A	较好	0.67
	Z-3	较好	0.655
	Z-14	较好	0.59
沙棘味发酵乳	SNA	较好	0.53
	SNB	较好	0.685
	S-A	较好	0.705
	Z-15	较好	0.565
	L17	较好	0.82
	GD-3A	较好	0.85
	Z-3	较好	0.52
	Z-14	好	0.535

一个综合评价等级为“好”的样品，具有最高的消费者接受度。综合所有样品的综合评定分数选出 SNB、S-A 和 Z-14 进行 GC-MS 分析。

2.5 发酵乳挥发性成分 HS-SPME-GC/MS 分析

表 8 列出了部分从沙棘发酵乳和原味发酵乳中测得的香气成分，其中包括酯类 19 种，酮类 4 种，有

机酸 4 种，烷类 2 种，醇类 3 种。图 3 为实验中 6 种发酵乳挥发性风味成分总离子流色谱图。如表 8 所示，几乎所有的酯类化合物都是由沙棘带来的，在原味发酵乳中未检测到，酯类化合物是水果香气的主要贡献者。酮类化合物呈现比较浓郁的花香以及木质香，还有一定的草本香气，在沙棘发酵乳和原味发酵乳中都有检测到，整体看来，原味发酵乳中含有更丰富、更高含量的酮类物质。有机酸可以散发出强烈的酸味，少量有机酸的存在可以为食物带来愉快的酸爽气味，但是过量有机酸则会引起食物酸败气味产生，影响食欲。实验结果显示沙棘发酵乳中含有比原味发酵乳中含量更低的有机酸，尤其是 SNB 发酵的沙棘发酵乳，其中检测到的辛酸含量相比原味发酵乳降低了 12.37%。发酵乳中有机酸含量上升可能是由于样品前处理中长时间的高温水浴，导致发酵乳酸败，从结果推测，添加沙棘可以在一定程度上稳定发酵乳品质，延缓发酵乳变质。醇类物质主要在沙棘发酵乳中检出，表现为浓郁的发酵香气，还有一定的辛辣气味，这可能是乳酸菌发酵沙棘产生的。总体上，添加 5% 沙棘可以增添发酵乳的香气，减弱发酵乳的不良气味，同样的结果在电子鼻分析中也可以观察到。TIITINEN 等^[22]发现沙棘中含量最高的化合物是短链正构或支链醇和酸的酯。XU 等^[29]在研究报告中指出，发酵食品中呈现的花香、果味可能与醇、酮和萜烯的含量有关，和本文观察的结果一致。MA

表 8 三株乳酸菌发酵的沙棘发酵乳和原味发酵乳中的香气成分

Table 8 The aroma compounds of sea buckthorn yogurt and plain yogurt fermented by 3 different LAB

种类	化合物名称		保留时间(min)	气味描述	相对含量(%)					
	英文名称	中文名称			S-A	SNB	Z-14	S-A	SNB	Z-14
酯	Hexanoic acid, 2-methylpropyl ester	己酸-2-甲基丙酯	21.324	甜, 热带果味, 桃子	2.09	1.92	1.78	—	—	—
	Octanoic acid, ethyl ester	辛酸乙酯	23.472	果味, 蜡质, 白兰地	0.5	0.53	0.48	—	—	—
	Butanoic acid, 3-methyl-, ethyl ester	3-甲基-丁酸乙酯	12.776	果香, 菠萝和苹果香气	1.65	2.06	1.34	—	—	—
	Benzoic acid, 2-methylpropyl ester	苯甲酸-2-甲基丙酯	28.202	浓郁果香	0.70	—	—	—	—	—
	Hexanoic acid, ethyl ester	己酸乙酯	18.171	水果味, 苹果味, 白兰地	0.84	—	—	—	—	—
	1-Butanol, 3-methyl-, acetate	3-甲基-1-丁醇醋酸酯	14.179	香甜果味, 香蕉	0.31	0.30	—	—	—	—
	Hexanoic acid, 1-methylethyl ester	己酸-1-甲基乙酯	19.009	菠萝、浆果香气	0.29	—	—	—	—	—
	Propanoic acid, 2-methyl-, 2-methylbutyl ester	丙酸-2-甲基-2-甲基丁酯	18.503	热带果香, 清香	0.93	2.26	2.00	—	—	—
	Butanoic acid, 3-methyl-, 2-methylbutyl ester	丁酸-3-甲基-2-甲基丁酯	20.745	草本, 发酵味, 果味	14.75	13.75	14.33	—	—	—
	n-Amyl isovalerate	异戊酸正戊酯	20.600	新鲜果味, 苹果	2.59	—	2.29	—	—	—
	Isobutyl isovalerate	异戊酸异丁酯	18.346	甜, 果味, 浆果	3.46	2.29	2.08	—	—	—
	Formic acid, hexyl ester	甲酸己酯	13.824	未成熟的果味	0.84	1.10	0.59	—	—	—
	Butanoic acid, 3-methyl-, 3-methylbutyl ester	丁酸-3-甲基-3-甲基丁酯	20.680	甜, 果味, 青苹果	6.34	5.59	5.45	—	—	—
	Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	2-甲基-丁酸乙酯	12.411	清爽果香	0.28	0.36	—	—	—	—
	1-Butanol, 3-methyl-, benzoate	3-甲基-1-丁醇苯甲酸酯	36.807	浓郁果香	—	0.36	—	—	—	—
	Pentanoic acid, heptyl ester	戊酸庚酯	18.240	果味	—	0.98	—	—	—	—
	Formic acid, heptyl ester	甲酸庚酯	17.462	草本, 花香	—	4.29	—	—	—	—
	2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6-pentyl-	δ-十内酯	40.776	椰子, 奶油香气	—	—	0.50	—	0.72	—
	Heptanoic acid, ethyl ester	庚酸乙酯	20.438	辛辣, 白兰地, 朗姆酒	—	0.29	—	—	—	—
	2-Nonanone	2-壬酮	20.274	果香, 草本	6.51	—	6.96	10.29	0.99	13.41
酮	2-Heptanone	2-庚酮	14.678	草药, 椰子, 木质香	7.89	—	7.88	17.77	—	—
	2-Dodecanone	2-十二烷酮	27.706	柑橘香气, 花香	—	1.26	—	3.37	—	—
	2-Octanone	2-辛酮	27.710	草本, 木质香	—	—	2.33	—	1.28	—
	n-Decanoic acid	癸酸	32.262	酸败味	0.98	1.53	3.33	5.64	2.73	6.89
酸	Hexanoic acid	己酸	18.895	奶酪味, 油脂味	3.48	0.75	6.85	8.25	9.73	11.05
	Nonanoic acid	壬酸	26.531	油脂味, 酸败味	0.78	0.27	0.66	1.15	0.86	1.13
	Octanoic acid	辛酸	22.852	油脂味, 酸败味	2.44	4.19	6.84	14.4	16.56	10.79
烷	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	十二甲基环己氧烷	28.568	无味	1.11	1.92	5.62	4.09	4.14	5.71
	Pentadecane	十五烷	52.325	蜡状的	0.70	—	0.51	3.06	—	3.77
醇	5-Hepten-2-ol, 6-methyl-	6-甲基-5-庚-2-醇	18.023	辛辣味	—	5.85	—	—	—	—
	1-Heptanol	庚醇	17.454	浓郁花木香	—	—	3.46	—	—	—
	3-Methyl-1-butanol	3-甲基-1-丁醇	42.351	浓郁发酵香气, 咸土忌	—	—	0.32	—	—	—
	Pyrazine, 2,6-dimethyl-	2,6,-二甲基吡嗪	15.516	烘焙香气	0.38	—	—	—	—	—
其他	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	2,5,-二甲基吡嗪	15.481	烘焙香气	0.26	—	—	—	—	—
	Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	42.140	酚	—	—	—	—	—	2.30

注: “—”表示未检出。

等^[30]的研究报告指出, 丁酸-3-甲基-2-甲基丁酯被证明跟发酵后的气味有关, 辛酸乙酯则呈现一种椰子的香气。

3 结论

本实验利用智能感官分析系统 E-nose 和 E-tongue 对发酵乳的气味和滋味进行分析, 结果显示添加沙棘会对发酵乳气味产生显著的影响, 主要是香气的增加和不良气味的减弱; 添加沙棘还会显著增强牛乳的酸味和涩味, 而经过不同乳酸菌发酵之后呈现出苦味的减少和鲜味的增加。然后通过感官评价从四个方面分析沙棘对发酵乳消费者接受度的影响, 结果表明 Z-14 发酵的沙棘发酵乳是唯一一个综合评

价等级为“好”的样品, 说明其消费者接受度最高。GC/MS 结果显示添加沙棘可以显著提高发酵乳中酯类和醇类化合物的浓度, 酯类化合物是水果香气的主要来源, 可以使发酵乳呈现浓郁果香, 而醇类则体现为浓郁的发酵香气, 可以给发酵乳带来独特的发酵风味; 添加沙棘还可以减少发酵乳由于酸败产生的不良气味。在其他报道中提到的对沙棘风味形成具有关键性作用的萜烯类物质在本实验中没有检出, 可能是蛋白质对这类物质有一定的吸附作用, 在本文中不作深入研究, 但是对如何减弱沙棘的不良风味有一定的启示作用。综上所述, 沙棘可以对发酵乳的风味产生显著影响, 在功能性食品的开发方面具有巨大的潜力。

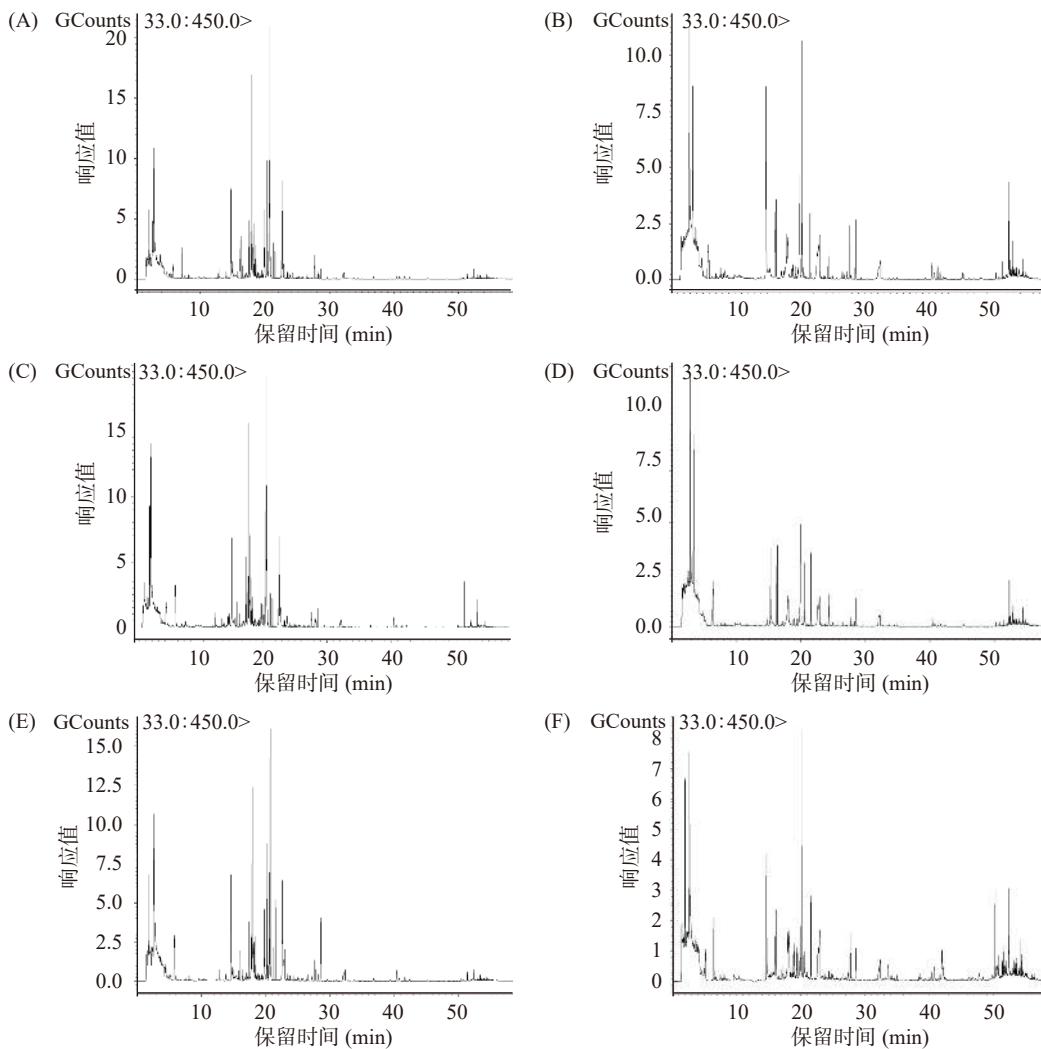


图 3 GC/MS 分析 6 种样品挥发性成分总离子流色谱图

Fig.3 Total ion chromatogram for the analysis of volatile component in 6 samples by GC/MS

注: S-A 发酵沙棘发酵乳(A); S-A 发酵原味发酵乳(B); SNB 发酵沙棘发酵乳(C); SNB 发酵原味发酵乳(D); Z-14 发酵沙棘发酵乳(E); Z-14 发酵原味发酵乳(F)。

参考文献

- [1] 李翔宇, 田梦媛. 沙棘饮品的发展现状[J]. 农产品加工(学刊), 2014(8): 61–62. [LI X Y, TIAN M Y. Discussion the situation of the development of the sea-buckthorn drink[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014(8): 61–62.]
- [2] CIESAROVÁ Z, MURKOVIC M, CEJPEK K, et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review[J]. Food Research International, 2020, 133: 1–18.
- [3] 曹文琪, 王维维. 凝固型沙棘枸杞汁酸奶的研制[J]. 宿州学院学报, 2018, 33(1): 118–121. [CAO W Q, WANG W W. Development of set-type yogurt mixed with sea buckthorn and wolfberry juice[J]. Journal of Suzhou University, 2018, 33(1): 118–121.]
- [4] 林祥群, 倪玉华, 刘文玉. 沙棘营养保健酸奶的研制[J]. 现代食品, 2016(8): 124–128. [LIN X Q, NI Y H, LIU W Y. Development of nutritional and healthy sea-buckthorn yoghurt[J]. Modern Food, 2016(8): 124–128.]
- [5] 安宝利, 卢顺光. 沙棘种质资源保护和利用的现状与展望[J]. 国际沙棘研究与开发, 2004, 2(2): 12–15. [AN B L, LU S G. Conservation and utilization of germplasm resources of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)[J]. The Global Seabuckthorn Research and Development, 2004, 2(2): 12–15.]

- [6] ARIMBOOR R, KUMAR K S, ARUMUGHAN C. Simultaneous estimation of phenolic acids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) using RP-HPLC with DAD[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2008, 47(1): 31–38.
- [7] GEETHA S, RAM M S, SINGH V, et al. Anti-oxidant and immunomodulatory properties of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*)-an *in vitro* study[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2002, 79(3): 373–378.
- [8] 吕恒慧. 沙棘果中活性物质的提取及其对心脏保护作用的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2016. [LV H H. Study of bioactive components extracted from sea buckthorn and cardiac protective effect on hearts[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2016.]
- [9] MARKKINEN N, LAAKSONEN O, NAHKU R, et al. Impact of lactic acid fermentation on acids, sugars, and phenolic compounds in black chokeberry and sea buckthorn juices[J]. Food Chemistry, 2019, 286(JUL.15): 204–215.
- [10] RAFFO A, PAOLETTI F, ANTONELLI M. Changes in sugar, organic acid, flavonol and carotenoid composition during ripening of berries of three seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars[J]. European Food Research and Technology, 2004, 219(4): 360–368.

- [11] BAL L M, MEDA V, NAIK S N, et al. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmeceuticals[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1718–1727.
- [12] TKACZ K, CHMIELEWSKA J, TURKIEWICZ I P, et al. Dynamics of changes in organic acids, sugars and phenolic compounds and antioxidant activity of sea buckthorn and sea buckthorn-apple juices during malolactic fermentation[J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127382.
- [13] TIITINEN K, VAHVASELK M, LAAKSO S, et al. Malolactic fermentation in four varieties of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)[J]. European Food Research & Technology, 2007, 224(6): 725–732.
- [14] TIITINEN K M, HAKALA M A, KALLIO H P. Quality components of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) varieties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(5): 1692–1699.
- [15] 李婷, 田佳乐, 刘洋, 等. 基于固相微萃取-气相色谱-质谱与电子鼻技术分析发酵乳中的挥发性风味物质[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(10): 233–241. [LI T, TIAN J L, LIU Y, et al. Analysis of volatile flavor compounds in fermented milk by SPME-GC-MS and electronic nose technology[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(10): 233–241.]
- [16] 杨爽, 白雪, 孟鑫. 电子鼻结合 GC-MS 检测猪肉内源脂肪酶对奶制品风味的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 248–254. [YANG S, BAI X, MENG X. Effect of pork endogenous lipase on dairy products flavor by electronic nose combined with GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(15): 248–254.]
- [17] 杨璐, 范少丽, 李宏, 等. 模糊数学评价法优化桑葚露酒制备工艺及其香气成分分析[J]. 上海农业学报, 2020, 36(4): 108–113. [YANG L, FAN S L, LI H, et al. Optimization of mulberry wine preparation technology based on fuzzy mathematics sensory evaluation method and analysis of aroma components[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2020, 36(4): 108–113.]
- [18] 刘俊艳, 王成花, 梁真, 等. 模糊数学感官评价法优化塔格糖酸奶发酵工艺[J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 99–102. [LIU J Y, WANG C H, LIANG Z, et al. Optimization of tagatose yogurt fermentation technology based on fuzzy mathematics sensory evaluation method[J]. China Brewing, 2017, 36(3): 99–102.]
- [19] 李超敏, 李林珂, 郭明月. 营养保健型沙棘酸奶的研制及感官评定研究[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(3): 27–29. [LI C M, LI L K, GUO M Y. Preparation of natural and healthy seabuckthorn yoghurt and sensory assessment[J]. Food and Fermentation Technology, 2013, 49(3): 27–29.]
- [20] 成堃, 袁雪娇, 高星, 等. 蓝莓风味酸奶挥发性风味物质的分析[J]. 山东轻工业学院学报(自然科学版), 2019, 33(4): 39–44. [CHENG K, YUAN X J, GAO X, et al. Study on the volatile flavor compounds in blueberry yogurt[J]. Journal of Qilu University of Technology, 2019, 33(4): 39–44.]
- [21] SOCACI S A, SOCACIU C, TOFANA M, et al. In-tube extraction and GC-MS analysis of volatile components from wild and cultivated sea buckthorn(*Hippophae rhamnoides* ssp. *carpatica*) berry varieties and juice[J]. Phytochemical Analysis, 2013, 24(4): 319–328.
- [22] TIITINEN K, HAKALA M, KALLIO H. Headspace volatiles from frozen berries of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties[J]. European Food Research & Technology, 2006, 223(4): 455–460.
- [23] 周勇, 李伟, 彭祺菲, 等. 沙棘多糖对发酵乳凝胶特性的影响及沙棘多糖酸奶工艺优化[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(7): 6. [ZHOU Y, LI W, PENG Z F, et al. Effect of seabuckthorn polysaccharide on properties of fermented milk gel and optimization of seabuckthorn polysaccharide yogurt process[J]. China Dairy Industry, 2020, 48(7): 6.]
- [24] FOEGEDING E A, PLUNDRICH N, SCHNEIDER M, et al. Protein-polyphenol particles for delivering structural and health functionality[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 72(Nov.): 163–173.
- [25] DAI T T, CHEN J, DAVID J M, et al. Protein–polyphenol interactions enhance the antioxidant capacity of phenolics: Analysis of rice glutelin–procyanidin dimer interactions[J]. Food & Function, 2019, 10: 765–774.
- [26] ABDEL-HAMID M, ROMEIH E, HUANG Z, et al. Bioactive properties of probiotic set-yogurt supplemented with *Siraitia grosvenorii* fruit extract[J]. Food Chemistry, 2020, 303: 125400.
- [27] 郭奇慧, 白雪, 胡新宇, 等. 电子鼻测定酸奶气味过程中测定参数的研究[J]. 乳业科学与技术, 2008, 31(4): 170–172. [GUO Q H, BAI X, HU X Y, et al. Study on parameters of electronic nose measuring yogurt flavor[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2008, 31(4): 170–172.]
- [28] CHEN Q, SONG J, BI J, et al. Characterization of volatile profile from ten different varieties of Chinese jujubes by HS-SPME/GC-MS coupled with E-nose[J]. Food Research International, 2018, 105(MAR.): 605–615.
- [29] XU X, BAO Y, WU B, et al. Chemical analysis and flavor properties of blended orange, carrot, apple and Chinese jujube juice fermented by selenium-enriched probiotics[J]. Food Chemistry, 2019, 289: 250–258.
- [30] MA X, YANG W, MARSOL-VALL A, et al. Analysis of flavour compounds and prediction of sensory properties in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(4): 1705–1715.