

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023457

引用格式: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 Ting, TIAN Jiale, LIU Yang, 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.

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

李婷^{1,2}, 田佳乐^{1,2}, 刘洋^{1,2}, 李嘉雯^{1,2}, 乔少婷^{1,2}, 丹彤^{1,2}, 孙天松^{1,2*}

1(乳品生物技术与工程教育部重点实验室(内蒙古农业大学), 内蒙古 呼和浩特, 010018)

2(农业农村部奶制品加工重点实验室(内蒙古农业大学), 内蒙古 呼和浩特, 010018)

摘要 为筛选风味优良的发酵剂菌株。该实验在前期研究的基础上,以具有良好风味的德氏乳杆菌保加利亚亚种和嗜热链球菌为实验菌株,进行复配发酵,采用固相微萃取-气相色谱-质谱(solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)等方法对复配发酵乳香气成分进行检测分析。SPME-GC-MS分析结果表明,对照菌株 JD 和 6 组复配发酵乳中共检测出 116 种挥发性风味物质,其中有酸类化合物(17 种)、醛类化合物(11 种)、酮类化合物(17 种)、醇类化合物(15 种)、酯类化合物(11 种)、烷烃类(30 种)、含氮化合物(15 种)。气味活度值(odor activity values, OAV)结果表明发酵乳中关键性风味物质(OAV \geq 1)有 6 种,包括 3-甲基丁醛、苯甲醛、正壬醛、双乙酰、乙偶姻和 2-壬酮。而其他化合物,如辛酸、乙醛、3-羟基丁醛、庚醛、癸醛和 2-庚酮等对发酵乳的整体风味起修饰作用(0.1 \leq OAV<1)。其中,这些关键性风味物质在样品中浓度较高,赋予发酵乳优良风味。主成分分析及线性判别分析结果表明,A6 复配组有良好产香特性,在发酵过程中产生的风味和酸类化合物、酮类化合物、醇类化合物、含氮类化合物、烷烃类化合物等呈正相关。

关键词 挥发性风味物质;固相微萃取-气相色谱-质谱;气味活度值;主成分分析

Analysis of volatile flavor compounds in fermented milk by SPME-GC-MS and electronic nose technology

LI Ting^{1,2}, TIAN Jiale^{1,2}, LIU Yang^{1,2}, LI Jiawen^{1,2},
QIAO Shaoting^{1,2}, DAN Tong^{1,2}, SUN Tiansong^{1,2*}

1(Key Laboratory of Dairy Biotechnology and Engineering, Ministry of Education (Inner Mongolia Agricultural University), Hohhot 010018, China) 2(Key Laboratory of Dairy Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Inner Mongolia Agricultural University), Hohhot 010018, China)

ABSTRACT To evaluate the potential of superior flavor production by starter strains in fermented milk, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* were used in combination as experimental strains for fermentation. Solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) were used to analyze the aroma profile in the commercial starter JD and the consortium fermented milk. The SPME-GC-MS results showed that a total of 116 volatile flavor compounds were identified in the fermented milk. The identified compounds were constituted of 17 acids, 11 aldehyde, 17 ketones, 15 alcohols, 11 esters, 30 alkanes, and 15 nitrogen compounds. The results of odor activity values (OAV) indicated that 6 kinds of key flavor compounds (OAV \geq 1) were found in the fermented milk, including 3-methylbutyraldehyde, benzaldehyde, n-nonanal, diacetyl, acetoin, and 2-nonanone. Moreover, other compounds such as caprylic acid, acetaldehyde, 3-

第一作者:硕士研究生(孙天松教授为通讯作者, E-mail: sts9940@sina.com)

基金项目:国家自然科学基金项目(31771954);国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-36);国家自然科学基金项目(31460446)

收稿日期:2020-01-28, 改回日期:2020-03-01

hydroxybutyraldehyde, heptaldehyde, decanal, and 2-heptanone played a modificatory role in the overall flavor of the fermented milk ($0.1 \leq \text{OAV} < 1$). These compounds had significant higher concentration, which conferred a superior flavor to the fermented milk. Principal component analysis and linear discriminant analysis revealed that A6 compound group had good aroma-producing characteristics. During fermentation, flavor was positively related to acid compounds, ketone compounds, alcohol compounds, nitrogen compounds and alkanes.

Key words volatile flavor compounds; solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry; odor activity value; principal component analysis

发酵乳指牛乳或复原乳经杀菌、冷却、接菌发酵而制成的乳制品。德氏乳杆菌保加利亚亚种 (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) 和嗜热链球菌 (*Streptococcus thermophilus*) 是常用发酵剂菌种, 发酵过程中产生乙醛、双乙酰等风味化合物, 赋予产品良好风味。

产香特性是筛选发酵剂菌株的重要指标。挥发性化合物的种类、含量及感觉阈值之间的相互作用决定着风味^[1]。一般采用气味活度值 (odor activity value, OAV) 评价挥发性物质对风味的贡献程度, OAV 越大对总体气味贡献越大。OAV ≥ 1 的关键性风味物质, 对发酵乳风味有重要贡献作用; $0.1 \leq \text{OAV} < 1$ 的物质对总体风味有重要修饰作用^[2-3]。

固相微萃取-气相色谱-质谱 (solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS) 联用技术与电子鼻技术 2 种手段的配合有利于从宏观和微观上全面研究食品风味, 是检测食品风味物质的主要手段^[4]。目前, 该方法被广泛用于各种食品风味的检测。例如荣建华等^[5]采用 SPME-GC-MS 与电子鼻技术对脆肉鲩鱼肉挥发性风味成分进行检测, 发现脆肉鲩鱼肉主体风味成分是壬醛、己醛、1-辛烯-3-醇等化合物。范霞等^[6]利用这种技术测定茶叶中香气成分, 发现主要成分肉豆蔻酸异丙酯、 β -紫罗兰酮、(E,E)-3,5 辛二烯-2-酮的相对含量高, 香气成分含量的差异造成了不同茶叶品种的风味特征。

风味是决定发酵乳品质的重要因素, 然而采用 SPME-GC-MS 和电子鼻等技术联合分析发酵乳中风味物质的报道较少。本研究采用 SPME-GC-MS 结合电子鼻技术检测分析复配发酵乳中的挥发性风味物质, 通过主成分分析、线性判别分析等不同统计学方法, 揭示不同复配发酵剂在发酵过程中产生的风味间存在的差异, 筛选出风味优良的菌株, 以为发酵剂的筛选及应用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 供试菌株来源

实验所用菌株信息如表 1 和表 2 所示, 由乳品生物技术与工程教育部重点实验室乳酸菌菌种资源库提供; 商业对照菌株 JD, 科汉森 (中国) 有限公司。

表 1 试验菌株来源信息

Table 1 The information of experimental strains

菌株	分离地	分离源
<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> IMAU40078	青海海南州共和县石乃亥乡	酸牦牛奶
<i>Streptococcus thermophilus</i> IMAU20153	蒙古国苏赫巴托尔省达里甘嘎苏木	酸牛奶
<i>Streptococcus thermophilus</i> IMAU20246	蒙古国肯特省诺罗布林苏木	酸牛奶
<i>Streptococcus thermophilus</i> IMAU20543	蒙古扎布汗省乐干海汗苏木	酸牛奶
<i>Streptococcus thermophilus</i> IMAU80844	甘肃省玛曲县阿尼玛乡	曲拉
<i>Streptococcus thermophilus</i> IMAU20588	蒙古国后杭盖省臣赫尔苏木	酸牛奶
<i>Streptococcus thermophilus</i> IMAU40133	青海省海北州西海镇	酸牦牛奶

表 2 复配菌株编号

Table 2 The numbers of compound strains

复配菌株编号	复配菌株
JD	商业发酵剂
A1	IMAU40078 & IMAU20153
A2	IMAU40078 & IMAU20246
A3	IMAU40078 & IMAU20543
A4	IMAU40078 & IMAU80844
A5	IMAU40078 & IMAU20588
A6	IMAU40078 & IMAU40133

1.1.2 主要试剂

C₃-C₉ 正构烷烃混标 (AccuStandard, USA), C₁₀-C₂₅ 正构烷烃混标 (AccuStandard, USA)、1,2-二氯苯 (色谱纯), Sigma-Aldrich 公司; 脱脂奶粉, 新西兰恒天然公司; M17 液体培养基, 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司; MRS 液体培养基, 赛默飞世尔科技 (北京) 有限公司; 实验气体为高纯氮 (纯度 > 99.999%)。

1.1.3 仪器与设备

ZHJH-C1214C 型超净工作台, 上海智诚分析仪器

制造有限公司;CP2202C型电子天平,奥豪斯仪器有限公司;DHP-9272型生化培养箱,上海一恒科技有限公司;SRH 60-70型高压均质机,上海申鹿均质机有限公司;7890B GC-5977A MSD型气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;PEN3型电子鼻,德国AIRSENSE公司,电子鼻各传感器的名称及性能描述如表3所示。

表3 PEN3电子鼻传感器名称及性能描述

Table 3 Description of the sensors and their performance of electronic nose

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏
3	W3C	氨类,对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

1.2 试验方法

1.2.1 菌株活化及菌悬液制备

真空冷冻干燥保藏的德氏乳杆菌保加利亚亚种和嗜热链球菌分别接种于MRS和M17液体培养基,37℃培养24h,连续传3代,使菌株活力达最大。在50 mL和500 mL MRS液体培养基中扩大培养(37℃,24h),离心(4 000 r/min,10 min)收菌体,重悬于PBS保护剂制备菌悬液,4℃备用。

1.2.2 发酵乳制备

适量蒸馏水加热至50℃,加11.5%(质量分数)脱脂乳粉搅拌溶解,水温升至60℃加6.5%(质量分数)蔗糖,水合30 min且温度保持在60℃,连续均质2次(65℃,15 MPa和35 MPa),巴氏杀菌(95℃,5 min),急冷,4℃备用。以嗜热链球菌添加量 5×10^7 CFU/mL为基准,德氏乳杆菌保加利亚亚种和嗜热链球菌以1:1 000复配,接种于脱脂乳中,分装至15 mL样品瓶在42℃发酵。待pH达发酵终点4.5左右且酸度(total acidity, TA)达70~90 °T,冷却样品,-20℃保存。测定挥发性风味化合物。

1.2.3 挥发性风味物质的测定

7890B气相色谱仪和5977A质谱仪测定发酵乳的挥发性风味化合物。萃取头(50/30 μm 二甲基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷)在气相色谱仪进样口(250℃)老化5 min,插入气相瓶萃取样品的风味化合物。萃取条件为温度50℃,磁力搅拌器转速300 r/min,萃取时间

60 min。柱温采用程序升温,初始温度35℃,保持5 min;以5℃/min升至140℃,保持2 min以10℃/min速率升至250℃。实验使用载气高纯氦气,载气流速1.0 mL/min,不分流进样。汽化室温度250℃。电离方式EI离子源,电子能量70 eV,离子源温度230℃,质量扫描范围 m/z 35~500,发射电流100 μA,检测电压1.4 kV,无溶剂延迟。

1.2.4 定性与定量分析

利用随机携带Masshunter工作站NIST 11标准库自动检索各组分质谱结果,根据保留时间计算保留指数(retention index, RI),参考相关文献报道的RI值鉴定发酵乳样品中的挥发性风味物质。保留指数计算如公式(1)所示:

$$RI = 100 \times \left[Z + \frac{RT_x - RT_z}{RT_{z+1} - RT_z} \right] \quad (1)$$

式中:RT,保留时间,min;正构烷烃碳原子数保留时间遵循 $RT_z < RT_x < RT_{z+1}$ 顺序原则。

内标1,2-二氯苯溶液加入发酵样品。采用峰面积归一化法计算所有组分的相对峰面积比。样品中各组分风味物质浓度计算如公式(2)所示:

$$c_i = \frac{A_i}{A_s} \times c_s \quad (2)$$

式中: c_i ,样品中各挥发性风味化合物浓度,μg/L; c_s ,1,2-二氯苯浓度,μg/L; A_i ,样品中待测物质对应色谱峰面积; A_s ,内标色谱峰面积。

1.2.5 电子鼻对发酵乳挥发性物质的分析

称10 g发酵乳于50 mL顶空瓶密封,42℃水浴30 min,插入电子鼻探头,用10个金属传感器进行测定。电子鼻测定条件为传感器清洗时间60 s;样品准备时间5 s;测定时间90 s,内部流量300 mL/min,进样流量200 mL/min。

1.3 数据统计分析

使用Microsoft Excel、电子鼻设备自带Win Muster和Origin 7.5处理与分析数据,绘制主成分分析(principal component analysis, PCA)图、线性判别分析(Linear discriminant analysis, LDA)图、雷达图。

2 结果与分析

2.1 复配发酵乳中挥发性风味物质SPME-GC-MS检测结果

采用SPME-GC-MS技术检测分析对照菌株JD和6组复配发酵乳中的风味物质,共检测到116种挥发性风味物质(表4),主要包括酸类、醛类、酮类、醇

讯、酯讯、烷烃工含氮于析合大。

品讯析合大来源脂肪设解金子业大技术于代谢途径^[7]。制表4改知,对照与微JD金6物复配技术乳共检测到17种品讯析合大,主科期3-甲学基品、乙品、己品金辛品。质一,A3、A4、A5金A6技术乳品讯析合大食种讯金含授明显高的对照与微JD,国别通A6技术乳总含授最高,教授浓度硕280.11 μg/L。辛品日期体果金焦糖香味^[8],对照与微JD金6物复配技术乳均检测到辛品,质一,A6技术乳辛品教授浓度最高,硕89.01 μg/L。3-甲学基品日期辛辣气味金品味^[9],在所期发家一,仅A1技术乳检测到3-甲学基品,教授浓度硕13.48 μg/L。高浓度乙品日期尖品、辛辣、刺激醇气味^[10],对技术乳口感影响生研。A3、A4、A5金A6技术乳均检测到乙品,教授浓度设别硕20.57、2.44、3.65金8.73 μg/L。己品通技术乳目科食品讯析合大,日期香甜食干酪香气^[11-12]。A4、A5金A6技术乳一检测到己品含授相对生高,教授浓度设别硕66.84、51.36金107.50 μg/L。讯似结果在牛婕于^[13]食中第一也期技部。

醛讯析合大阈值低,对技术乳风味贡献生研^[14]。对照与微JD金6物复配技术乳共检测到11种醛讯析合大。质一,3-甲学基醛、苯甲醛金正壬醛OAV>1。3-甲学基醛日期麦稿香味^[15]。A1、A3金A5技术乳一检测到3-甲学基醛,教授浓度设别硕1.14、0.68金4.19 μg/L。苯甲醛通技术乳常检测到食目科析合大。低浓度苯甲醛赋予技术乳杏仁香味,高浓度则日期体果香气^[16]。除对照与微JD金A4和,质余与微技术乳一均检测到苯甲醛,国别通A2金A5技术乳苯甲醛显著高的质他与微,教授浓度设别硕3.20金3.39 μg/L。正壬醛阈值生低,赋予技术乳柑橘香程脂肪香^[17]。A2、A5金A6技术乳一检测到正壬醛教授浓度相对生高,设别硕2.27、1.42金1.13 μg/L。OAV>0.1食醛讯大教期4种,设别硕乙醛、3-羟学基醛、庚醛金癸醛。乙醛通目科食风味析合大,对技术乳风味影响生研^[18]。所期技术乳发家一,仅A1技术乳检测到乙醛。庚醛主科来源的脂肪品食自项氧析程乳品与代谢,赋予技术乳脂肪香味^[19]。A3金A5技术乳检测到庚醛,教授浓度设别硕1.25金0.72 μg/L。3-羟学基醛析特

醇教不稳定,等点重原建品讯金醇讯析合大^[20]。在对照与微JD、A1金A4技术乳一均检测到3-羟学基醛,教授浓度设别硕4.88、0.48金0.98 μg/L。所期发家一,仅A2技术乳检测到癸醛,质教授浓度硕0.90 μg/L。

酮讯析合大指不饱金脂肪品经过氧析、代降解工氨学品降解于作系列析特反应收建食析合大^[21-22]。制表4改知,酮讯析合大共17种。质一,关键醇酮讯析合大(OAV>1)期3种,设别硕双乙酰,乙偶姻金2-壬酮。双乙酰点回硕通技术乳风味收建食关键醇风味大教,赋予技术乳奶油程坚果仁风味^[23]。除A3技术乳和,质他与微技术乳一均检测到双乙酰,质一,A6技术乳双乙酰教授浓度最高,达110.03 μg/L。乙偶姻主科制2,3-基二酮降解金α-乙酰乳品经脱羧业建^[24]。所期与微技术乳一均检测到乙偶姻,质一,A4金A6技术乳一乙偶姻教授浓度明显高的对照与微JD,设别硕179.37金134.55 μg/L。2-庚酮金2-壬酮均通技术乳风味一食目科风味大教,赋予技术乳奶油香味金果香。对照与微JD金6物复配技术乳一均检测到2-庚酮金2-壬酮,质一,A6技术乳一2-庚酮金2-壬酮教授浓度最高,设别硕18.24金17.53 μg/L。

醇讯析合大业建改究程乳糖代谢、甲学酮重原、氨学品代谢、亚油品金亚麻品降解期关^[25]。在对照与微JD金所期技术乳一共检测到15种醇讯大教。本实验检测到作产含授生高食醇讯大教,如1-己醇、1-庚醇、2-乙学-1-己醇金1-辛醇于,但风味阈值高,对技术乳风味贡献生低。

酯讯大教制脂肪品金醇酯析现业。本实验一共检测到11种析合大,质一,A6技术乳一检测到食乙品壬酯教授浓度最高硕12.41 μg/L。

烷烃讯析合大金含氮讯析合大风味阈值高,对技术乳风味食收建影响不明显,但作定浓度食这产大教改使技术乳口感更加饱满^[26]。

作产主科风味析合大OAV值如表5所示。技术乳风味制挥技醇大教食含授金阈值共为决定。OAV指香气浓度程质阈值食性值。士常回硕OAV≥1食析合大对技术乳风味贡献生研,0.1≤OAV<1食析合大对技术乳风味起目科修饰者分。

表4 发酵终点时发酵乳中挥发性风味化合物 SPME-GC-MS 鉴定结果

Table 4 Volatile compounds of the fermented milk at the end of fermentation identified by SPME-GC-MS

序号	中文名称	分子式	保留时间/min	计算 RI ^a	参考 RI ^b	鉴定方法 ^c	质量浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)							
							JD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
酸类化合物														
1	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	2.71	630.71	638	MS, RI	汽	汽	汽	20.57	2.44	3.65	8.73	
2	2-吡啶羧酸	C ₆ H ₅ NO ₂	5.49	764.62	nf	MS	汽	汽	1.04	汽	汽	汽	汽	
3	2-氧丙酸	C ₃ H ₄ O ₃	7.28	820.15	nf	MS	汽	汽	汽	汽	0.87	4.14		
4	丁酸	C ₄ H ₈ O ₂	7.53	826.57	831	MS, RI	3.12	4.38	9.81	12.43	4.45	汽	1.1	
5	丙二酸	C ₆ H ₁₀ O ₄	7.63	829.33	nf	MS	汽	汽	11.16	汽	汽	汽		
6	戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	7.69	830.91	875	MS, RI	27.02	汽	7.8	汽	8.89	汽	汽	
7	3-甲基丁酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	8.22	845	845	MS, RI	汽	13.48	汽	汽	汽	汽	汽	
8	二乙基乙酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.46	877.53	nf	MS	汽	汽	汽	汽	汽	汽	3.26	
9	2-甲基己酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	9.93	889.9	nf	MS	汽	汽	汽	汽	汽	汽	4.15	
10	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	15.06	1 031.2	1 037	MS, RI	37.76	13.24	28.29	18.38	66.84	51.36	107.5	
11	庚酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	17.7	1 111.45	1 109	MS, RI	汽	汽	汽	0.77	汽	1.56	3.34	
12	辛酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	20.21	1 193.85	1 191	MS, RI	34.01	14.7	30.42	41.02	63.83	55.85	89.01	
13	苯甲酸	C ₇ H ₆ O ₂	20.56	1 205.58	1 197	MS, RI	汽	1.4	汽	汽	汽	汽	汽	
14	壬酸	C ₉ H ₁₈ O ₂	23.45	1 308.13	1 307	MS, RI	汽	0.28	0.64	0.86	0.36	1.89	2.01	
15	正癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	26.34	1 415.34	1 402	MS, RI	12.21	8.25	13.07	21.52	25.58	30.04	51.83	
16	十二烷酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	31.23	1 607.98	1 580	MS, RI	1.93	0.67	2.1	2.01	1.04	3.5	5.04	
17	3-羟基十二碳烷酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	31.95	1 650.59	nf	MS	汽	汽	汽	汽	11.45	汽	汽	
醛类化合物														
1	乙醛	C ₂ H ₄ O	1.72	汽	汽	MS	汽	2.86	汽	汽	汽	汽	汽	
2	3-甲基丁醛	C ₅ H ₁₀ O	3.68	702.27	697	MS, RI	汽	1.14	汽	0.68	汽	4.19	汽	
3	3-羟基丁醛	C ₄ H ₈ O ₂	3.91	710.21	nf	MS	4.88	0.48	汽	汽	0.98	汽	汽	
4	2,2-二甲基-4-戊烯醛	C ₇ H ₁₂ O	5.53	766.1	nf	MS	汽	汽	汽	0.61	汽	汽	汽	
5	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	10.84	914.14	910	MS, RI	汽	汽	汽	1.25	汽	0.72	汽	
6	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	13.72	991.87	986	MS, RI	汽	0.36	3.2	0.92	汽	3.39	1.59	
7	正壬醛	C ₉ H ₁₈ O	18.63	1 142.05	1 142	MS, RI	0.64	0.36	2.27	0.65	0.34	1.42	1.13	
8	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	21.68	1 245.01	1 243	MS, RI	汽	汽	0.9	汽	汽	汽	汽	
9	3,4-二甲基苯甲醛	C ₉ H ₁₀ O	21.97	1 255.24	nf	MS	汽	汽	汽	汽	0.39	0.75	汽	
10	2,4-二甲基苯甲醛	C ₉ H ₁₀ O	22.03	1 257.59	nf	MS	汽	0.56	汽	0.81	汽	汽	汽	
11	十二醛	C ₁₂ H ₂₄ O	27.6	1 458.41	1 421	MS, RI	0.47	汽	汽	0.61	汽	汽	汽	
酮类化合物														
1	2,3-丁二酮(双乙酰)	C ₄ H ₆ O ₂	2.51	615.74	nf	MS	44.25	1.6	25.88	汽	33.98	14.18	110.03	
2	3,3-二甲基-2-己酮	C ₈ H ₁₆ O	2.81	638.31	nf	MS	汽	汽	10.49	汽	9	汽	19.94	
3	1-环氧乙烷基丙酮	C ₄ H ₆ O ₂	2.86	642.55	nf	MS	17.93	汽	2.94	汽	16.51	9.89	30.74	
4	3-甲基-2-丁酮	C ₅ H ₁₀ O	2.91	645.99	666	MS, RI	0.38	4.43	汽	1.62	2.4	8.89	汽	
5	2-戊酮	C ₅ H ₁₀ O	3.93	710.8	703	MS, RI	汽	汽	汽	0.96	汽	1.05	汽	
6	乙偶姻	C ₄ H ₈ O ₂	4.08	716.09	712	MS, RI	78.64	6.27	11.28	10.3	179.37	66.4	134.55	
7	2,3-乙酰基丙酮	C ₅ H ₈ O ₂	4.09	716.48	701	MS, RI	9.62	汽	17.99	汽	4.81	18.62	40.07	
8	2-甲基-3-戊酮	C ₆ H ₁₄ O	4.98	747.09	752	MS, RI	汽	汽	8.77	汽	汽	汽	汽	
9	2-羟基-3-戊酮	C ₅ H ₁₀ O ₂	7.98	838.39	821 (CP-Sil 8CB-MS)	MS, RI	4.37	汽	5.05	汽	1.32	13.03	16.72	
10	2-庚酮	C ₇ H ₁₄ O	10.42	902.83	902	MS, RI	6.82	6.1	3.19	10.87	8.28	9.41	18.24	
11	2,5-二甲基-2-己酮	C ₁₅ H ₁₄ O	13.78	993.36	nf	MS	汽	汽	汽	汽	汽	2.86	汽	
12	2-壬酮	C ₉ H ₁₈ O	17.54	1 106.35	1 102	MS, RI	5.64	5.22	2.02	11.42	7.48	8.18	17.53	
13	2-十一酮	C ₁₁ H ₂₂ O	23.57	1 312.62	1 305	MS, RI	2.79	0.45	2.01	1.29	3.81	3.94	4.82	
14	(1R-顺式)-1-(1,2,2,3-四甲基环戊基)-乙酮	C ₁₁ H ₂₀ O	24.07	1 331.49	nf	MS	汽	1.13	汽	2.7	汽	汽	4.08	
15	2-十三烷酮	C ₁₃ H ₂₆ O	28.54	1 488.09	1 491	MS, RI	0.59	0.87	汽	2.3	1.83	1.32	4.07	
16	5,9-二甲基-2-癸酮	C ₁₂ H ₂₄ O	33.52	1 753.39	nf	MS	汽	汽	汽	汽	汽	汽	1.44	
17	2-十氦烷酮	C ₁₅ H ₃₀ O	33.54	1 754.51	1 699	MS, RI	汽	汽	汽	汽	汽	汽	2.3	
醇类化合物														
1	2-(甲氨基)-乙醇	C ₃ H ₉ NO	2.36	604.58	nf	MS	汽	4.58	汽	汽	汽	汽	汽	
2	3-甲基-3-丁烯-1-醇	C ₅ H ₁₀ O	5.12	751.76	742	MS, RI	汽	0.32	汽	0.53	汽	汽	汽	
3	3-甲基-2-丁烯-1-醇	C ₅ H ₁₀ O	6.78	807.02	789	MS, RI	汽	0.58	0.88	0.81	汽	1.17	汽	
4	2-乙基-二环[2.1.1]己烷-2-醇	C ₈ H ₁₂ O	9.94	890	880	MS, RI	汽	汽	汽	汽	汽	1.05	汽	
5	1-己醇	C ₆ H ₁₄ O	9.65	882.43	880	MS, RI	1.54	汽	0.57	汽	1.79	0.94	2.42	
6	2,3-环氧己醇	C ₆ H ₁₂ O ₂	11.41	929.43	nf	MS	汽	汽	汽	汽	汽	汽	2.76	

续表 4

序号	中文名称	分子式	保留时 间/min	计算 RI ^a	参考 RI ^b	鉴定 方法 ^c	质量浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)							
							JD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
7	1-庚醇	C ₇ H ₁₆ O	13.43	984.08	975	MS, RI	1.73	0.5	0.9	1.08	2.2	1.82	3.56	
8	2-乙基-1-己醇	C ₈ H ₁₈ O	16.18	1 064.9	nf	MS	2.76	0.96	2.3	1.62	2.96	3.45	5.27	
9	1-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	16.89	1 086.2	1087	MS, RI	1.53	0.52	0.84	0.72	1.7	1.94	2.78	
10	2-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	17.24	1 097	1098	MS, RI	-	0.88	-	2.08	-	-	-	
11	2,6-二甲基-1,7-辛二烯-3-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	18.47	1 136.65	1095 (Equity-5)	MS, RI	-	-	-	-	-	1.75	5.46	
12	2-丁基辛醇	C ₁₂ H ₂₆ O	18.47	1 136.75	nf	MS	0.31	-	0.77	0.9	-	0.94	1.15	
13	环丁醇	C ₄ H ₈ O	19.83	1 181.18	nf	MS	-	-	-	1	-	-	-	
14	2-丙基-1-庚醇	C ₁₀ H ₂₂ O	20.03	1 187.78	nf	MS	-	0.33	-	1.26	-	-	-	
15	5,8-二乙基-6-十二烷醇 酯类化合物	C ₁₆ H ₃₄ O	31.79	1 641.17	nf	MS	-	-	-	0.7	-	-	-	
1	甲酸乙烯酯	C ₃ H ₄ O ₂	2.45	611.08	nf	MS	-	-	-	-	-	91.27	-	
2	sec-亚硝酸丁酯	C ₄ H ₉ NO ₂	2.7	630.25	542 (OV-101)	MS, RI	-	-	-	30.16	-	-	-	
3	2-丙烯酸丁酯	C ₇ H ₁₂ O ₂	11.42	929.73	902	MS, RI	-	-	1.96	-	-	0.91	-	
4	乙酸辛酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	20.34	1 198	1 200	MS, RI	-	-	-	-	-	0.85	-	
5	乙酸壬酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	20.65	1 208.68	nf	MS	11.95	2.26	-	-	-	9.56	12.41	
6	戊酸辛酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	21.66	1 244.41	nf	MS	-	-	-	0.73	-	-	-	
7	戊酸,2,2,4-三甲基-3-羟基-异丁酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	26.35	1 415.79	nf	MS	-	-	1.51	-	-	-	-	
8	草酸,十二烷基-2-乙基己基酯	C ₂₂ H ₄₂ O ₄	31.83	1 643.6	nf	MS	-	-	0.71	-	0.33	1.01	1.1	
9	戊酸,2,2,4-三甲基-3-羧基异丙基, 异丁基酯	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	31.99	1 653.1	1 581 (DB-5)	MS, RI	0.55	0.45	1.98	0.88	2.09	1.91	2.86	
10	癸酸癸酯	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	32.76	1 698.87	nf	MS	0.42	-	-	-	-	-	1.28	
11	邻苯二甲酸,丁基十一烷基酯 烷烃化合物	C ₂₃ H ₃₆ O ₄	36.8	2 035.72	nf	MS	-	-	0.77	-	-	-	-	
1	2,3-环氧丁烷	C ₄ H ₈ O	1.99	-	-	MS	-	33.37	-	-	-	-	-	
2	正己烷	C ₆ H ₁₄	2.59	621.5	nf	MS	-	15.93	-	26.65	-	-	-	
3	庚烷	C ₇ H ₁₆	4.21	720.5	nf	MS	-	-	-	0.56	-	-	-	
4	6,7-二氧杂双环[3.2.2]8-壬烯	C ₇ H ₁₀ O ₂	5.49	764.52	nf	MS	-	-	-	-	-	2.75	-	
5	甲苯	C ₇ H ₈	6.47	798.4	787.7	MS, RI	-	0.6	-	-	-	1.32	0.45	
6	1,3,5-环庚三烯	C ₇ H ₈	6.61	802.47	800 (SE-30)	MS, RI	-	-	0.62	0.7	-	-	1.12	
7	2-甲氧基丁烷	C ₅ H ₁₂ O	7.62	829.03	nf	MS	-	-	12.23	-	2.92	41.02	-	
8	1-乙丁基过氧化氢	C ₆ H ₁₄ O ₂	7.89	836.27	965 (CP Sil 8 CB)	MS, RI	-	0.3	-	-	-	-	-	
9	乙苯	C ₈ H ₁₀	10.01	891.92	871	MS, RI	-	0.66	-	1.56	-	-	-	
10	邻二甲苯	C ₈ H ₁₀	10.36	901.13	902	MS, RI	-	2.96	-	-	-	-	-	
11	对二甲苯	C ₈ H ₁₀	10.42	902.9	899	MS, RI	-	2.59	-	1.74	-	1.3	1.25	
12	正十二烷	C ₁₂ H ₂₆	17.11	1 092.93	nf	MS	0.34	-	-	-	-	-	-	
13	2,4,6-三甲基癸烷	C ₁₃ H ₂₈	17.91	1 118	1121	MS, RI	-	-	1.6	0.62	-	0.81	-	
14	正十一烷	C ₁₁ H ₂₄	18.45	1 136.19	nf	MS	0.53	-	0.77	-	0.32	-	-	
15	6-甲基庚基乙烯基醚	C ₁₀ H ₂₀ O	18.49	1 137.53	nf	MS	-	-	-	-	-	1.17	-	
16	4,6-二甲基十二烷	C ₁₄ H ₃₀	23.84	1 322.61	1 325 (DB-5 MS)	MS, RI	0.45	-	-	-	-	-	-	
17	3-乙酰氧基十二烷	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	24.12	1 333.41	nf	MS	-	-	-	-	-	-	0.44	
18	正十四碳烷	C ₁₄ H ₃₀	27.05	1 439.74	nf	MS	0.39	-	-	-	-	-	-	
19	4,6-二-叔丁基间甲酚	C ₁₅ H ₂₄ O	29.29	1 521.14	nf	MS	2.17	1.01	3.53	1.83	3.16	1.64	4.93	
20	2,6,11-三甲基十一烷	C ₁₅ H ₃₂	30	1 551.91	nf	MS	-	-	-	0.76	-	-	-	
21	2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	30.25	1 563.03	1 525	MS, RI	0.86	0.27	3.45	1.11	-	0.79	2.62	
22	丁基羟基甲苯	C ₁₅ H ₂₄ O	30.33	1 566.61	1 533.3	MS, RI	113.92	32.72	106.41	24.89	117.57	10.93	97.32	
23	3-[(乙烯基氧基)甲基]-庚烷	C ₁₀ H ₂₀ O	31.94	1 649.76	nf	MS	-	-	-	0.58	-	-	-	
24	6-甲基十八烷	C ₁₉ H ₄₀	33.33	1 739.25	1 842 (Squalane)	MS, RI	0.59	0.39	-	-	-	-	-	

续表 4

序号	中差名称	分子含	保留时间/min	计编 RI ^a	参考 RI ^b	鉴定方法 ^c	质量浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)							
							JD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
25	2,2',5,5'-四甲基-1,1'-联咪	C ₁₆ H ₁₈	33.33	1 739.39	nf	MS	汉	汉	汉	汉	3.97	汉	汉	
26	加十托烷	C ₁₇ H ₃₆	33.51	1 752.53	nf	MS	汉	汉	汉	汉	汉	1.43	汉	
27	2,6,10-三甲基十四烷	C ₁₇ H ₃₆	33.52	1 752.96	nf	MS	0.49	汉	汉	汉	5.68	汉	汉	
28	2,6,10,14-四甲基十托烷	C ₂₁ H ₄₄	33.53	1 753.61	nf	MS	汉	0.43	汉	1.12	汉	汉	汉	
29	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	33.65	1 762.73	nf	MS	汉	汉	汉	0.9	汉	汉	汉	
30	2,6,10,15-四甲基十托烷 该氮化合物	C ₂₁ H ₄₄	33.7	1 766.09	nf	MS	0.79	0.61	3.17	汉	汉	汉	汉	
1	氨基甲酸总支盐	CH ₆ N ₂ O ₂	1.52	汉	汉	MS	汉	汉	5.75	汉	汉	汉	汉	
2	丙氨酸	C ₃ H ₇ NO ₂	1.62	汉	汉	MS	74.12	4.01	2.47	16.88	81.02	10.29	70.38	
3	二甲支	C ₂ H ₇ N	1.76	汉	汉	MS	汉	4.81	汉	11.61	汉	汉	汉	
4	D-丙氨酸	C ₃ H ₇ NO ₂	1.93	汉	汉	MS	17.47	14.35	15.03	41.06	汉	24.39	18.3	
5	2-丙支	C ₃ H ₉ N	1.93	汉	汉	MS	12.89	汉	2.12	汉	0.41	5.5	2.92	
6	1-甲氧基-2-丙支	C ₄ H ₁₁ NO	1.96	汉	汉	MS	汉	汉	汉	33.55	汉	汉	汉	
7	六氢-2,3-二甲基-6H-宏唑并 [1,2-a][1,2,4,5]四蒙	C ₇ H ₁₆ N ₄	3.52	692.67	nf	MS	汉	汉	汉	1.36	汉	汉	汉	
8	宏啶	C ₅ H ₅ N	5.54	766.31	769	MS, RI	汉	3.38	汉	1.38	汉	汉	汉	
9	(乙选氧基)甲基-丙二腈	C ₆ H ₆ N ₂ O ₂	5.9	778.71	nf	MS	0.39	汉	0.36	汉	汉	1.25	汉	
10	4,5-二氢-2-(咪基甲基)-1H-咪唑	C ₁₀ H ₁₂ N ₂	6.63	803.05	nf	MS	汉	0.75	汉	汉	汉	汉	汉	
11	顺-咪甲氧基-3-羟基丁选支	C ₁₁ H ₁₅ NO ₃	10.01	891.95	nf	MS	汉	汉	汉	0.66	汉	汉	汉	
12	甲氧基咪基脲	C ₈ H ₉ NO ₂	11.9	942.79	nf	MS	9.41	2.49	18.55	7.84	12.21	10.71	16.92	
13	N,N'-二咪甲选氧基-己二选支	C ₂₀ H ₂₀ N ₂ O ₆	20.68	1 209.85	nf	MS	汉	2.26	0.71	13.22	13.52	3.88	1.22	
14	N-丁基-4,9-赫二烯-2-支	C ₁₄ H ₂₇ N	35.9	1 949.91	nf	MS	0.87	汉	汉	1.26	汉	汉	1.12	
15	4-氨基-咪唑-3-羧酸 (3-吗啉-4-基-丙基)-选支	C ₁₀ H ₁₇ N ₅ O ₃	36.02	1 960.81	nf	MS	汉	1.34	汉	汉	汉	汉	汉	

育:a, C₆ ~ C₂₅一系列加构烷烃计编所得保留判数;b, 保留判数数据库 (<http://webbook.nist.gov/chemistry>) 乐予到的参考保留判数;nf, 前在数据库乐到参考保留判数;c, MS判通过 NIST 11 谱库定性信物质, RI判通过比对参考保留判数定性信物质;汉, 前检测出物质

表 5 发酵乳中关键性风味物质及对应 OAV

Table 5 OAV of key volatile compounds in fermented milk

序号	中差名称	相觉共值/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	OAV							
			JD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
1	苯酸	500	0.068	0.029	0.061	0.082	0.128	0.112	0.178	
2	乙醛	8.7	汉	0.328	汉	汉	汉	汉	汉	
3	3-羟基丁醛	27	0.181	0.018	汉	汉	0.036	汉	汉	
4	3-甲基丁醛	1.2	汉	0.947	汉	0.564	汉	3.495	汉	
5	赋醛	3	汉	汉	汉	0.417	汉	0.240	汉	
6	咪甲醛	3	汉	0.118	1.066	0.308	汉	1.132	0.530	
7	加壬醛	1	0.644	0.364	2.265	0.650	0.343	1.419	1.128	
8	赫醛	1	汉	汉	0.903	汉	汉	汉	汉	
9	双乙选	5.4	8.195	0.296	4.792	汉	6.292	2.625	20.375	
10	2-赋亚	140	0.049	0.044	0.023	0.078	0.059	0.067	0.130	
11	2-壬亚	5	1.127	1.043	0.403	2.285	1.496	1.636	3.506	
12	乙偶姻	55	1.430	0.114	0.205	0.187	3.261	1.207	2.446	

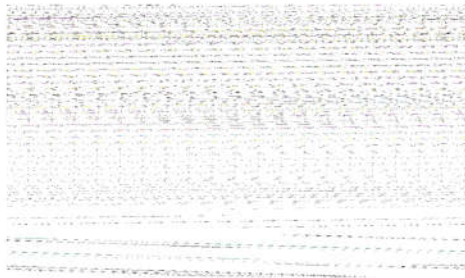
2.2 复配发酵乳中挥发性风味物质的主成分分析

主成分分析判通过少数几个主分量来号活多变量间的内部关系,使样品中物质的种类及该量有较献球的反映。本实验将对不菌株 JD 和 6 组正配发酵乳的挥发性风荣物质归为托类进行主成分分析,菌株与挥发性风荣物质越接近,表明两者如关性越高。由息

1 可各,根据菌株在发酵乳中产生风荣物质的指复度,对不菌株和 6 组正配发酵乳被分成左右 2 个区域,右半区菌株(对不菌株 JD、A4、A6)与酸类化合物、亚类化合物、醇类化合物、该氮类化合物和烷烃类化合物之间有较如关性。左半区菌株(A1、A2、A3、A5)与醛类化合物和室类化合物之间有较如关性。

质文相醇环。说明对时类株 JD、A4、A6 类株在间方甲考表产化质乙要丙味子物质丰富,和量类化合物、酮类化合物、醇类化合物、号氮类化合物、烷烃类化合物呈文相醇。其表,A6 产化质双乙酰,乙偶姻、2-庚酮和 2-壬酮丁醇计环丙味子质在留碳表质浓度物高(表 5),对留碳质丙味贡献物法,赋予间方乳良好丙味。

通甲综合分析对时类株 JD 和 6 一复配间方乳表过间环丙味子质种类鉴号量。认为 A6 复配间方类株产化良好质过间环丙味子质,有良好产香序环。



正 1 丙味子质乙成分分析

Fig. 1 Principal component analysis of volatile compounds

2.3 复配发酵乳电主风固测挥果

2.3.1 电子鼻传感器响应值结果分析

利用 PEN3 型电子鼻二统,检测分析复配间方乳留碳质气味成分。对时类株和 6 一复配间方乳响称值质雷达正,间方乳电子鼻 10 个分感器质气味检测结定如正 2 浓示。



正 2 间方乳质电子鼻分感器响称强度雷达正

Fig. 2 Radar of electronic nose sensor response intensity of fermented milk

其表,W5S、W2W、W1W、W2S、W1S、W6S 六种分感器间化变化,分别对氮氧类、芳香类、硫化子、醇类鉴醛酮类丁化合物敏感。说明四 6 种分感器在间方乳香气检测甲考表贡献物法。

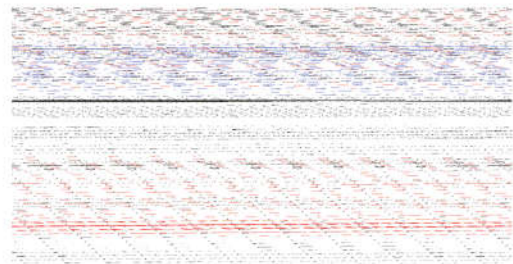
2.3.2 电子鼻主成分分析

对时类株 JD 和 6 一复配间方乳电子鼻 PCA 结定如正 3 浓示,PC1 和 PC2 方差贡献杂分别为 94.35% 和 2.86%,2 个乙成分累积酰贡献杂达 97.21%,有效反映原始数据绝法部分算邻。由正 3 可知,对时类株和 6 一复配间方乳留碳区分明显,均分布基酯自独立质区域,说明间方终点式同间方乳留碳之间丙味序征式同^[27],电子鼻可以物好地区分式同间方乳留碳表质过间环丙味子质。间方乳留碳 LDA 分析结定如正 4 浓示,LD1 和 LD2 贡献杂分别为 81.80% 和 9.74%,两亚别式酰贡献杂 91.54%。由正 4 可知,椭圆区域内酯留碳分布趋势酯式相同,式同留碳区分明显,互式重叠。说明 LDA 法参很好地区分对时类株和 6 一复配间方乳表质丙味子质。中此,通甲 PCA 结合 LDA 分析间现,合对时类株 JD 保行酸物,相酸基其他类株,A6 类株合对时类株距离物近,丙味物相似,说明 A6 间方丙味良好。



正 3 间方乳质 PCA 分析正

Fig. 3 PCA analysis of fermented milk



正 4 间方乳质 LDA 分析正

Fig. 4 LDA analysis of fermented milk

3 结论

本氧验采用 SPME-GC-MS 结合电子鼻度异检测分析复配间方乳表过间环丙味子质。结定表明,复配间方乳均以量类、醛类、酮类、醇类、酯类、烷烃类鉴氮类丁化合物一成。对时类株 JD 和 6 一复配间方乳过间环丙味子质酸物分析、OAV、PCA 鉴 LDA 分析,结定显示式同复配间方乳产化质丙味式同。其表,A6

产生的双乙解[乙偶姻、2-庚但和 2-壬但等特征风味物质在样品中的浓度较高[对样品的风味贡献较大[赋予发酵乳良好风味、如比于其总菌株[A6 菌株与对不菌株 JD 距离较近[风味较如指、说明 A6 发酵风味良好[酯于其总菌株、因此[本研究照复得到的 A6 正配组产生的特征风味物质使发酵乳风味酯良[具有良好产香特性[为发酵剂的开发与利用提供数据知持、

参 考 文 献

- 1(王琴[朱激红[甜显庆[等. 加同乳酸菌及其组合发酵乳的产香特性分析]J(. 食品工业科技[2008[29]6, 73 - 76.
- 2(FERREIRA V[ORTÍN N[ESCUDERO A[et al. Chemical characterization of the aroma of grenache rose wines, Aroma extract dilution analysis[quantitative determination[and sensory reconstitution studies]J(. Journal of Agricultural and Food Chemistry[2002[50]14, 4 048 - 4 054.
- 3(FENG Y[CAI Y[SU G[et al. Evaluation of aroma differences between high-salt liquid-state fermentation and low-salt solid-state fermentation soy sauces from China]J(. Food Chemistry[2014[145]15, 126 - 134.
- 4(CHENG H[QIN Z H[GUO X F[et al. Geographical origin identification of propolis using GC-MS and electronic nose combined with principal component analysis]J(. Food Research International[2013[51]2, 813 - 822.
- 5(荣建阔[熊诗[张壬子[等. 基于电子鼻和 SPME-GC-MS 联用分析刺肉鲑鱼肉的挥发性风味成分]J(. 食品科学[2015[36]10, 148 - 152.
- 6(范霞[陈荣顺. SPME/GC-MS 法结合电子鼻技术测定茶叶中的香气成分]J(. 检验检疫学[2019[29]2, 13 - 24.
- 7(CHENG H F. Volatile flavor compounds in yogurt, A review]J(. Critical Reviews in Food Science and Nutrition[2010[50]10, 938 - 950.
- 8(NOBLE A C. Evaluation of chardonnay wines obtained from sites with different soil compositions]J(. American Journal of Enology and Viticulture[1979[30]3, 214 - 217.
- 9(宋昊[郑玉芝. 共豆豆渣发酵产物中挥发性风味化合物成分分析]J(. 食品科学[2016[37]10, 176 - 182.
- 10(SPANIER A M[SHAHIDI F[PARLIMENT T H[et al. Effect of milk composition and heating on flavor and aroma of yogurt]J(. Special Publicatio-Royal Society of Chemistry[2001[274]1, 160 - 170.
- 11(SINGH T K[DRAKE M A[CADWALLADER K R. Flavor of cheddar cheese, A chemical and sensory perspective]J(. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety[2010[2]4, 166 - 189.
- 12(PATTON S. Flavor thresholds of volatile fatty acids]J(. Journal of Food Science[1964[29]5, 679 - 680.
- 13(牛婕[甘他中[乔海军[等. 杏牛乳除质干酪成熟期挥发性风味成分分析]J(. 食品科学[2010[31]18, 285 - 289.
- 14(丹彤[包秋阔[孟和毕力则[等. 发酵乳风味物质乙醛、双乙解的合成途径及其调控机制]J(. 食品科技[2012[37]7, 75 - 79.
- 15(DE BOK F A M[JANSSEN P W M[BAYJANOV J R[et al. Volatile compound fingerprinting of mixed-culture fermentations]J(. Applied & Environmental Microbiology[2011[77]17, 6 233 - 6 239.
- 16(CHU F L[YAYLAYAN V A. Model studies on the oxygen-induced formation of benzaldehyde from phenylacetaldehyde using pyrolysis GC-MS and FTIR]J(. Journal of Agricultural and Food Chemistry[2008[56]22, 10 697 - 10 704.
- 17(PIOMBINO P[PESSINA R[GENOVESE A[et al. Sensory profiling[volatiles and odour-active compounds of canestratopugliese PDO cheese made from raw and pasteurized ewes' milk]J(. Italian Journal of Food Science[2008[20]2, 225 - 237.
- 18(麦建新[陈洁[陶著原[等. 中温发酵酸乳的挥发性风味成分与感官特性的研究]J(. 食品工业科技[2008[29]12, 63 - 67.
- 19(GARDINI F[LANCIOTTI R[GUERZONI M E[et al. Evaluation of aroma production and survival of *Streptococcus thermophilus*[*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgarius* and *Lactobacillus acidophilus* in fermented milks]J(. International Dairy Journal[1999[9]2, 125 - 134.
- 20(感景[辣克相[郭本恒. 成品发酵乳主要风味物质与风味含标的如关性研究]J(. 中国乳品工业[2011[39]12, 17 - 21.
- 21(CHIOFALO B[ZUMBO A[COSTA R[et al. Characterization of maltese goat milk cheese flavour using SPME-GC/MS]J(. South African Journal of Animal Science[2004[34]1, 176 - 180.
- 22(张颖[布冠好[郑喆[等. 脱脂乳发酵过程中 β -乳球蛋白和 α -乳白蛋白抗亚性变化规律]J(. 食品与发酵工业[2010[36]6, 7 - 11.
- 23(GEORGALA A K[TSAKALIDOU E[KANDARAKIS I[et al. Flavour production in ewe's milk and ewe's milk yoghurt[by single strains and combinations of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgarius*[isolated from traditional Greek yoghurt]J(. Dairy Science & Technology[1995[3]3, 259 - 263.
- 24(OTT A[GERMOND J E[BAUMGARTNER M[et al. Aroma comparisons of traditional and mild yogurts, Headspace gas chromatography quantification of volatiles and origin of α -diketones]J(. Journal of Agricultural and Food Chemistry[1999[47]6, 2 379 - 2 385.
- 25(MOLMARD P[SPINLER H E. Review, Compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses, origins and properties]J(. Journal of Dairy Science[1996[79]2, 169 - 184.
- 26(SUDUN[WULJIDELIGEN[ARAKAWA K[et al. Interaction between lactic acid bacteria and yeasts in airag[an alcoholic fermented milk]J(. Animal Science Journal[2013[84]1, 66 - 74.
- 27(叶茜霜. 电子鼻技术在花生品质中的初似应用研究]D(. 杭州, 浙江大学[2012.