

牛乳含量对发酵豆乳风味成分的影响

徐寅, 黄玉军, 陈霞, 鲁茂林, 顾瑞霞*

(江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室, 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 探讨引起发酵豆乳异味的主要风味成分, 采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用检测分析技术, 结合感官评价对不同牛乳含量的发酵豆乳的挥发性风味成分进行分析。不同基质发酵乳共检测出44种风味成分, 其中有19种共有风味成分。随着基质牛乳添加量的增加, 发酵豆乳的可接受性亦逐渐提高, 且发酵豆乳中醇、醛和呋喃类化合物呈下降趋势, 表明发酵豆乳的异味可能主要来自于醇、醛和呋喃类。同时对随着基质牛乳添加量增加而下降的21种风味物质, 结合呈味特征、阈值、相对含量以及变化趋势, 并与发酵豆乳感官评价进行分析比较, 对发酵豆乳异味贡献较大的成分主要为1-辛烯-3-醇、正己醇、2-庚烯醛和2,4-癸二烯醛。

关键词: 乳酸菌; 发酵; 豆乳; 牛乳; 风味

Influence of Milk Content on Flavor Compounds in Fermented Soymilk

XU Yin, HUANG Yu-jun, CHEN Xia, LU Mao-lin, GU Rui-xia*

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Dairy Biotechnology and Safety Control, College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: To explore the main flavor compounds responsible for the unpleasant odor of fermented soymilk, the volatile flavor components of fermented soymilks prepared from substrates containing different proportions (100:0, 70:30, 50:50, 30:70, 10:90 and 0:100, *V/V*) of soybean slurry and reconstituted skim milk were analyzed by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with GC-MS and sensory evaluation. A total of 44 volatile compounds were identified in six different fermented soymilks, including 19 found in each sample. The consumer acceptance of fermented soymilk increased with increasing proportion of skim milk, and the contents of aldehydes, alcohols and furans presented a downward trend. This observation suggests that the unpleasant odor of fermented soymilk may be caused by these compounds. The contents of 21 flavor compounds showed a declining trend as the skim milk rose. Based on flavoring characteristics, thresholds and comparative sensory evaluation of fermented soymilks, the main compounds contributing to the unpleasant odor were 1-octen-3-ol, hexanol, 2-heptenal and 2,4-decadienal.

Key words: lactic acid bacteria; fermentation; soymilk; milk; flavor

中图分类号: TS252.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)04-0001-05

大豆是我国主要的植物性蛋白质资源, 豆乳不仅在营养和功能性成分方面可与牛乳相媲美, 还具有防止动脉硬化等功效^[1]且不含胆固醇和乳糖。发酵豆乳集豆乳的营养与乳酸菌的益生作用于一体, 能分解大豆中抗营养因子^[2], 由于乳酸菌的发酵不仅赋予了发酵豆乳复杂的风味成分, 同时能将大豆中的大分子物质如蛋白质、脂肪等加以分解, 提高其消化吸收性能, 并能代谢产生许多功能性成分^[3-4]。然而豆乳的组成成分及含量与牛乳差异性较大, 也导致了发酵豆乳产品与发酵牛乳在风味感官上截然不同, 发酵豆乳风味不佳, 从而制约了发酵豆乳

产品的生产与消费^[2]。

近年来, 发酵豆乳的风味受到了许多人的关注, 但纵观国内外的研究现状, 多数研究者对发酵豆乳风味的研究主要集中在产品风味质量的感官评定^[5]、豆乳发酵前后风味物质的比较^[6-7]、发酵豆乳与发酵乳风味物质的差异^[8], 以及外源添加一些风味剂、添加剂对发酵豆乳风味的影响^[9]等, 这些研究及方法有助于进一步研究及改善发酵豆乳的风味。本实验采用顶空固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)富集结合气相色谱-质谱联用(gas chromatograph-mass spectrometer, GC-

收稿日期: 2011-11-26

基金项目: 国家“863”计划项目(2007AA10Z357); 江苏省科技支撑计划项目(BE2011383);

江苏高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省研究生教育创新工程项目

作者简介: 徐寅(1986—), 女, 硕士研究生, 主要从事乳品研究。E-mail: xuyin111587@163.com

*通信作者: 顾瑞霞(1963—), 男, 教授, 博士, 主要从事乳酸菌及其发酵乳制品研究。E-mail: rxgu@yzu.edu.cn

MS)技术研究不同牛乳含量发酵豆乳风味成分,并与发酵豆乳感官特性作对比,探讨挥发性风味成分的变化规律和影响发酵豆乳风味的主要成分,以期为深入分析发酵豆乳异味物质及其产生机制,为定向调控风味特性良好的发酵豆乳生产,开发满足消费者感官需求的发酵豆乳制品提供一定的参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

大豆(产地东北) 市售;全脂乳粉 新西兰威士兰乳业公司;嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)grx90 扬州大学乳品研究所保藏;NaHCO₃、NaOH等均为国产分析纯试剂。

1.2 仪器与设备

FDM-Z100型自分离大豆磨浆机 江苏镇江大港晶久机械厂;FE20 pH计 梅特勒-托利多仪器有限公司;SZF-06脂肪测定仪、KDN-04A定氮仪 杭州托普仪器有限公司;HH-6数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;SPX-250B型生化培养箱 上海跃进医疗器械厂;SPME手动进样器、75μm CAR/PDMS萃取纤维头 美国Supelco公司;Trace DSQ气相色谱-质谱联用仪 美国Thermo公司。

1.3 方法

1.3.1 发酵剂菌种的制备

将冻干的*S. thermophilus* grx90于灭菌脱脂乳中,42℃培养活化3代备用。

1.3.2 发酵豆乳制备工艺流程

精选大豆→浸泡(2.5g/L NaHCO₃溶液浸泡14h)→清洗、热烫→磨浆(85℃热水1:8磨)→过滤→按不同比例将牛乳与豆乳混合→加入蔗糖(6%)→均质(20MPa)→热处理(90~95℃/15min)→冷却(42℃)→接种(3%发酵剂)→发酵(42℃、5h)→冷藏(4℃)

1.3.3 发酵豆乳理化指标分析

脂肪:采用索氏抽提法,按GB 5413.3—2010《婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定》测定^[10];蛋白质:采用凯氏定氮法,按GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》测定^[11];pH值:采用精密pH计测定;酸度:采用0.1mol/L NaOH标准溶液滴定;总固体物测定采用100℃烘箱干燥2h。

1.3.4 发酵豆乳风味成分检测

按参考文献[12-13]进行检测,并略作修改。将首次使用的固相微萃取头在气相色谱进样口,250℃老化1h,直至无色谱峰出现、基线稳定为止。吸取10.0mL样品放入15mL顶空瓶中,在45℃水浴中平衡20min,将已老化好的萃取头插入样品瓶中,45℃萃取40min,然后将萃取头拔出顶空瓶并迅速插入GC-MS进样口,于250℃解吸

1min,同时启动仪器采集数据。

GC条件:色谱柱柱型:DB-WAX(30m×0.25mm,0.25μm);进样口温度250℃;采用程序升温方式:起始温度35℃,保留3min,以5℃/min升至200℃,再以10℃/min升至230℃,保持10min;载气(He)流速0.80mL/min;不分流进样。MS条件:电子电离(electron ionization, EI)源,电离能70eV,离子源温度200℃,发射电流200μA,检测电压350kV,质量扫描范围35~400u。

1.3.5 化合物定性定量方法

通过对各组分计算机检索,并与NIST质谱库提供的标准质谱图对照,报道匹配度最大的结果,通过峰面积归一化法得到每种挥发性风味物质相对含量(挥发性物质的峰面积/总挥发性风味物质的峰面积, %),测试样品重复实验1次,取平均值作为各风味物质相对含量。

1.3.6 发酵豆乳感官评价

由10位具有一定专业知识且品尝经验丰富的人对发酵豆乳产品进行感官评分,以发酵牛乳为对照,采用10分制将产品分为三等级,感官评定标准见表1。

表1 发酵豆乳感官评分标准

等级	组织状态(3分)	色泽(1分)	滋味(4分)	风味(2分)
+++	无乳析出,凝乳均匀,无分层2.5~3分	乳白或浅黄色,均匀一致0.8~1分	酸甜适口,口感细腻,滋味柔和3.5~4分	有大豆清香气味和奶香味1.6~2分
++	乳析出较少,凝乳较均匀1.5~2.4分	色泽偏黄0.5~0.7分	偏甜或偏酸,滋味不柔和2.5~3.4分	发酵风味稍淡,无异味1.2~1.5分
+	乳析出较多,凝乳不均匀,有分层<1.5分	色泽不均<0.5分	过酸或过甜,口感粗糙,难以接受<2.5分	发酵豆味较重,难以接受<1.2分

1.3.7 统计分析

除挥发性风味物质的测定外,其余每组试验均重复3次,结果表示为“平均值±标准偏差”。数据统计分析使用SPSS 17.0软件中单因素ANOVA进行,差异显著性($P < 0.05$)分析使用Tukey程序。

2 结果与分析

2.1 不同基质发酵乳特性分析

对不同牛乳含量的豆乳接种3% *S. thermophilus* grx90发酵剂,于42℃发酵5h,以发酵牛乳为对照进行分析测定,结果如表2所示。

从表2可以看出,豆乳中蛋白质含量与牛乳相当,但其脂肪含量较低,在豆乳发酵过程中添加不同量的牛乳对发酵特性产生一定影响,特别是酸度,由于豆乳中缺少乳酸菌生长所需的碳源(乳糖),不能使乳酸菌很好的生长繁殖,因此也不能产生大量而足够的乳酸,导致发酵纯豆乳酸度较低,但当豆乳:牛乳比例达到3:7时,与发酵牛乳酸度无显著性差异。

表 2 不同基质发酵混合乳特性分析($\bar{x} \pm s, n=3$)
Table 2 Effect of milk content on physicochemical properties and sensory quality of fermented soymilk ($\bar{x} \pm s, n=3$)

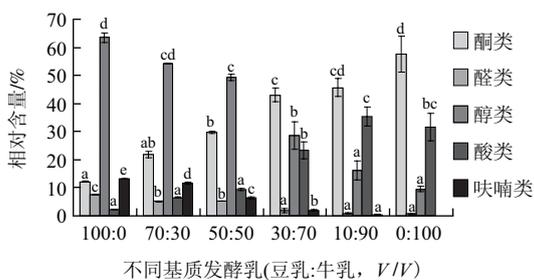
测定指标	豆乳:牛乳(V/V)					
	100:0	70:30	50:50	30:70	10:90	0:100
脂肪含量/(g/100g)	1.86±0.01 ^a	2.26±0.02 ^b	2.65±0.01 ^c	2.86±0.03 ^d	3.07±0.01 ^e	3.20±0.05 ^f
蛋白质含量/(g/100g)	2.86±0.04 ^a	2.87±0.03 ^a	2.89±0.01 ^a	2.89±0.07 ^a	2.90±0.02 ^a	2.91±0.01 ^a
总固形物含量/(g/100g)	16.88±0.11 ^a	16.97±0.04 ^a	17.01±0.12 ^a	17.34±0.07 ^b	17.45±0.08 ^b	17.51±0.04 ^b
酸度/°T	42±1 ^a	50±2 ^b	54±2 ^c	60±3 ^d	63±3 ^d	65±2 ^d
pH	4.58±0.01 ^a	4.55±0.02 ^{ab}	4.55±0.03 ^{ab}	4.51±0.02 ^b	4.45±0.02 ^c	4.41±0.02 ^d
感官评价	+	++	++	+++	+++	+++

注：同行数据肩标不同字母表示显著差异($P < 0.05$)。

感官评价表明，添加一定牛乳的发酵混合乳无论是在组织状态、色泽还是在风味方面都要优于发酵纯豆乳，而且口感上发酵混合乳较为细腻柔和，且随着牛乳比例增加，发酵混合乳口感也接近发酵牛乳。在组织状态方面，发酵纯豆乳凝乳较快，凝块表面光滑、质地均匀，但凝块易碎，发酵混合乳的凝乳结构优于发酵纯豆乳。风味方面比较可知，发酵纯豆乳表现出较为刺激的风味，可接受性较差，而添加一定量牛乳的发酵混合乳呈现出发酵牛乳淡淡的奶香及柔和的酸甜感，可接受性逐步提高。

2.2 不同基质发酵乳各类挥发性风味成分变化

不同基质发酵乳的挥发性风味成分主要集中在醇类、酮类、醛类和酸类，还有少量呋喃类等其他物质，如图1所示。



不同基质发酵乳(豆乳:牛乳, V/V)

同一类物质(同种柱子)标注不同字母表示数据存在显著差异($P < 0.05$)。

图 1 不同基质发酵乳各类风味成分的相对含量

Fig.1 Effect of milk content on the contents of different classes of volatile flavor compounds in fermented soymilk

对不同基质发酵乳的挥发性风味物质种类分析(图1)发现，发酵纯豆乳中，醇类所占比例最大，相对含量为63.46%，其次是呋喃类13.15%、酮类12.19%、醛类7.56%和酸类2.29%。发酵牛乳中，酮类所占比例最大，相对含量为57.52%，其次是酸类31.58%，醇类9.53%，醛类0.71%以及少量的含硫化合物、烃类等。

从图1可以看出，随着基质牛乳比例提高，发酵豆乳中醇类、醛类、呋喃类化合物呈下降趋势，而酮类、

酸类化合物呈上升趋势。与感官特性比较发现，随着牛乳比例升高，发酵混合乳感官特性得到改善，表明发酵混合乳良好风味物质可能主要来自于酮类；而发酵豆乳的异味可能主要来自于醇类、醛类、呋喃类化合物。对醇类、醛类、呋喃类化合物变化与发酵混合乳风味进一步对比分析发现，尤其当豆乳与牛乳比例达到3:7时，发酵混合乳感官特性明显得到改善，而在此比例下，醇类、醛类、呋喃类化合物含量分别为28.47%、1.76%和2.03%，其相对含量分别是发酵纯豆乳的44.86%、23.28%和15.44%，醇类和醛类化合物是发酵牛乳的2.99倍和2.48倍，呋喃类化合物在发酵牛乳中已消失。可见随着基质中牛乳比例提高，发酵混合乳中醇、醛和呋喃类化合物下降显著($P < 0.05$)，表明发酵豆乳异味主要来自于醇类、醛类和(或)呋喃类化合物。

2.3 不同基质发酵乳挥发性风味成分分析

豆乳及6种不同基质发酵乳样经HS-SPME-GC-MS分析，主要风味成分的相对含量及其变化趋势如表3所示。

从表3可以看出，不同基质发酵乳共检测出44种风味成分，其中有19种共有风味成分。发酵豆乳中随着牛乳比例增加而下降或消失的风味物质有21种，其中有4种风味物质是豆乳发酵后新产生的，在这些风味物质中，按呈味特征可分为三类，一类是具有奶香、果香、花香等愉悦香气的物质，包括2,3-戊二酮、2-辛烯醛、1-庚醇、2-乙基呋喃、2-壬烯醛和1-壬醇；一类是具有青草、酸败等刺激性气味的物质，包括正己醛、正己醇、2-己烯醛、2-庚烯醛、2,4-癸二烯醛、1-辛烯-3-醇、1-辛醇和2-戊基呋喃；此外是一些无特征风味或者呈味不明显的物质，包括1-辛烯-3-酮、3-辛烯-2-酮、己二烯、3-辛醇、2-庚烯-1-醇、2-辛烯-1-醇和1,2-庚二醇。

根据化合物的呈味特性，同时结合呈味阈值以及在发酵豆乳中的含量及其相对变化分析，正己醛含量较高时，呈现较为刺激的酸败味，在含量较低时呈现青草味，然而其仅在发酵纯豆乳中检出有0.18%，在添加牛乳的发酵混合乳中未检出，而通过感官评价发现添加30%牛乳的发酵混合乳并未得到显著改善，仍具有发酵豆乳的异味；1-辛醇尽管具有刺激性气味，然而其在发酵豆乳中含量仅在1%左右，且阈值也较高为0.11mg/kg；2-戊基呋喃被认为是亚油酸的一种氧化产物，具有豆味、泥土、青草及类似蔬菜的香韵，其含量在发酵豆乳中较未发酵前下降了；2-己烯醛呈鲜草的青香和醛香，香气强烈而尖锐，然而在利用不同微生物发酵后，未检出2-己烯醛的发酵豆乳感官风味并未得到改善，因此推测正己醛、1-辛醇、2-戊基呋喃和2-己烯醛等这些物质可能对发酵豆乳异味贡献并不大。相反如1-辛烯-3-醇，它呈现蘑菇、青草的青气，阈值较低，为0.001mg/kg，且相对含量高，在发酵纯豆乳中占21.55%，可能是异味的主要风

味成分;正己醇呈浓郁的青草味,它是以豆乳为主要基质的发酵混合乳中相对含量检出最大的,可能对发酵豆乳异味具有一定贡献;再如2-庚烯醛,它是醛类物质中含量最大的,阈值较低,呈青草和油脂气味,且是豆乳发酵后新产生的物质,可能对发酵豆乳异味具有一定贡献;2,4-癸二烯醛是醛类物质中含量较大的,具有重脂肪味,且呈味阈值较低,并在添加70%牛乳的发酵混合乳中仅检出0.16%。综上,推断对发酵豆乳异味起主要贡献的是1-辛烯-3-醇、正己醇、2-庚烯醛和2,4-癸二烯醛中某一种或是其共同作用。

表3 不同基质发酵乳风味成分的相对含量
Table 3 Volatile compounds and their relative contents detected in fermented soymilks prepared with different proportions of soybean slurry and reconstituted skim milk %

保留时间/min	化合物	豆乳	豆乳:牛乳(1/1)					趋势	
			100:0	70:30	50:50	30:70	10:90		0:100
4.95	2-乙基呋喃	0.43	0.99	0.87	0.05	—	—	—	↓
5.44	2,3-丁二酮	—	4.34	7.86	8.94	9.08	9.56	10.58	↑
7.41	2,3-戊二酮	—	3.68	3.51	7.64	6.25	2.56	1.49	↑↓
7.95	正己醛	35.79	0.18	—	—	—	—	—	—
10.81	2-庚酮	—	1.32	4.95	5.65	12.81	14.69	23.02	↑↑
10.88	庚醛	2.60	—	—	—	—	—	—	—
11.75	2-己烯醛	0.34	0.49	0.16	0.17	0.09	—	—	↓
12.2	2-戊基呋喃	14.28	12.16	10.81	6.32	2.03	0.34	—	↓↓
12.84	1-戊醇	1.82	2.24	2.31	2.28	2.05	1.41	2.26	—
13.64	3-羟基-2-丁酮	—	1.72	2.33	3.87	9.56	12.29	13.10	↑
13.78	辛醛	1.08	—	—	—	—	—	—	—
14.15	1-辛烯-3-醇	0.57	0.64	0.56	0.60	0.21	—	—	↓
14.72	2-庚烯醛	—	2.31	1.56	1.81	0.23	—	—	↓
14.75	2,3-辛二酮	3.88	—	—	—	—	—	—	—
15.21	2-甲基-3-戊醇	—	—	0.24	0.85	0.72	0.66	0.61	—
15.68	正己醇	9.37	29.56	25.44	22.91	12.34	6.67	2.85	↓↓
16.5	2-壬酮	—	0.14	1.91	2.22	4.11	5.05	6.86	↑
16.6	壬醛	6.16	0.45	0.21	0.33	0.25	0.22	0.23	—
16.69	3-辛醇	0.80	0.55	0.43	0.33	0.11	—	—	↓
16.97	3-辛烯-2-酮	—	0.17	0.12	0.18	0.05	—	—	↓
17.18	己二烯	0.36	0.21	0.06	0.03	—	—	—	↓
17.52	2-辛烯醛	1.11	1.24	0.93	0.83	0.11	0.05	—	↓
18.13	1-辛烯-3-醇	17.11	21.55	18.35	16.14	8.69	3.11	—	↓↓
18.2	乙酸	—	—	—	—	—	—	0.80	—
18.29	1-庚醇	0.49	2.56	2.00	2.30	1.03	0.96	0.98	↓
19.13	2,4-庚二烯醛	0.17	0.12	0.11	0.17	0.07	—	—	—
19.3	癸醛	0.22	—	—	—	—	—	—	—
19.66	2-庚烯-1-醇	0.02	0.25	0.13	0.16	0.10	—	—	↓
19.78	苯甲醛	0.30	0.54	0.57	0.64	0.55	0.45	0.48	—
20.19	2-壬烯醛	0.54	0.68	0.47	0.47	0.21	0.05	—	↓
20.8	1-辛醇	0.56	1.41	1.50	1.22	1.06	0.86	0.96	↓
21.05	3,5-辛二烯-2-酮	0.08	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.25	↑
21.74	2-十一烷酮	—	0.05	0.42	0.44	0.71	0.85	1.57	↑
22.09	2-辛烯-1-醇	0.21	0.38	0.34	0.20	0.06	—	—	↓
22.47	丁酸	—	—	0.38	0.81	1.91	4.90	2.93	↑
22.77	2-癸烯醛	0.14	0.26	0.17	0.15	0.09	—	—	↓
22.84	1,2-庚二醇	—	0.35	0.26	0.22	0.10	—	—	↓
23.2	1-壬醇	0.35	4.61	3.25	2.57	2.21	2.50	1.87	↓
24.02	2,4-壬二烯醛	0.10	0.13	0.05	0.04	—	—	—	—
24.16	3-乙基苯甲醛	0.14	0.17	0.03	0.01	—	—	—	—
26.43	2,4-癸二烯醛	0.82	0.99	0.83	0.72	0.16	—	—	↓
27.32	己酸	0.13	1.78	3.46	4.73	10.25	14.98	12.73	↑
29.55	庚酸	—	0.05	0.1	0.06	0.05	0.05	0.08	↑
31.66	辛酸	—	0.38	1.94	3.04	8.89	12.06	10.77	↑
33.69	壬酸	—	0.04	0.16	0.09	0.11	0.01	0.10	↑
34.14	吡喃酮	—	—	—	0.05	0.12	0.46	0.65	↑
35.61	癸酸	—	0.04	0.47	0.74	2.11	3.31	3.98	↑
36.64	癸烯醛	—	—	—	—	0.06	0.10	0.19	↑

注:相对含量为两次实验的平均值;“↑”、“↓”分别表示化合物含量随牛乳比例增加而增加或下降,“↑↑”、“↓↓”分别表示化合物含量随牛乳比例增加而明显增加或下降。

3 讨论

采用HS-SPME-GC-MS对豆乳及不同基质发酵乳的挥发性风味成分分析测定发现,发酵豆乳的风味十分复杂,它集豆乳本身、乳酸菌代谢产物以及加工过程引起的风味变化于一体。风味化合物的种类、含量、阈值以及相互作用,决定了不同基质发酵乳的风味和特征^[4]。风味感官实验表明,豆乳在发酵前后的差异较为明显,尽管大豆具有不同程度的豆腥味,但目前豆乳食用相当广泛,大多数人可以接受。而发酵豆乳产品仅在欧美及日本占有一定的市场份额,在国内发酵豆乳并未受到人们青睐,市场仍然非常有限^[4]。同时,对挥发性风味成分测定结果也可以看出被大多数研究及报道普遍认定的大豆“豆腥味”的主要成分正己醛、2-戊基呋喃等^[15-16],其含量在发酵豆乳中有所下降,并且正己醛含量从发酵前的35.79%减少到0.18%($P<0.05$),本研究结果表明发酵豆乳的异味可能并不主要来自于“豆腥味”。

乳酸菌在发酵豆乳中的代谢途径较为复杂,它能够对豆乳中一些物质起到代谢分解的作用。有研究表明乳杆菌或链球菌发酵豆乳可以显著降低正己醛的含量^[6],本实验也证实了嗜热链球菌grx90发酵豆乳显著降低了正己醛的含量,并且添加一定量的牛乳有助于乳酸菌对其完全代谢。乳酸菌的发酵还促进了豆乳中一些风味物质的形成,并且不同乳基质对乳酸菌代谢产生的风味物质的含量和种类具有一定影响。如在发酵乳制品的滋味与香味中被认为起重要作用的化合物乙醛和双乙酰^[14],是乳酸菌的主要风味代谢物质,2,3-丁二酮在发酵纯豆乳中含量较低,仅为4.34%,在添加30%牛乳的发酵混合乳中为7.86%,而在发酵牛乳中达到10.58%,可见牛乳的添加能够进一步促进和提高香气成分2,3-丁二酮的含量。而乙醛在本实验中未被检测到,分析原因可能是由于嗜热链球菌发酵乳中没有足够的乙醛浓度,而乙醛的最主要来源是由德士乳杆菌保加利亚亚种分泌的苏氨酸醛缩酶催化苏氨酸合成,亦或是乙醛参与了一些醛醇缩合反应生成了其他物质^[17]。然而乳酸菌代谢产物并不是都随着牛乳比例的增加而增加,如2,3-戊二酮随着牛乳比例的增加呈先上升后下降趋势,在发酵纯豆乳中含量为3.68%,在添加50%牛乳的发酵混合乳中达到最高,为7.64%,而在发酵牛乳中仅为1.49%。

通过本研究表明,发酵豆乳中风味化合物的呈味特征是极其复杂的,因此不能单纯用某一种风味物质来形容发酵豆乳的风味,但将研究集中在具有特征气味且感官阈值较低的主要风味物质也不失为一种研究手段,并进一步通过感官评价或气相色谱-嗅觉测量法技术与GC-MS、液相色谱-质谱联用结合的方法为发酵豆乳的风味质量提供更有利的数据支撑,从而通过筛选发酵微生物、调控乳酸菌的代谢途径或是外源添加一些成分等手



段, 提高发酵豆乳的可接受性, 为高品质发酵豆乳制品的开发提供参考依据。

参考文献:

- [1] 田秀红, 孙丽慧, 闫峰, 等. 大豆的功能性及保健品开发[J]. 中国酿造, 2008, 187(10): 72-75.
- [2] 董喜梅, 包艳, 张勇, 等. 国内外发酵豆乳研究发展现状[J]. 大豆科学, 2010, 29(5): 883-887.
- [3] 张丹, 郑遂, 姜瞻梅, 等. 大豆发酵食品的展望[J]. 现代食品科技, 2006, 22(2): 278-281.
- [4] 彭艳, 赵谋明. 大豆蛋白替代牛奶发酵的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(2): 86-90.
- [5] 李理, 闵建. 应用益生菌发酵生产酸豆乳的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(10): 68-72.
- [6] BLAGDEN T D, GILLILAND S E. Reduction of levels of volatile components associated with the "beany" flavor in soymilk by *Lactobacilli* and *Streptococci*[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(3): 186-189.
- [7] HOU Jen wan, YU Rochchui, CHOU Chengchun. Changes in some components of soymilk during fermentation with *Bifidobacteria*[J]. Food Research International, 2000, 33(5): 393-397.
- [8] 李锋, 华欲飞. 大豆酸奶的风味物质研究[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(12): 19-22.
- [9] 赵宇星. 发酵型酸豆乳饮料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- [10] GB 5413.3—2010 婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定[S].
- [11] GB 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S].
- [12] 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.
- [13] 葛武鹏, 李元瑞, 陈瑛, 等. 牛羊奶酸奶挥发性风味物质固相微萃取 GC/MS 分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 64-69.
- [14] 李延华, 王伟军, 张兰威, 等. 发酵乳中风味物质的研究进展[J]. 中国酿造, 2008(14): 8-10.
- [15] ACHOURI A, BOYE J I, ZAMANI Y. Identification of volatile compounds in soy milk using solid-phase microextraction-gas chromatography[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 759-766.
- [16] ACHOURI A, BOYE J I, ZAMANI Y. Soybean variety and storage effects on soymilk flavour and quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(1): 82-90.
- [17] 王伟君, 李延华, 张兰威, 等. SDE-GC-MS法测定发酵乳中风味物质[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 332-334.