

脂肪和蛋白质含量对稀奶油-乳清发酵液的影响

林伟锋¹, 周艳¹, 鲍志宁², 夏枫耿²

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (2. 广州市微生物研究所, 广东广州 510663)

摘要: 本文研究了不同脂肪含量(7%、14%和21%)和蛋白质含量(2.3%和4.6%)对稀奶油-乳清发酵液的影响, 研究新型风味发酵体系组成和发酵特性之间的关系。测定在发酵过程中活菌数、酸度和pH的变化, 利用顶空-固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析发酵60h后发酵液中挥发性风味物质, 并对其进行感官评定。结果发现: 蛋白质含量较低时, 脂肪含量增加对乳酸菌增殖和pH值无影响, 蛋白质含量较高时, 脂肪含量增加抑制乳酸菌增殖和pH值下降; 脂肪含量增加促进产香和挥发性风味物质增加, 抑制菌种产酸。蛋白质含量增加促进乳酸菌增殖和挥发性风味物质明显增加, 使pH值下降减缓; 脂肪含量较低时, 蛋白质含量增加促进产酸, 脂肪含量较高时, 抑制产酸。发酵60h后, 体系中主要挥发性风味物质有乙酸、丁酸、2,3-丁二酮和3-羟基-2-丁酮。通过感官评定, 14%脂肪和4.6%蛋白质的发酵液具有最佳的组织状态以及最强的特征性酸奶风味。

关键词: 发酵液; 脂肪; 蛋白质; 发酵动力学; 风味

文章编号: 1673-9078(2017)9-195-201

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.9.029

Effects of Fat and Protein Content on Cream-Whey Fermentation Liquid

LIN Wei-feng¹, ZHOU Yan¹, BAO Zhi-ning², XIA Feng-geng²

(1. School of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangzhou Microbiology Research Institute, Guangzhou 510663, China)

Abstract: The effects of different fat content (7%, 14%, and 21%) and protein content (2.3% and 4.6%) on cream-whey fermentation liquid and the relationship between the composition of new flavor fermentation systems and fermentation characteristics were studied. Changes in the number of viable bacterial cells, titratable acidity, and pH value during the fermentation process were measured. The volatile flavor components were extracted using headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) after fermentation for 60 h, and evaluated by sensory tests. The results showed that the increase in fat content had no influence on the proliferation of lactic acid bacteria or on the pH value at low protein levels, but suppressed the proliferation of lactic acid bacteria and prevented the decline in pH at high protein levels. In addition, increased fat content promoted the production of flavor and volatile compounds and inhibited the production of acids by the bacteria. Increased protein content promoted the proliferation of lactic acid bacteria, significantly increased the content of volatile flavor components, and slowed the decline in pH values. Moreover, increased protein content promoted the production of acids at low fat levels, but inhibited the production of acids at high fat levels. After 60 h of fermentation, the main volatile compounds in the system were acetic acid, butyric acid, 2,3-butanedione, and 3-hydroxy-2-butanone. The sensory evaluation showed that the mixed fermentation liquid with 14.0% fat and 4.6% protein had the best structural state and the strongest yoghurt flavor.

Key words: fermentation liquid; fats; proteins; fermentation dynamics; flavor

稀奶油是生产脱脂牛奶的副产品, 含有较高的脂肪含量, 可作为呈味物质应用于蛋糕和面包等烘焙食品中, 赋予食品奶油味。在生产上利用乳酸菌发酵或脂肪酶水解等技术对稀奶油中的乳脂进行酶解, 可以得到不同香气特征的风味物质, 进而达到增香的目的^[1,2]。通过发酵或酶解的稀奶油香气浓郁, 应用于烘焙

收稿日期: 2017-03-20

基金项目: 广州市产学研协同创新重大专项产学研协同创新联盟专题(201604046011)

作者简介: 林伟锋(1970-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 鲍志宁(1983-), 女, 博士, 工程师, 研究方向: 食品生物技术

食品中能明显提高产品品质。乳清是生产干酪和干酪素的副产品, 具有很高的营养价值和良好的功能性, 可用于提高乳制品、烘焙食品和甜点等的营养价值^[3], 也可利用其良好的起泡性和乳化性作为配料应用于食品工业中^[4]。经过乳酸菌或酵母发酵的乳清多应用于饮料生产, 可赋予饮料清爽的口感和酸奶风味。马玲等利用干酪乳杆菌和瑞士乳杆菌对乳清进行发酵, 生产发酵乳清饮料^[5], 李宇辉用乳酸菌和酵母对乳清进行混合发酵, 制备成一种新型营养保健乳清饮料^[6]。

关于脂肪对发酵稀奶油和蛋白质对发酵乳清影响的相关研究很少。乳脂口感香滑, 风味浓郁, 孙颜君

研究了不同脂肪含量的稀奶油对马斯卡彭干酪感官品质和质地等的影响,发现添加40%脂肪的干酪硬度,涂抹性等都达到最大值,风味较佳^[7]。浓缩乳清蛋白具有很强的持水性,能够减少乳清析出,孙亚婷研究了发酵前后不同替代比例的聚合乳清浓缩蛋白对发酵乳饮料稳定性的影响,发现比例增加后形成的网状结构更紧密^[8]。在酸乳发酵前添加浓缩乳清蛋白可使酸乳风味极佳^[9]。

在本研究中,稀奶油-乳清发酵液是一种新型风味发酵体系,具有发酵稀奶油和发酵乳清特有的风味,可应用于烘焙食品中起到增香和提高营养价值的作用。本文利用瑞士乳杆菌和副干酪乳杆菌发酵制备不同脂肪和蛋白质含量的稀奶油-乳清发酵液,测定发酵液在发酵过程中发酵动力学(活菌数、酸度和pH)的变化,检测分析发酵60 h后发酵液中挥发性风味物质,并进行感官评定,分析风味剖面图,研究不同脂肪和蛋白质含量对稀奶油-乳清发酵液的影响,优化发酵体系中的成分组成。

1 材料与方法

表1 稀奶油-乳清发酵液的配方

Table 1 Recipe for cream-whey fermentation liquid

成分	T1	T2	T3	T4	T5	T6
蛋白质/%	2.30	2.30	2.30	4.60	4.60	4.60
脂肪/%	7.00	14.00	21.00	7.00	14.00	21.00

通过添加不同比例的稀奶油和浓缩乳清制备T1~T6这6种不同脂肪和蛋白质含量的稀奶油-乳清发酵液,T1~T6的脂肪和蛋白质含量如表1所示:

1.2.2 稀奶油-乳清发酵液的制备工艺

稀奶油和浓缩乳清混合均匀→水化(55℃,15 min)→均质(75℃,20 MPa)→灭菌(90℃,5 min)→冷却至40℃→接种(接种量为 3×10^6 CFU/mL,LH-B02:L.CASEI-01=1:1)→发酵(37℃,60 h)。

1.3 稀奶油-乳清发酵液发酵动力学参数的测定

活菌数的测定参考文献^[10];滴定酸度用电位滴定法测定^[11];pH用pHS-25型酸度计测定^[12]。

1.4 挥发性风味物质的测定

1.4.1 挥发性风味物质的萃取

取5 g加入20 mL顶空瓶中,在60℃下保温平衡20 min,再萃取40 min^[13],最后在250℃下解析3 min。样品萃取结束后萃取头应在270℃下老化10 min,以

1.1 主要试剂和仪器

稀奶油(脂肪42%,蛋白质1.4%)和浓缩乳清(蛋白质6.9%,乳糖37.5%,盐0.8%),广州市焙杰食品有限公司;瑞士乳杆菌(*Lactobacillus helveticus*, LH-B02)和副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracasei*, nu-trish@L.CASEI-01),科汉森(中国)有限公司,活菌数分别是 1.7×10^{10} CFU/g和 1.6×10^{11} CFU/g;其他试剂均为分析纯。

均质机APC-2000,德国APV设备公司;pHS-25数显pH计,上海精密仪器有限公司;SW-CJ-ECU超净工作台,苏州净化设备有限公司;DGX-9243B-2恒温培养箱,上海福玛实验设备有限公司;固相微萃取头(75 μm CAR/PDMS),美国色谱科技公司;气相色谱-质谱联用仪,DSQ II,美国Thermo公司;三合一自动进样器,澳大利亚SGE公司。

1.2 稀奶油-乳清发酵液的制备

1.2.1 稀奶油-乳清发酵液的配方

防止样品间相互污染^[14]。

1.4.2 GC-MS的分析条件

GC条件:样品分离利用TG-5 ms弹性石英毛细色谱柱(30 m×0.25 μm×0.25 μm);程序升温条件参考文献^[15];载气为高纯氦气(1.0 mL/min);分流比为10:1。

MS条件:离子源温度是为250℃,其余参数参考文献^[14]。

1.4.3 挥发性风味物质的定性和定量

定性:使用Xcalibur软件(版本2.0)(Thermo Finnigan)进行分析处理,再根据NIST08数据库和Varian libraries进行对比确定挥发性风味物质(忽略正向检索SI或反向检索RSI小于750的物质)。

定量:挥发性风味物质以区域单位(AU×10⁵)进行定量。

1.5 感官评定

1.5.1 组织状态感官评定

评定小组为10人,对发酵60 h后T1~T6样品的组织状态进行评定。

1.5.2 风味感官评定

将 T1~T6 样品（发酵 60 h）完全解冻至室温后取 5.00 g 左右于样品瓶中进行风味感官评定。评定小组为 10 人，采用 6 分定义标度方法对发酵液的奶香味、酸味、奶油味和酸奶味分别进行强度评定，绘制风味剖面图。

1.6 数据处理与统计分析方法

用 origin 9.0 软件对数据进行处理和图表的绘制，并采用 spss 19 的单向方差分析来统计分析 T1、T2、T4 和 T5 样品中挥发性风味物质的显著性差异 ($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 脂肪和蛋白质含量对稀奶油-乳清发酵液

发酵特性的影响

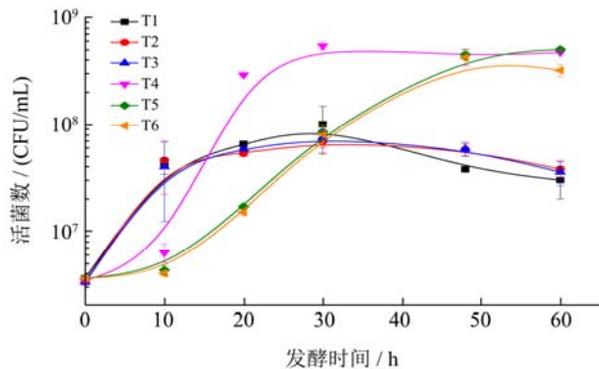


图 1 脂肪和蛋白质含量对稀奶油-乳清发酵液活菌数对数值的影响

Fig.1 Effects of fat and protein content on the logarithm of the number of viable cells in cream-whey fermentation liquid

如图 1 所示，在蛋白质含量一致，脂肪含量增加的情况下：低蛋白质含量（2.3%）的 T1、T2 和 T3 在发酵过程中乳酸菌活菌数变化趋势基本一致；在发酵 0~30 h 之间，三者的活菌数对数值呈上升趋势，上升速度逐渐减缓，但在发酵 30 h 之后呈缓慢下降趋势；这是因为发酵 30 h 之后 T1、T2 和 T3 的 pH 值过低（如图 2），乳酸菌不能够保持细胞内 pH 的稳定，生长停滞直至死亡^[16]。高蛋白质含量（4.6%）的 T4、T5 和 T6 在发酵过程中乳酸菌活菌数的变化趋势明显不同；T4 在发酵 0~30 h 之间乳酸菌处于生长期，活菌数对数值不断上升，在 30 h 时达到最高，之后保持稳定；T5 和 T6 的活菌数对数值一直持续上升，T5 的活菌数高于 T6，在 60 h 后 T5 的活菌数上升到最高，但 T6

的活菌数呈下降的趋势。综上表明蛋白质含量较低时，脂肪含量增加对乳酸菌增殖无影响；蛋白质含量较高时，脂肪含量增加对乳酸菌增殖有抑制作用。在脂肪含量一致，蛋白质含量增加的情况下：对比 T1 和 T4、T2 和 T5 以及 T3 和 T6 的活菌数可知高蛋白质含量有利于乳酸菌的增殖。

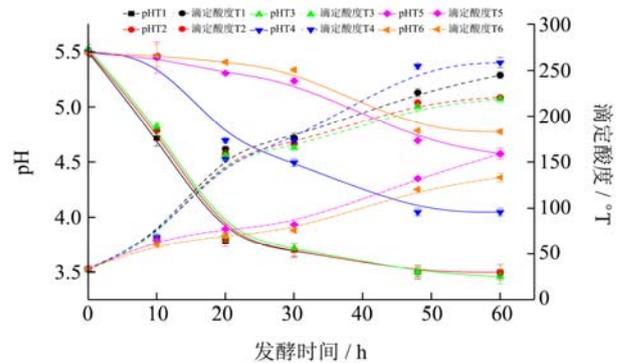


图 2 脂肪和蛋白质含量对稀奶油-乳清发酵液滴定酸度和 pH 的影响

Fig.2 Effects of fat and protein content on the titratable acidity and pH value

由图 2 可知，在蛋白质含量一致，脂肪含量增加的情况下：低蛋白质含量（2.3%）的 T1、T2 和 T3 在发酵过程中滴定酸度的上升速度基本一致；三者的活菌数基本无差异（见图 1），但 T1~T3 的滴定酸度略有下降，说明 T1~T3 的乳酸菌产酸量减少与活菌数下降无关，可能是因为发酵液中发酵产香和发酵产酸存在竞争代谢关系。脂肪含量增加，乳酸菌发酵产香代谢增强，发酵产酸代谢减弱。T1、T2 和 T3 在发酵过程中 pH 值变化一致，三者的 pH 值下降速度最快。

高蛋白质含量（4.6%）的 T4、T5 和 T6 在发酵过程中滴定酸度的上升速度明显不同，T4 的滴定酸度迅速上升，T5 和 T6 的滴定酸度上升缓慢。T4 的滴定酸度远高于 T5 和 T6，T5 的滴定酸度略高于 T6。这主要与活菌数有关；而脂肪含量增加，乳酸菌发酵产香代谢增强，发酵产酸代谢减弱也是原因之一。T4、T5 和 T6 在发酵过程中 pH 值变化和滴定酸度变化相对应，T4 的 pH 值下降速度较快，T5 和 T6 的 pH 值下降速度缓慢。T4 的 pH 值远低于 T5 和 T6，T5 的 pH 值略低于 T6。综上所述，蛋白质含量较低时，脂肪含量增加对 pH 值下降无影响；蛋白质含量较高时，脂肪含量增加使得 pH 值下降减缓；脂肪含量增加促进乳酸菌发酵产香，抑制乳酸菌发酵产酸。

在脂肪含量一致，蛋白质含量增加的情况下：对比 T1 和 T4 的滴定酸度可知，T4 在发酵 30 h 后滴定酸度上升速度高于 T1。对比 T2 和 T5 以及 T3 和 T6

发现 T2、T3 的滴定酸度上升速度远高于 T5、T6。综上可知脂肪含量较低时, 蛋白质含量增加有利于促进乳酸菌发酵产酸; 脂肪含量较高时, 蛋白质含量增加反而不利于乳酸菌产酸, 原因可能是较高脂肪含量干扰了乳酸菌的正常生长繁殖和代谢。蛋白质含量增加使体系中缓冲能力增强, pH 值下降减缓。

2.2 脂肪和蛋白质含量对稀奶油-乳清发酵液

挥发性风味物质的影响

测定发酵 60 h 后 T1、T2、T4 和 T5 样品的挥发性风味物质 (由于 T3 和 T6 奶油香气过浓, 掩盖了其他香气的体现, 故不考虑检测其挥发性风味物质), 结果共检出 24 种物质, 如表 2 所示, 分为羧酸类、酮类、醛类、醇类以及其他类 5 大类。其中, 羧酸类 5 种, 酮类 6 种, 醛类 5 种, 醇类 4 种, 其他类 4 种。

表 2 四种稀奶油-乳清发酵液的挥发性风味物质 (峰面积, AU $\times 10^5$)

Table 2 Volatile flavor compounds isolated from four cream-whey fermentation liquids (peak area, AU $\times 10^5$)

编号	化合物名称	T1-60 h	T2-60 h	T4-60 h	T5-60 h
羧酸类					
1	乙酸	236.89 ^d	354.65 ^c	923.45 ^b	1439.75 ^a
2	丁酸	96.77 ^d	145.67 ^c	244.52 ^b	352.73 ^a
3	己酸	38.23 ^d	64.55 ^c	95.59 ^b	128.97 ^a
4	辛酸	1.99 ^c	3.23 ^b	17.67 ^a	14.48 ^{ab}
5	苯甲酸	11.99 ^c	9.00 ^d	90.88 ^a	79.51 ^b
	总计	385.87 ^d	577.10 ^c	1372.11 ^b	2015.44 ^a
酮类					
6	丙酮	23.54 ^d	45.55 ^c	50.66 ^b	95.70 ^a
7	2,3-丁二酮	87.79 ^c	92.34 ^c	245.44 ^b	320.61 ^a
8	2-戊酮	12.90 ^c	14.55 ^c	56.64 ^b	124.50 ^a
9	3-羟基-2-丁酮	68.88 ^b	70.09 ^b	134.69 ^{ab}	148.57 ^a
10	2-庚酮	64.76 ^c	74.89 ^b	223.57 ^{ab}	244.68 ^a
11	2-壬酮	2.16 ^c	3.89 ^b	18.78 ^{ab}	22.14 ^a
	总计	260.03 ^d	301.31 ^c	729.78 ^b	956.20 ^a
醛类					
12	乙醛	0.94 ^b	0.84 ^c	2.55 ^a	2.84 ^a
13	3-甲基丁醛	1.79 ^c	1.34 ^c	14.61 ^a	6.71 ^b
14	2-甲基丁醛	1.22 ^c	1.59 ^c	3.09 ^a	2.39 ^b
15	糠醛	1.00 ^c	1.09 ^c	5.89 ^b	7.09 ^a
16	苯甲醛	1.20 ^c	1.67 ^c	5.99 ^b	7.96 ^a
	总计	6.15 ^c	6.53 ^c	32.13 ^a	26.99 ^b
醇类					
17	甲硫醇	-	-	9.26 ^a	6.82 ^b
18	乙醇	4.54 ^c	5.25 ^b	6.50 ^a	6.23 ^{ab}
19	3-甲基-3-丁烯-1-醇	9.27 ^c	23.29 ^{bc}	43.57 ^a	29.25 ^b
20	戊醇	1.52 ^b	0.52 ^c	3.43 ^a	3.52 ^a
	总计	15.33 ^d	29.06 ^c	62.76 ^a	45.82 ^b
其他类					
21	2,5-二甲基呋喃	-	-	3.43 ^a	3.07 ^a
22	柠檬烯	3.78 ^b	3.65 ^b	6.71 ^a	6.01 ^a
23	1,4-戊二烯	-	0.34 ^c	7.08 ^a	6.15 ^b
24	甲苯	10.20 ^a	10.32 ^a	4.31 ^c	5.20 ^b
	总计	13.98 ^c	14.31 ^c	21.53 ^a	20.43 ^b

注：同一行的^{a-d}不同字母表示同一行的数据具有显著性差异 (Tukey's test, $p < 0.05$)。

由表 2 可知, 检出的挥发性风味物质中, 羧酸类>酮类>醇类>醛类>其他类, 羧酸类和酮类是主要的挥发性风味物质。张红涛等萃取发酵乳酪乳清中挥发性风味物质, 并进行检测分析, 发现羧酸类和酮类物质很可能是发酵乳酪乳清的重要特征风味物质^[17]。羧酸类物质能够增加发酵乳制品的风味, 它们本身就是风味物质, 而且还是其他风味物质(如甲基酮和醇等)的前体物质。检出的羧酸类风味物质主要有乙酸和丁酸。乙酸是酸乳的特征风味来源^[18], 可通过酮类和醛类的氧化而生成, 也可由柠檬酸代谢产生^[18], 或者通过混合酸代谢生成^[19]。丁酸是中短链脂肪酸, 阈值较小, 在奶油中阈值为 0.6~3 mg/L^[20], 是奶香味的关键组分^[21]。乳酸菌具有微弱的蛋白质水解和脂肪水解能力, 丁酸主要由乳酸菌水解脂肪生成^[22]。酮类物质如 2,3-丁二酮和 3-羟基-2-丁酮, 具有芳香性, 能够赋予样品奶油特有的风味, 提高味感的丰满度^[19]。检出的酮类风味物质主要有 2,3-丁二酮和 3-羟基-2-丁酮。2,3-丁二酮和 3-羟基-2-丁酮主要通过乳酸菌的柠檬酸代谢生成。体系中柠檬酸先水解为乙酸和草酰乙酸, 之后脱羧形成丙酮酸, 但中间产物草酰乙酸很不稳定, 容易生成 2,3-丁二酮; 另外, 产物丙酮酸可生成乙酰乳酸, 乙酰乳酸再经过脱羧生成 3-羟基-2-丁酮。2,3-丁二酮和 3-羟基-2-丁酮是同时产生和同时降解的^[23]。

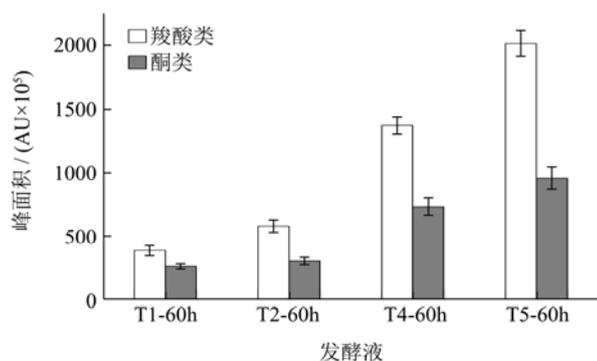


图 3 羧酸类和酮类物质总峰面积对比

Fig.3 Comparison of the total peak areas of carboxylic acids and ketones

由图 3 可知, 在蛋白质含量一致, 脂肪含量增加的情况下: 对比 T1-60 h 和 T2-60 h、T4-60 h 和 T5-60 h 的羧酸类和酮类物质可知脂肪含量增加可促进主要挥发性风味物质增加。一方面, 脂肪含量增加促进乳酸菌发酵产香, 另一方面脂肪含量增加使得游离脂肪酸增加, 更多的游离脂肪酸挥发和衍生产生羧酸类和酮类物质。在脂肪含量一致, 蛋白质含量增加的情况下: 对比 T1-60 h 和 T4-60 h、T2-60 h 和 T5-60 h 的羧酸类和酮类物质发现, 蛋白质含量增加促进主要挥发

性风味物质明显增加。蛋白质含量增加有利于促进乳酸菌增殖, 使得菌种生物代谢更加旺盛, 游离脂肪酸挥发和衍生代谢增强, 产生的羧酸类和酮类物质更多。

2.3 感官评定

2.3.1 组织状态感官评定

表 3 感官评定的结果

Table 3 Results of sensory evaluation

样品	组织状态
T1	有小颗粒, 乳清析出量最大, 稠度最小
T2	有较大颗粒, 乳清析出量较大, 稠度较小
T3	有更大颗粒, 乳清析出量少, 稠度较大
T4	无颗粒, 细腻, 顺滑, 乳清析出量很少, 稠度较大
T5	无颗粒, 细腻, 顺滑, 无乳清析出, 稠度较大
T6	无颗粒, 细腻, 顺滑, 无乳清析出, 稠度很大

表 3 是发酵液在发酵 60 h 后的组织状态描述。低蛋白质含量 (2.3%) 的 T1、T2 和 T3 乳化效果较差, 导致了颗粒物质的产生; 脂肪球一般以镶嵌形式进入酪蛋白网络结构中, 和酪蛋白或者变性乳清蛋白相互吸附^[19], 脂肪含量增加, 形成的网络结构不稳定, 会导致蛋白聚集, 产生较大颗粒物质。高蛋白质含量 (4.6%) 的 T4、T5 和 T6 网络结构稳定, 故无颗粒产生。乳清析出量 T1>T2>T3>T4>T5 和 T6, T1、T2、T3 乳清析出量少的主要原因是体系蛋白质含量低 (水分含量较高), 发酵液难以形成网络体系或网络结构不够坚固。由表 3 可知, T5 的组织状态最佳。

2.3.2 风味感官评定

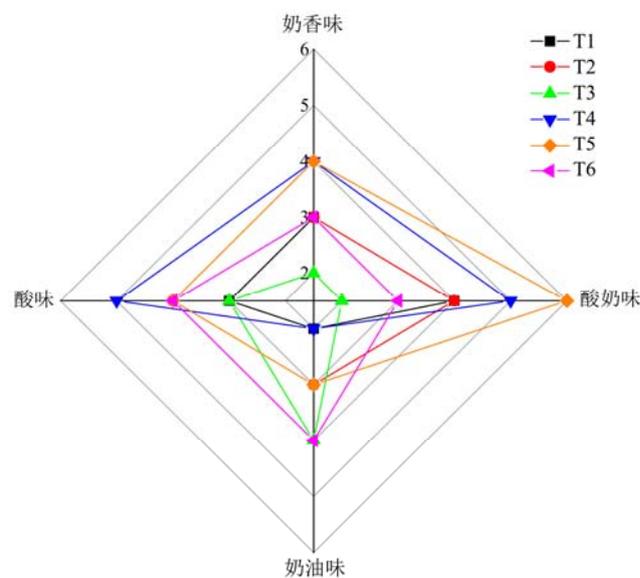


图 4 风味剖面图

Fig.4 Radar chart of flavor

根据所选的奶香味、酸味、奶油味和酸奶味采用6分定义标度方法对发酵60 h后T1~T6的样品进行风味感官评定,结果如图4所示。T4和T5奶香味明显,这是因为二者乙酸和丁酸含量较高;T4酸味较显著,主要由于乳酸菌产酸量高(见图2);T3和T6的奶油味明显,主要是乳脂含量较大所导致的;T5具有非常显著的酸奶味,这是由于T5具有较高含量的2,3-丁二酮,3-羟基-2-丁酮和乙醛(见表2),这三种物质是酸奶特殊风味的主要来源^[18]。综上所述,T5的风味最丰富,风味强度最高。

3 结论

本文分别测定了不同脂肪和蛋白质含量的稀奶油-乳清发酵液在发酵过程中发酵动力学的变化以及发酵60 h后挥发性风味物质的组成。脂肪含量增加在低蛋白质体系中对乳酸菌增殖和pH下降无影响,在高蛋白质体系中对菌种增殖和pH下降有抑制作用;促进发酵产香和风味物质增加,抑制发酵产酸。蛋白质含量增加有利于促进菌种增殖和风味物质明显增加,使pH值下降减缓;在低脂肪体系中,有利于促进发酵产酸,在高脂肪体系中反而不利于发酵产酸。发酵60 h后,体系中主要挥发性风味物质有乙酸、丁酸、2,3-丁二酮和3-羟基-2-丁酮。通过感官评定,发现14%脂肪和4.6%蛋白质的发酵液(T5)具有最佳的组织状态和最强的特征性酸奶风味。

参考文献

- [1] Kurtovic I, Marshall S N, Miller M R, et al. Flavour development in dairy cream using fish digestive lipases from chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and New Zealand hoki (*Macruronus novaezealandiae*) [J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1562-1568
- [2] 史瑛,赵建新,田丰伟,等.天然发酵稀奶油的乳酸菌菌种选育与风味图谱测定[C]//乳酸菌与健康国际研讨会.天津:2014:69-70
SHI Ying, ZHAO Jian-xin, TIAN Feng-wei, et al. Isolation and identification of lactobacillus and flavor profiles determination in natural fermented cream [C]// International Symposium on Lactobacillus and health. Tianjin: 2014: 69-70
- [3] Carunchia Whetstone M E, Croissant A E, Drake M A. Characterization of dried whey protein concentrate and isolate flavor [J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(11): 3826-3839
- [4] Ji T, Haque Z U. Cheddar whey processing and source: I. Effect on composition and functional properties of whey protein concentrates 1 [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2003, 38(4): 453-461
- [5] 马玲,徐静,焦慧娟.干酪乳杆菌、瑞士乳杆菌发酵乳清饮料的研究[J].食品研究与开发,2012,33(12):82-85
MA Ling, XU Jing, JIAO Hui-juan. Optimization of whey beverage fermented by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* using response surface method [J]. Food Research and Development, 2012, 33(12): 82-85
- [6] 李宇辉.乳清混合发酵饮料加工工艺及风味物质的研究[D].石河子:石河子大学,2011
LI Yu-hui. Study on the processing technology and flavor substance of whey mixed fermented beverage [D]. Shihezi: Shihezi University, 2011
- [7] 孙颜君,高红艳,孙颜杰.不同脂肪质量分数稀奶油对Mascarpone干酪性质的影响[J].中国乳品工业,2016, 44(10):20-23
SUN Yan-jun, GAO Hong-yan, SUN Yan-jie. Effect of cream fat content on the quality of mascarpone cheese [J]. China Dairy Industry, 2016, 44(10): 20-23
- [8] 孙亚婷.发酵乳饮料的调配与聚合乳清蛋白对发酵乳饮料稳定性的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2016
SUN Ya-ting. Fermented milk beverage dispensing and effect of polymerized whey protein concentrate on the stability of fermented milk beverage [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016
- [9] 刘晶,韩清波.乳清蛋白的特性及应用[J].食品科学,2007, 28(7):535-537
LIU Jing, HAN Qing-bo. Characteristics and application of whey protein [J]. Food Science, 2007, 28(7): 535-537
- [10] 凌代文.乳酸细菌分类鉴定及实验方法[M].北京:中国轻工业出版社,1999
LING Dai-wen. The taxonomic identification of lactic acid bacteria and experimental method [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999
- [11] 张水华.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,2012
ZHANG Shui-hua. Food analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2012
- [12] 王永华.食品分析.第2版[M].北京:中国轻工业出版社,2010
WANG Yong-hua. Food analysis. 2nd ed [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2010
- [13] 鲍志宁.干酪乳杆菌 GBHM-21 鉴定、中试制备及发酵技术研究[D].广州:华南理工大学,2015
BAO Zhi-ning. Identification, pilotscale DVS starter manufacture and fermentation technology of *Lactobacillus casei* GBHM-2 [D]. Guangzhou: South China University of

- Technology, 2015
- [14] 赵谋明,蔡宇,冯云子,等.HS-SPME-GC-MS/O 联用分析酱油中的香气活性化合物[J].现代食品科技,2014,11:204-212
ZHAO Mou-ming, CAI Yu, FENG Yun-zi, et al. Identification of aroma-active compounds in soy sauce by HS-SPME-GC-MS/O [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 204-212
- [15] 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(145C): 126-134
- [16] 霍贵成.乳酸菌的研究与应用[M].北京:中国轻工业出版社,2007
HUO Gui-cheng. The research and application of lactic acid bacteria [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [17] 张红涛,孙娜,刘红梅.发酵乳酪乳清中风味物质的分析研究[J].中国乳品工业,2011,39(8):16-17
ZHANG Hong-tao, SUN Na, LIU Hong-mei. Study on volatile flavor compounds in fermented cheese whey [J]. China Dairy Industry, 2011, 39(8): 16-17
- [18] 张刚.乳酸细菌-基础、技术和应用[M].北京:化学工业出版社,2007
ZHANG Gang. Lactic acid bacteria-foundation, technology and application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [19] 《乳业科学与技术》丛书编委会, 乳业生物技术国家重点实验室.发酵乳[M].北京:化学工业出版社,2016
Editorial Board of Dairy Science and Technology Series, State key laboratory of dairy biotechnology. fermented dairy products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016
- [20] Molimard P, Spinnler 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
- [21] 张宁,赵金利,Cyrl,等.不同脂肪酶酶解奶油制备奶味香基的研究[J].中国油脂,2015,40(4):74-78
ZHANG Ning, ZHAO Jin-li, Cyril, et al. Preparation of dairy flavor through lipolysis of milk fat by different kinds of lipases [J]. China Oils and Fats, 2015, 40(4):74-78
- [22] Francisco José D, José G, Ramón C, et al. Characterisation by SPME-GC-MS of the volatile profile of a Spanish soft cheese P.D.O. torta del casar during ripening [J]. Food Chemistry, 2010, 118(1): 182-189
- [23] 孟祥晨.乳酸菌与乳品发酵剂[M].北京:科学出版社,2009
MENG Xiang-chen. Lactic acid bacteria and dairy starter culture [M]. Beijing: Science Press, 2009