

发酵温度波动对酸奶感官、质构和风味特性的影响

李思宁,唐善虎*,胡 洋,毛濛兰

(西南民族大学生命科学与技术学院,四川成都 610041)

摘要:为研究发酵温度波动对酸奶品质的影响,本实验测定了酸奶凝乳时间、酸度、pH 和质构指标,用模糊数学法分析了感官指标,并用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)测定了酸奶风味成分,探讨了4种温度波动对酸奶发酵特性和品质的影响。结果表明,与对照组相比,处理组1(41℃-42℃-43℃)酸奶的凝乳时间、质构和感官指标无显著差异($p>0.05$);处理组2(36℃-38℃-42℃)凝乳时间增加($p<0.05$),硬度、内聚性及感官无显著差异($p>0.05$),胶黏性减小($p<0.05$);处理组3(42℃-38℃-36℃)凝乳时间、内聚性无显著差异($p>0.05$),硬度和胶黏性降低($p<0.05$),感官评分显著增加($p<0.05$);处理组4(42℃-46℃-48℃)和处理组5(48℃-46℃-42℃)凝乳时间、内聚性及感官无显著差异($p>0.05$),硬度显著增大($p<0.05$),胶黏性显著减小($p<0.05$)。所有处理间的酸度及pH无显著差异($p>0.05$)。不同的温度波动处理组间主要挥发性风味物质种类基本相同,但含量存在差异。在实际生产中,对酸奶发酵温度的控制可以不必非常精确,允许小范围波动。

关键词:酸奶,温度波动,感官,风味,质构

Effects of fermentation temperature fluctuation on sensory, texture and flavor characteristics of yogurt

LI Si-ning, TANG Shan-hu*, HU Yang, MAO Meng-lan

(College of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to study the influence of fermentation temperature on the quality of yoghurt, the curd time, titration acidity and pH were measured. The fuzzy mathematics method was used to analysis the sensory indicators, and the GC-MS was used to determine the flavor components of yogurt to investigate the effect of 4 kinds of temperature fluctuations on fermentation characteristics and quality of yogurt. The results showed that, fermentation temperature fluctuation in the treatment 1 (41℃-42℃-43℃) had no significantly different effects ($p>0.05$) on the coagulation time, texture and sensory indexes compared with the control group. Coagulation time of treatment 2 (36℃-38℃-42℃) increased ($p<0.05$), and hardness, adhesiveness and sensory indexes had no significant difference ($p>0.05$), but gumminess of yogurt decreased ($p<0.05$). Treatment 3 (42℃-38℃-36℃) had no significantly different effects ($p>0.05$) on the coagulation time, adhesiveness, hardness and gumminess of yogurt decreased, and sensory value increased ($p<0.05$). Treatments 4 (42℃-46℃-48℃) and treatment 5 (48℃-46℃-42℃) had no significantly different effects ($p>0.05$) on the coagulation time, adhesiveness and sensory indexes, but hardness of yogurt increased ($p<0.05$) and gumminess decreased ($p<0.05$). There had no significant difference on titration acidity and pH of all treatments. The main volatile flavor compounds in different temperature fluctuation groups were basically the same, but the contents were different. In practical production, the fermentation temperature of yoghurt could not be controlled very precisely which allow small range fluctuation.

Key words: yogurt; temperature fluctuation; sensory evaluation; flavor; texture

中图分类号: TS252.54

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)04-0082-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.04.017

酸奶是以生牛(羊)乳或乳粉为原料,经杀菌、接种保加利亚乳杆菌(德氏乳杆菌保加利亚亚种)和嗜热链球菌发酵制成的产品。酸奶不仅具有丰富的营

养、独特的风味和口感,还因其消除了一些人的“乳糖不耐症”以及良好的保健功能等诸多优点而受到消费者的青睐^[1]。温度是酸奶发酵中的重要工艺参

收稿日期: 2017-07-28

作者简介: 李思宁(1988-),女,硕士,实验师,研究方向:食品加工与贮藏技术, E-mail: 616906108@qq.com。

* 通讯作者: 唐善虎(1964-),男,博士,教授,研究方向:食品科学, E-mail: stang01@126.com。

基金项目: “十二五”科技支撑计划项目(2015BAD29B02)。

数,影响牛乳的酸化过程和酪蛋白在形成凝胶结构过程中的变化,对酸奶的风味、质地有很大的影响^[2-3]。目前对酸奶发酵温度的研究,多在单一温度对酸奶发酵性能和食用品质影响的研究。而在酸奶实际生产过程中,因为控温不精确或发酵罐温度调节故障可能会引起发酵温度波动。杜云建等^[4]研究了变温发酵对酸奶中风味物质变化的影响,发现41℃(1h)-50℃(1h)-45℃(1h)变温发酵条件下制作的酸奶的丁二酮和乙醛含量最高。丁艺雪等^[5]根据乳酸菌和双歧杆菌的最适发酵温度存在差异的特点,进行变温发酵实验,生产双歧杆菌大豆酸奶,结果表明在40℃下发酵4h,然后降温到37℃发酵2.5h,主发酵完成后在4℃条件下后发酵24h,最终产品双歧杆菌活菌数达10⁷CFU/mL。关于发酵温度波动对酸奶感官、质构及风味品质的影响还尚未见报道。本实验应用物性测试仪、固相微萃取-气相色谱-质谱(SPME-GC-MS)联用技术及模糊数学中的隶属函数理论,通过质构、感官和风味等指标,探究温度波动对酸奶发酵和品质的影响,以期在实际生产中酸奶发酵温度的控制提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲜牛乳 新希望乳业股份有限公司;蔗糖 太古糖业;复合发酵剂(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、双歧杆菌) 北京川秀科技有限公司;氯化钠、氢氧化钠 均为分析纯,成都芪征化玻有限公司。

Trace DSQ 型 GC-MS 联用仪(配 Triplus 自动进样器) 美国 Thermo 公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头 美国 Supelco 公司;TA.XT Plus 质构仪 英国 Stable MicroSystem 公司;HH-6 型恒温水浴锅 国华电器有限公司;PL303 分析天平 梅特勒托利多国际股份有限公司;PHS-3C 酸度计 上海佑科仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 酸奶发酵 在新鲜牛奶中加入7%蔗糖,搅拌均匀。将调配好的奶预热到60℃,采用20MPa压力均质2次,加热至90℃保持15min杀菌,并快速冷却至42℃左右。接种1‰的复合发酵剂,分装至玻璃瓶中,按照表1的发酵温度在培养箱中发酵培养至发酵终点(前两个温度阶段分别保持2h,最后温度阶段发酵至凝乳)。取出放在4℃条件下后熟24h,测定各项指标。发酵温度设置见表1。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 凝乳时间 酸奶瓶倾斜30°,以酸奶无流动时刻作为酸奶凝乳时间^[6]。

1.2.2.2 滴定酸度的测定 参考GB5413.34-2010滴定法测定发酵乳的酸度^[7]。取经24h后熟的发酵乳样品5.0g,加入5mL蒸馏水,混合均匀,加入2滴

0.5%的酚酞指示剂,用0.1mol/L NaOH 滴定至淡粉色,1min内不褪色,同时以空白作为对照,根据所消耗NaOH标准溶液的量计算出滴定酸度(°T)。

1.2.2.3 pH测定 使用pH计测定酸奶的pH,测定前校正仪器。

1.2.2.4 质构分析 参照文献[8-9]方法测定酸奶的硬度、内聚性及胶黏性。

测定参数:探头:A/BE 探头,探头压盘直径为:35mm;测前速率和测试速率为:1.0mm/s;测后速率为:10.0mm/s;穿透测试深度为:30.0mm;触发器类型(感应力):Auto-10.0g。

1.2.2.5 感官评价 参照文献[10-11]的方法,采用模糊数学方法并做适当调整,对酸奶的感官进行评价。

评价因素集X={X₁,X₂,X₃,X₄},即评价酸奶时4个方面的评价指标。X={组织状态,色泽,口感,香气}。

评语集V={V₁,V₂,V₃},即表示优、良、差3个等级,对应的分值是90,80,60。V={优,良,差}={90,80,60}。

权重集W={W₁,W₂,W₃,W₄},即4个方面的评价指标在综合评判中所占的权重。W={0.3,0.15,0.3,0.25}。

表2 酸奶感官评价标准
Table 2 Sensory score card for yogurt

指标	评价标准	等级
组织状态	无乳析出,凝固均匀,质地硬	优
	较少乳析出,凝固较均匀,质地较松散	良
	较多乳析出,凝固不均匀,有颗粒物	差
色泽	乳白色或微带黄色,色泽均匀一致	优
	偏浅黄,色泽较均匀	良
	黄色,色泽不均匀	差
口感	口感细腻,柔和酸甜	优
	口感细腻,酸甜基本适口	良
	口感粗糙,过酸或过甜	差
香气	发酵风味浓郁,具有清香	优
	发酵风味一般,无特殊清香,无异味	良
	发酵风味较淡,有异味	差

1.2.2.6 挥发性风味物质分析 采用GC-MS分析酸奶中的风味物质,参照文献[12]的方法,并做适当调整。准确称取酸奶样品5.0g于20mL顶空瓶内,然后加入2g氯化钠,用压盖器压盖密封。设置萃取温度为60℃,萃取风味物质30min,进样口处解吸3min。GC条件:HP-5MS色谱柱(30m×0.25mm,0.25μm);载气为氦气,流速为1.0mL/min,采用不分流模式;进样口温度240℃;升温程序:起始温度40℃保持3min,以5℃/min升温至140℃保持

表1 发酵温度设置

Table 1 Setting of fermentation temperature

组别	对照组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
温度(℃)	42-42-42	41-42-43	36-38-42	42-38-36	42-46-48	48-46-42

表3 后熟后酸奶的酸度和 pH
Table 3 Acidity and pH of yogurt

组别	酸度值(°T)	pH	组别	酸度值(°T)	pH
对照组	91.90 ± 3.65 ^a	4.19 ± 0.01 ^a	第3组	94.16 ± 5.61 ^a	4.17 ± 0.03 ^a
第1组	92.90 ± 1.35 ^a	4.16 ± 0.03 ^a	第4组	94.49 ± 1.16 ^a	4.16 ± 0.02 ^a
第2组	95.34 ± 0.14 ^a	4.28 ± 0.02 ^a	第5组	91.40 ± 0.54 ^a	4.18 ± 0.03 ^a

注:同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$);表4、表6同。

10 min,再以 5 °C/min 升温至 210 °C 保持 12 min,最后以 10 °C/min 升温至 240 °C。MS 条件:电子电离源;电子能量为 70 eV;离子源温度 250 °C;质量扫描范围 35 ~ 400 amu,发射电流 100 μA,检测电压 1.4 kV。用计算机自动检索(NIST 08)对未知的化合物进行定性分析,并且使用 Xcalibur 软件系统进行手动对照检索,最终报道正反匹配因子均大于 800 的结果。各组分的相对含量计算采用面积归一化法,即以各组分的峰面积占总峰面积的百分比表示。

1.3 数据处理

所有实验均设置 3 次重复,结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示,用 SPSS 21.0 对实验数据进行方差分析(Duncan),检测各处理平均数间的差异显著性, $p < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 温度波动对酸奶凝乳时间的影响

温度波动对酸奶凝乳时间的影响见图 1。由图 1 可知,实验组 1(41 °C-42 °C-43 °C)凝乳时间为 5 h,与对照组(42 °C)没有显著差异($p > 0.05$)。实验组 2(36 °C-38 °C-42 °C)凝乳时间为 6.1 h,为所有实验组中发酵时间最长的,其前 4 h 在 36 °C 和 38 °C 下发酵,菌种繁殖较慢,凝乳状况不佳;实验组 3(42 °C-38 °C-36 °C)凝乳时间为 5.5 h,在温度波动条件设置上与实验组 2 的差异在于其先在 42 °C 下发酵,其凝乳时间较实验组 2 缩短($p < 0.05$)。实验组 4(42 °C-46 °C-48 °C)和实验组 5(48 °C-46 °C-42 °C)的凝乳时间均为 4.5 h,说明在高于 42 °C 的适当温度下,发酵速度会加快。

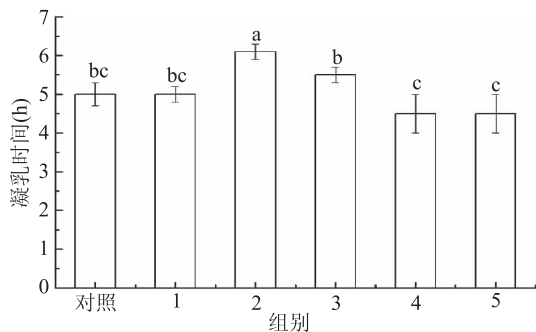


图1 温度波动对凝乳时间的影响

Fig.1 Effect of temperature fluctuation on yogurt curds time

注:不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

2.2 温度波动对酸奶滴定酸度和 pH 的影响

酸奶的酸度和 pH 测定结果见表 3,各处理间的酸度及 pH 均无显著差异($p > 0.05$)。所有实验组酸度值均达到国家标准($^{\circ}\text{T} > 70$),pH 达到了 4.6 以下。

酸奶的后熟过程能够改善酸奶的滋味,使风味形成更充分,酸奶的口感更加柔和。有研究表明,酸度在 90~110 °T,口感风味较好,更易被消费者接受^[13]。

2.3 温度波动对酸奶质构特性的影响

酸奶的质构分析与感官评价存在一定的相关性,是对酸奶品质的客观评价。不同温度波动条件对酸奶质构的影响分析结果见表 4。实验组 1 与对照组质构各指标差异均不显著($p > 0.05$),表明温度波动幅度较小时对酸奶质构的影响较小。实验组 2 和 3 的硬度、内聚性、胶黏性均低于对照组,且胶黏性均与对照组差异显著($p < 0.05$),实验组 3 的硬度、胶黏性与对照组差异显著($p < 0.05$)。在低于 42 °C 的较低温条件下发酵,时间较长,pH 下降较缓慢,使酪蛋白粒子相互链接形成的三维网状结构较松散,因此酸奶凝胶呈现硬度、内聚性、胶黏性下降^[14]。实验组 4 和 5 的酸奶,硬度均显著高于对照组($p < 0.05$),胶黏性均显著低于对照组($p < 0.05$)。黄强等^[15]的研究也发现随着发酵温度的升高,凝固型酸奶的硬度有增大的趋势。不同温度波动条件下酸奶的胶黏性均低于对照组。

表4 温度波动对质构特性的影响

Table 4 Effect of temperature fluctuation on yogurt texture

组别	硬度(g)	内聚性(g·s)	胶黏性(g)
对照组	360.70 ± 17.46 ^{bc}	324.72 ± 5.98 ^{ab}	741.01 ± 38.06 ^a
第1组	378.40 ± 31.90 ^{abc}	342.09 ± 29.50 ^a	684.80 ± 33.92 ^{ab}
第2组	345.09 ± 38.50 ^c	314.69 ± 26.12 ^{ab}	650.37 ± 36.15 ^{bc}
第3组	295.23 ± 9.70 ^d	288.70 ± 17.90 ^b	593.57 ± 66.43 ^{cd}
第4组	408.28 ± 10.65 ^a	303.77 ± 16.93 ^{ab}	595.57 ± 27.44 ^{cd}
第5组	391.74 ± 12.18 ^a	292.45 ± 28.01 ^b	537.75 ± 44.61 ^d

2.4 温度波动对感官品质的影响

2.4.1 感官评价结果 酸奶感官评价结果见表 5。

2.4.2 模糊数学处理过程 以一个实验组评价结果为例,组织状态指标,5 人选优,5 人选良,0 人选差,除以总人数 10 人,可得 $R_{\text{组织状态}} = (0.5, 0.5, 0)$ 。同理可得 $R_{\text{色泽}} = (1, 0, 0)$, $R_{\text{口味}} = (0.3, 0.7, 0)$, $R_{\text{香气}} = (0.9, 0.1, 0)$ 。

$$\text{建立模糊矩阵: } R_{\text{对照1}} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据模糊变换的原理,按照公式 $B = W \cdot R$,可得 $B_{\text{对照1}} = (0.615, 0.385, 0)$ 。再将综合评价结果的各项乘以其对应的分值(优为 90 分、良为 80 分、差为 60

表5 酸奶感官评价结果
Table 5 Sensory evaluation results of yogurt

组别	选择组织状态的人数			选择色泽人数			选择口味的人数			选择香气的人数		
	优	良	差	优	良	差	优	良	差	优	良	差
对照组	7	23	0	29	1	0	4	26	0	25	5	0
第1组	12	18	0	30	0	0	6	24	0	26	4	0
第2组	10	20	0	30	0	0	10	20	0	27	3	0
第3组	22	8	0	30	0	0	19	11	0	30	0	0
第4组	5	22	3	27	3	0	4	23	3	25	5	0
第5组	6	22	2	28	2	0	11	19	0	26	4	0
权重	0.3	0.15	0.3	0.25								

分), 加和, 得到样品的最终得分 $Y_{\text{对照1}} = 86.15$ 。同理得到其他实验组的模糊综合评价分值, 结果汇总表 6。

表6 温度波动对感官品质的影响

Table 6 Effect of temperature fluctuation on yogurt sensory			
组别	综合评分	组别	综合评分
对照组	84.63 ± 1.41^{bc}	第3组	88.10 ± 0.46^a
第1组	85.47 ± 1.12^b	第4组	83.13 ± 0.86^c
第2组	85.75 ± 1.16^b	第5组	84.87 ± 0.71^{bc}

酸奶的感官综合评分如表 6 所示, 实验组 1、2、4、5 的综合感官评分与对照组差异不显著 ($p > 0.05$)。实验组 3 感官评分最高, 且显著高于其他组 ($p < 0.05$); 实验组 4 综合评分最低。由各实验组的感官评分结果看出, 当温度在 42 ℃ 以下且递减波动时, 酸奶感官较好; 当温度在 42 ℃ 以上且递增波动时, 酸奶感官较差。当发酵温度较低时, pH 下降较慢, 沉淀的蛋白质颗粒小, 可能得到细腻的组织结构; 但是当发酵速度过慢时, 也可能会导致香味不足、形成凝块过软; 当发酵温度较高时, 产酸过快, 聚集形成的蛋白质颗粒较大, 得到的酸奶组织状态较

粗糙^[16]。组织状态和风味都是构成酸奶品质的重要因素, 影响人们的感官体验, 影响最终评价结果。

2.5 温度波动对风味成分的影响

发酵乳中的风味成分主要来源有原料乳、加工过程产生及微生物代谢产生^[17]。从表 7 可得, 对照组共检出 32 种化合物, 实验组 1 检出 24 种, 实验组 2 检出 20 种, 实验组 3 检出 23 种, 实验组 4 检出 18 种, 实验组 5 检出 25 种。酸奶中检出的主要风味成分是酸类、醛类和酮类, 而酯类和醇类检出很少。酸类的贡献主要在滋味上, 气味上表现不明显。实验各组的酸类的峰面积分别为 1.61×10^8 、 1.98×10^8 、 2.24×10^8 、 1.99×10^8 、 5.26×10^8 、 2.05×10^8 , 所有实验组的酸类检出种类均多于对照组。实验各组的醛类峰面积分别为 3.14×10^8 、 2.41×10^8 、 1.86×10^8 、 2.09×10^8 、 2.19×10^8 、 2.58×10^8 , 酮类峰面积分别为 9.81×10^8 、 13.41×10^8 、 11.82×10^8 、 14.90×10^8 、 13.17×10^8 、 16.41×10^8 。其中, 酮类是待测酸奶中含量最高的挥发性风味物质, 且在温度波动组酸奶中明显增多。由保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌混合菌种发酵的酸乳, 属于醛香型酸乳, 乙醛主要由保加利亚乳杆

表7 温度波动对风味成分的影响

Table 7 Effect of temperature fluctuation on yogurt flavour compounds									
类别	保留时间 (min)	化学式	化合物名称	峰面积($\times 10^8$)					
				对照组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
酸类	2.71	$C_2H_4O_2$	乙酸	1.61	1.19	1.69	1.25	1.21	1.10
	12.47	$C_6H_{12}O_2$	己酸	-	0.79	0.55	0.74	3.53	0.92
	17.88	$C_8H_{16}O_2$	辛酸	-	-	-	-	0.52	-
	12.79	$C_5H_{10}O_2$	正戊酸	-	-	-	-	-	0.03
总计				1.61	1.98	2.24	1.99	5.26	2.05
醛类	1.58	C_2H_4O	乙醛	1.66	1.64	1.40	1.32	1.85	1.77
	5.77	$C_6H_{12}O$	己醛	0.19	-	-	-	-	-
	8.87	$C_7H_{14}O$	庚醛	-	-	-	0.09	-	-
	15.32	$C_9H_{18}O$	壬醛	0.70	0.37	0.23	0.35	0.34	0.40
	18.35	$C_{10}H_{20}O$	癸醛	0.59	0.40	0.23	0.33	-	0.41
总计				3.14	2.41	1.86	2.09	2.19	2.58
醇类	5.02	$C_5H_{12}O$	正戊醇	-	-	-	0.08	-	-
	5.23	$C_5H_{10}O$	3-甲基-2-丁烯-1-醇	-	-	-	-	-	0.14
	5.82	$C_6H_{14}O_2$	内消旋 3,4-己二醇	-	0.21	0.37	-	0.83	1.08
	13.03	$C_8H_{18}O$	2-乙基己醇	1.25	0.63	-	0.34	-	-
总计				1.25	0.84	0.37	0.42	0.83	1.22

续表

类别	保留时间 (min)	化学式	化合物名称	峰面积(×10 ⁸)					
				对照组	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
酯类	36.24	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	邻苯二甲酸二异丁酯	0.23	-	-	-	-	-
	36.25	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	邻苯二甲酸二丁酯	-	-	-	-	-	0.12
总计				0.23	-	-	-	-	0.12
酮类	1.78	C ₃ H ₆ O	丙酮	-	-	1.02	1.14	-	1.42
	2.21	C ₄ H ₆ O ₂	双乙酰	2.93	3.69	2.09	3.02	5.34	4.59
	2.27	C ₄ H ₈ O	2-丁酮	-	1.42	1.03	1.15	-	-
	3.30	C ₅ H ₁₀ O	2-戊酮	0.22	0.17	0.14	0.14	0.18	0.22
	3.42	C ₅ H ₈ O ₂	2,3-戊二酮	1.08	0.90	0.79	1.38	0.94	1.52
	3.89	C ₄ H ₈ O ₂	3-羟基-2-丁酮	4.65	6.79	6.46	7.74	6.25	8.10
	8.52	C ₇ H ₁₄ O	2-庚酮	0.76	0.44	0.29	0.33	0.46	0.56
	11.65	C ₈ H ₁₄ O	甲基庚烯酮	0.17	-	-	-	-	-
总计				9.81	13.41	11.82	14.90	13.17	16.41
烃类	1.79	C ₄ H ₁₀	异丁烷	1.75	-	-	-	-	-
	2.27	C ₆ H ₁₄	正己烷	1.94	-	-	-	-	-
	4.91	C ₇ H ₈	甲苯	1.01	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08
	7.83	C ₈ H ₁₀	对二甲苯	0.36	-	-	-	-	-
	18.15	C ₁₂ H ₂₆	十二烷	0.12	0.07	-	0.07	-	-
	20.97	C ₁₃ H ₂₈	正十三烷	-	0.10	0.16	-	-	0.10
	21.57	C ₁₂ H ₁₆	环己基苯	0.14	-	-	-	-	-
	23.66	C ₁₄ H ₃₀	十四烷	0.19	0.07	0.08	0.17	0.11	0.11
	31.20	C ₁₆ H ₃₄	十六烷	1.09	0.10	-	-	0.14	-
	31.20	C ₁₉ H ₄₀	十九烷	-	-	-	-	-	0.14
	32.45	C ₁₈ H ₃₈	2,6,10-三甲基-十五烷	0.34	-	-	-	-	-
	33.19	C ₁₆ H ₁₈	蔡,1,2,3-三甲基-4-丙烯基-, (E)-	0.62	-	-	-	-	-
	33.52	C ₁₇ H ₃₆	十七烷	0.71	-	-	-	-	-
	33.63	C ₂₀ H ₄₂	2,6,10,14-四甲基-十六烷	2.08	-	-	-	-	-
	35.20	C ₁₈ H ₃₈	十八烷	0.30	-	-	-	-	-
总计				10.65	0.42	0.33	0.32	0.34	0.43
其他	1.49	C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₃	L-丙氨酰甘氨酸	4.07	3.33	3.25	2.98	4.11	4.01
	1.68	C ₂ H ₇ NO	乙醇胺	0.18	0.19	0.16	0.26	0.15	0.20
	1.78	C ₂ H ₆ N ₂	偶氮甲烷	-	1.20	-	-	1.15	-
	2.07	C ₂ H ₈ NO ₄ P	乙醇胺磷酸酯	-	0.06	-	-	-	-
	9.48	C ₈ H ₉ NO ₂	甲氧基苯基胂	3.40	0.31	0.40	0.24	-	0.34
	15.77	C ₁₈ H ₁₉ N ₅ O ₆	N6-(4-甲氧苯甲酰基)腺苷	-	-	-	0.13	-	0.19
	27.90	C ₁₅ H ₂₄ O	2,6-二叔丁基对甲酚	1.30	-	-	-	-	-
	28.00	C ₁₄ H ₂₂ O	2,4-二叔丁基苯酚	0.52	0.32	0.44	0.22	0.31	0.49
	33.03	C ₇ H ₁₃ NO ₄	N-叔丁氧羰基-甘氨酸	19.50	-	-	-	-	-
	33.31	C ₁₄ H ₂₁ NO ₃	2,4-二叔丁基-6-硝基苯酚	-	-	-	-	-	0.14
总计				28.97	5.09	4.25	3.83	5.72	5.37

注:“-”表示未检出。

菌产生^[18]。实验组1与对照组乙醛峰面积相近,可能是当温度仅在(42±1)℃波动时,对乙醛生成的影响较小。实验组2和实验组3,乙醛峰面积均小于对照组;而实验组4和实验组5,乙醛峰面积均大于对照组。杜云健等^[4]在研究变温发酵酸奶时也得出,当平均发酵温度偏高时,乙醛的含量增大。所有温度波动实验组醛类的总峰面积均小于对照组。酮类物质来自于不饱和脂肪酸的氧化、氨基酸降解、热降解及微生物的代谢^[19]。酮类中的双乙酰和3-羟基-

2-丁酮也被认为是影响酸奶风味的重要物质,双乙酰稀释至1 mg/L时呈奶油香味^[18]。双乙酰主要是由后发酵过程中的某些香味细菌产生,应将前发酵结束后的酸奶迅速放置在适合香味细菌生长的低温环境中,对于后发酵过程的控制会很大程度的影响最终产品的双乙酰含量^[20-21]。实验组1、4、5的双乙酰的峰面积大于对照组,2组低于对照组,3组与对照组相当。3-羟基-2-丁酮呈奶油香味、有刺激味,它是由双乙酰在双乙酰还原酶作用下形成或者是由

α -乙酰乳酸在 α -乙酰乳酸脱羧酶作用下形成^[22-23]。3-羟基-2-丁酮的香味远弱于双乙酰^[24]。与对照组相比,其余各实验组 3-羟基-2-丁酮峰面积均增大,且酮类总峰面积也均高于对照组。相较于对照组,实验组中检出的挥发性风味物质种类变少,但各物质含量明显增多。

3 结论

温度波动对酸奶发酵特性和品质有影响。实验组 1(41℃-42℃-43℃)酸奶凝乳时间、质构和感官指标与对照组(42℃)无显著差异($p > 0.05$);实验组 2(36℃-38℃-42℃)比对照组凝乳时间长($p < 0.05$),硬度、内聚性及感官无显著差异($p > 0.05$),胶黏性减小($p < 0.05$);实验组 3(42℃-38℃-36℃)与对照组凝乳时间、内聚性无显著差异($p > 0.05$),硬度和胶黏性比对照组低($p < 0.05$),感官评分显著高于对照($p < 0.05$);实验组 4(42℃-46℃-48℃)和实验组 5(48℃-46℃-42℃)与对照组相比,凝乳时间、内聚性及感官无显著差异($p > 0.05$),硬度显著增大($p < 0.05$),胶黏性显著减小($p < 0.05$)。所有处理间的酸度及 pH 无显著差异($p > 0.05$)。相较于对照组,温度波动实验组酸奶中检出的挥发性风味物质种类变少,但各物质含量明显增多。相较于对照组,温度波动组酸奶中的酮类物质增多,而烃类物质明显减少。发酵温度在小范围波动,对酸奶的凝乳时间、质构、感官影响不大;发酵温度波动幅度大时,对酸奶的凝乳时间、质构、感官、风味均有影响。在实际生产中,对酸奶发酵温度的控制可以不必非常精确,允许小范围波动。

参考文献

- [1] 符恒,袁爽,陈杰,等.保加利亚乳杆菌在酸奶制品中的应用及其研究进展[J].食品工业科技,2014,35(9):360-361.
- [2] Rpw W, Glagovskaia O, Augustin M A. Properties of stirred yogurts with added starch: Effects of alterations in fermentation conditions[J]. Australian Journal of Dairy Technology, 2003, 58(3):228-232.
- [3] 王桂楨,占峰.乳酸发酵中如何控制乳酸菌[J].中国乳业,2002(6):21-22.
- [4] 杜云建,王飞雪,王铜.乙醛、变温发酵酸奶的研究[J].饮料工业,2008,11(7):23-24.
- [5] 丁艺雪,夏明,毛俊磊,等.变温发酵法生产双歧杆菌大豆酸奶的研究[J].食品与机械,2009,25(4):124-127.
- [6] 赵谋明,刘宏锋,林伟锋,等.酪蛋白水解物对酸奶发酵的

促进作用及其对酸奶质构的影响[J].食品工业科技,2005,26(7):78-79.

[7] GB5413.34-2010.食品安全国家标准 乳和乳制品酸度的测定[S].北京:国家标准局.

[8] 张岩,李健,刘鲁蜀,等.松茸多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(1):157-158.

[9] 王微.凝固性原味酸奶质地及微观结构的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2007:15-16.

[10] 李超敏,赵永敢,王丹.模糊综合评判法在薏仁酸奶感官评价中的应用[J].食品研究与开发,2015,36(5):16-18.

[11] 王亮亮,夏延斌,陈甜,等.基于模糊数学综合感官评价的莲子酸奶制作[J].农产品加工·学刊,2014(9):4-7.

[12] 郭文奎.优质酸奶风味图谱的建立[D].哈尔滨:东北农业大学,2012:10-11.

[13] 肖英.酸奶制品的酸度控制[J].中国食品添加剂,2009(4):150-153.

[14] 王微,赵新淮.发酵温度及超声波处理对凝固型酸奶质地等的影响[J].中国乳品工业,2008,36(12):22-23.

[15] 黄强,俞琳,赵广生,等.发酵条件对凝固型酸奶质地影响的研究[J].浙江科技学院学报,2013,25(6):442-444.

[16] 严奉伟,雷登奎,马静,等.加工条件对凝固型酸奶质构的影响[J].食品科技,2010,35(12):77-78.

[17] Hiroyuki K, Heather L L, Janusz P. Application of solid-phase microextraction in food analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2000, 880(1):35-62.

[18] 王红叶,李丽华,陆淳,等.乙醛、丁二酮对发酵乳风味的影响[J].中国乳品工业,2010,38(10):32-33.

[19] Mcsweeney P L H, Sousa M J. Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: a review[J]. Le Lait, 2000, 80(3):293-324.

[20] 余华.酸奶风味的形成及控制[J].成都大学学报:自然科学版,1999,18(4):19-21.

[21] 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):20-21.

[22] 郑应福,阐振荣,赵春海.高产双乙酰乳球菌的研究进展[J].中国生物工程杂志,2005,14(1):186-189.

[23] 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 alpha-diketones[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(6):2379-2385.

[24] Le B D, Yvon M. Formation of diacetyl and acetoin by lactococcus lactis via aspartate catabolism[J]. Journal of Applied Microbiology, 2008, 104(1):171-177.

(上接第 67 页)

究[J].安徽农业科学,2012,40(17):9463,9499.

[10] 无锡轻工大学,天津轻工业学院.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,2008:216-219.

[11] 吴谋成.食品分析与感官评定[M].北京:中国农业出版社,2002:78-79.

[12] Wei-Cai Zeng, Zeng Zhang, Hong Gao, et al. Characterization of antioxidant polysaccharides from Auricularia auricular using microwave-assisted extraction[J]. Carbohydrate Polymers, 2012(89):694-700.

[13] Pedro J García-Moreno, Irineu Batista, Carla Pires, et al. Antioxidant activity of protein hydrolysates obtained from discarded Mediterranean fish species [J]. Food Research International, 2014(65):469-476.

[14] 李琴,张海生,许珊,等.绿豆抗氧化活性肽的制备及其抗氧化活性研究[J].江西农业大学学报,2013,35(5):1063-1069.

[15] 张美萍,叶淑红,王际辉,等.苦瓜籽蛋白的提取条件及其抗氧化性质[J].大连工业大学学报,2013,32(1):4-7.