

添加复配糖对凝固型酸奶品质的影响

祝玉婷, 胡志和, 霍辰辰, 米春莹

Effect of Adding Compound Sugar on the Quality of Solidified Yogurt

ZHU Yuting, HU Zhihe, HUO Chenchen, and MI Chunying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021090082>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

白茶散茶与茶饼在色泽、滋味及香气组分上的差异研究

Study on the Differences of Color, Taste and Aroma Constituents in White Loose Tea and White Tea Pine

食品工业科技. 2019, 40(15): 207–214

乳清蛋白粉对凝固型酸奶品质的影响

Effect of Whey Protein Powder on the Quality of Solidified Yogurt

食品工业科技. 2020, 41(13): 39–45

不同酶对牛骨素热反应香精气味及滋味的影响

Effect of Different Enzymes on the Flavor and Taste of Thermal Process Flavorings Made by Bovine Bone Extract

食品工业科技. 2019, 40(3): 228–238

TG酶和漆酶对双歧杆菌益生菌酸奶品质的影响

Effect of TGase and laccase on the quality of probiotics yogurt

食品工业科技. 2018, 39(8): 119–126, 135

25个干辣椒品种色、香、味品质差异评价

Differences and Comprehensive of Color, Aroma and Taste Quality of 25 Dry Pepper Varieties

食品工业科技. 2021, 42(8): 242–248

红枣多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响

Effect of jujube date polysaccharide on the fermentation of lactic acid bacteria and the quality of yogurt

食品工业科技. 2017(19): 203–207



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

祝玉婷, 胡志和, 霍辰辰, 等. 添加复配糖对凝固型酸奶品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 268–282. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090082

ZHU Yuting, HU Zhihe, HOU Chenchen, et al. Effect of Adding Compound Sugar on the Quality of Solidified Yogurt[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 268–282. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090082

· 分析检测 ·

添加复配糖对凝固型酸奶品质的影响

祝玉婷, 胡志和*, 霍辰辰, 米春莹

(天津市食品生物技术重点实验室, 天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津 300134)

摘要:采用赤藓糖醇、罗汉果甜苷、甜菊糖苷以 49.5:1:1 进行复配混合作为蔗糖替代糖, 同等甜度下复配糖与蔗糖比例为 7.77:1。研究 43 °C 发酵的添加复配糖的无蔗糖酸奶和添加同等甜度蔗糖的普通酸奶色、香、味等感官特性以及理化指标的差异性。利用电子眼、电子鼻、电子舌检测添加复配糖的无蔗糖酸奶和添加同等甜度蔗糖的普通酸奶的色、香、味, 采用酚酞指示剂法、质构仪、流变仪、平板计数法测定添加复配糖的无蔗糖酸奶和添加同等甜度蔗糖的普通酸奶发酵过程中酸度、硬度、粘度、乳酸菌数量。结果表明: 发酵结束时, 添加复配糖的无蔗糖酸奶和添加同等甜度蔗糖的普通酸奶酸度范围在 70.11 °T~72.18 °T, 二者无显著性差异 ($P>0.05$) ; 发酵过程中, 在 1~5 h 内, 添加 4%、8%、10%、12% 的复配糖的无蔗糖酸奶较同等甜度的普通酸奶产酸速率快, 且差异显著 ($P<0.05$), 而添加 6% 复配糖的无蔗糖酸奶在发酵 1~3 h 内较普通酸奶产酸速率显著增加 ($P<0.05$), 4~5 h 内两种酸奶产酸速率无显著性差异 ($P>0.05$) 。在发酵 1~3 h 内, 添加蔗糖的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶硬度、粘度增加缓慢; 发酵 3~5 h, 添加复配糖的无蔗糖酸奶硬度、粘度增加速度高于添加同等甜度蔗糖的普通酸奶组, 差异显著 ($P<0.05$) 。在发酵过程中, 相同甜度下, 添加复配糖的无蔗糖酸奶的乳酸菌增殖较普通酸奶快, 且存在显著性差异 ($P<0.05$) 。相同甜度的无蔗糖酸奶感官评分高于同等甜度的普通酸奶; 蔗糖浓度为 4%、10%、12% 的普通酸奶较添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶, 在气味和色泽方面存在显著性差异 ($P<0.05$), 经挥发性成分分析, 不同浓度的普通酸奶和无蔗糖酸奶共分别检测出 31、44 种挥发性成分, 滋味无显著性差异 ($P>0.05$); 而蔗糖浓度 6%、8% 的普通酸奶较添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶, 在色泽和气味上无显著性差异 ($P>0.05$), 但在滋味上存在显著性差异 ($P<0.05$) 。因此, 添加不同浓度蔗糖的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶相比, 具有显著性差异。

关键词:复配糖, 无蔗糖酸奶, 普通酸奶, 气味, 滋味, 色泽, 差异性

中图分类号: TS252.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)12-0268-15

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090082

本文网刊:



Effect of Adding Compound Sugar on the Quality of Solidified Yogurt

ZHU Yuting, HU Zhihe*, HUO Chenchen, MI Chunying

(Tianjin Key Laboratory of Food and Biotechnology, College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: Erythritol, mogroside and stevioside were compounded and mixed in 49.5:1:1 to replace sucrose, and the ratio of compound sugar and sucrose under the same sweetness was 7.77:1. The differences of sensory characteristics and physical and chemical indexes between sucrose-free yoghurt with compound sugar and plain yoghurt with the same sweetness sucrose fermented at 43 °C were studied. The color, odour and taste of plain yogurt and sucrose-free yogurt were detected by electronic eye, electronic nose and electronic tongue, respectively. The acidity, hardness, viscosity and lactic acid bacteria were determined by phenolphthalein indicator, mass structure, rheometer and plate counting. The results indicated that the acidity range of sucrose-free yogurt with compound sugar and plain yogurt with the same sweetness sucrose ranged from 70.11 °T to 72.18 °T, and there was no significant difference between them ($P>0.05$). During the fermentation process, the acid production rate of sucrose-free yoghurt with compound sugar concentration of 4%, 8%, 10%

收稿日期: 2021-09-07

基金项目: 天津市科技计划项目 (17ZXYENC00130); 天津市高等学校创新团队项目 (TD13-5087)。

作者简介: 祝玉婷 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: zhuyuting165@163.com。

* 通信作者: 胡志和 (1962-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 专用功能食品, E-mail: hzhihe@tjcu.edu.cn。

and 12% was faster than that of plain yogurt with the same sweetness sucrose, and the difference was significant ($P<0.05$). The acid production rate of sucrose-free yogurt with compound sugar concentration of 6% was significantly higher than that of plain yogurt within 1 to 3 h of fermentation ($P<0.05$), and there was no significant difference in acid production rate between the two types of yogurt within 4~5 h ($P>0.05$). Within 1 to 3 h of fermentation, the hardness and viscosity of plain yogurt and sucrose-free yogurt with the same sweetness increased slowly. The increasing rate of hardness and viscosity of sugar-free yogurt was significantly higher than that of plain yogurt with the same sweetness ($P<0.05$). In the fermentation process, lactic acid bacteria proliferation of sucrose-free yogurt with the same sweetness was faster than that of plain yogurt, and there was a significant difference ($P<0.05$). The sensory score of sucrose-free yogurt was higher than that of plain yogurt with the same sweetness. The odour and color of plain yogurt with sucrose concentration of 4%, 10% and 12% were significantly different from that of sucrose-free yogurt with the same sweetness ($P<0.05$). The volatile component analysis results showed that 31 and 44 volatile components were detected in different plain yogurt and sucrose-free yogurt, respectively. And there was no significant difference in taste ($P>0.05$). In addition, there were no significant difference in color and smell between the plain yogurt with sucrose concentration of 6% and 8% and the sucrose-free yogurt with the same sweetness ($P>0.05$), but there were significant differences in taste ($P<0.05$). Therefore, plain yogurt was significantly different compared to the equivalent sweet sucrose-free yogurt.

Key words: compound sugar; sucrose-free yogurt; plain yogurt; odour; taste; color; differences

酸奶作为营养与保健功能集于一体的乳制品,深受人们喜爱^[1]。为调节酸奶发酵产生的酸味,酸奶在制作过程中要添加 6%~9% 蔗糖,长期摄入较多的蔗糖,会增加肥胖、糖尿病、心脑血管等的发生率^[2]。越来越多的人们意识到摄入过多蔗糖带来的健康问题^[3],为了满足人们对低糖低热量酸奶的需求,研发生产无蔗糖酸奶十分有必要。

无蔗糖酸奶是在普通酸奶的制作基础上选用健康型甜味剂替代传统蔗糖^[4],此类甜味剂甜度高、能量低,赋予食物与蔗糖相类似的甜味^[5]。无蔗糖酸奶的特殊在于不仅保留了牛乳的风味及营养价值,而且热量低^[6]。近年来,无蔗糖酸奶不断创新,朝着多样化发展。张蕴哲等^[7]将菠萝汁和燕麦浆进行混合,木糖醇为代糖,发酵 5 h,得到品质较佳的菠萝燕麦无糖酸奶。孙芝杨^[8]以鲜牛奶辅以南瓜、山药,木糖醇代替蔗糖,经嗜热链球菌发酵,研制出一款功能性无糖酸奶。市场上,伊利、蒙牛、君乐宝、畅轻等相继推出了无蔗糖酸奶。

目前,众多研究者及销售的无蔗糖酸奶大多采用糖醇类、单一天然甜味剂、人工甜味剂等作为蔗糖替代糖,尤丽新等^[9]研制出的搅拌型葛花汁无糖酸乳、姚晶等^[10]的无糖山药酸奶均选用木糖醇为甜味剂;左锋等^[11]用酶解米糠制作的无糖酸奶,选用甜菊甙 A3 为蔗糖替代糖;傅樱花^[12]研制的无糖鹰嘴豆酸奶,则以阿斯巴甜取代蔗糖。但选用甜味物质代替蔗糖生产的发酵酸奶,在色、香、味等感官指标方面的差异研究较少。本文选用赤藓糖醇、罗汉果甜苷、甜菊糖苷复配后代替蔗糖制作无蔗糖酸奶,系统研究添加蔗糖酸奶和无蔗糖酸奶发酵过程中在色、香、味、粘度、硬度、乳酸菌活菌数量等方面的差异性。为无蔗糖酸奶的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原料乳 天津海河乳业有限公司; 发酵剂 帝

斯曼贸易(上海)有限公司; 赤藓糖醇 保龄宝生物股份有限公司; 罗汉果甜苷 湖南华城生物资源股份有限公司; 甜菊糖苷 山东海根生物技术有限公司; 蔗糖 韩国 CJ 第一制糖株式会社; 复配糖(用赤藓糖醇、罗汉果甜苷、甜叶菊苷按照 1:0.02:0.02 复配,与蔗糖的甜味比为 7.77:1) 天津商业大学食品工艺实验室制备。

Heracles II 电子鼻、Astree 电子舌、IRIS VA400 电子眼 法国 Alpha M.O.S 公司; Physica MCR 301 流变仪 奥地利安东帕 TruGap RADY 公司; TA-XT Plus 型质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司; Sucre G6R 全自动菌落计数仪 杭州迅数科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 天然复配糖配方的确定 配制 8% 蔗糖溶液,以 8% 蔗糖溶液为基准,根据赤藓糖醇、罗汉果甜苷、甜菊糖苷等倍甜比例(赤藓糖醇:罗汉果甜苷=99.58:0.42,赤藓糖醇:甜菊糖苷=99:0.05)进行复配混合,配制与 8% 蔗糖溶液等甜度的天然复配糖。采用感官评分(感官表如表 1 所示)和电子舌检测相结合的方式,确定与 8% 蔗糖溶液同等甜度的天然复配糖配方,通过算出 8% 蔗糖溶液与同等甜度天然复配甜味剂的溶质质量分数之比,从而得出与 4%、6%、10%、12% 蔗糖溶液同等甜度的天然复配糖配方。

1.2.2 无蔗糖酸奶和普通酸奶的工艺流程 无蔗糖酸奶工艺流程:原料乳→添加与不同蔗糖浓度同等甜度的复配糖→均质→杀菌(95 °C, 15 min)→冷却、接种发酵剂(直投式发酵剂)→装罐→发酵(43 °C)

普通酸奶工艺流程:原料乳→添加不同浓度的蔗糖→均质→杀菌(95 °C, 15 min)→冷却、接种发酵剂(直投式发酵剂)→装罐→发酵(43 °C)

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 无蔗糖酸奶和普通酸奶发酵终点的确定 每隔 1 h 对两种酸奶取样,采用酚酞指示剂法^[13]检

表 1 天然复配甜味剂的感官评分表

Table 1 Sensory score table for natural compound sweeteners

项目	评分标准	分值
与8%蔗糖溶液甜度相似度	样品口感极接近8%蔗糖	25~30
	样品与8%蔗糖口感稍有不同	17~24
	样品与8%蔗糖口感有差别	9~16
	样品与8%蔗糖口感完全不同	0~8
	甜味感觉很强烈	21~25
	甜味强度适中	15~20
	甜味强度较弱	7~14
	无甜味	0~6
	甜味感觉速度极快0~5 s	21~25
	甜味感觉速度较快6~10 s	16~20
甜味感觉速度	甜味感觉速度一般11~15 s	11~15
	甜味感觉速度较慢16~30 s	6~10
	甜味感觉速度极慢大于30 s	0~5
	无明显后余味	14~20
后余味(苦味、草本味等)	轻微苦涩味	7~13
	总分	100

测酸度。根据 GB 19302-2010《食品安全国家标准发酵乳》^[14]中对发酵乳制品酸度的要求,确定酸奶的发酵终点。

1.2.3.2 无蔗糖酸奶和普通硬度变化 每隔 1 h 对两种酸奶取样,使用质构仪测定酸奶的硬度。采用一次穿刺模式,使用 P/36R 圆盘型探头进行测试。实验测定的参数主要为:触发力为 5 g,下压距离为 3 mm,测试速度为 1 mm/s。

1.2.3.3 无蔗糖酸奶和普通粘度变化 每隔 1 h 对两种酸奶取样,使用流变仪进行酸奶粘度的测定,选用 PP50 探头,温度设置为 43 °C,剪切速率为 1/s,测量剖面选取 20 个点测量。

1.2.3.4 无蔗糖酸奶和普通酸奶乳酸菌数量变化 选用 MRS 琼脂培养基培养乳酸菌,使用全自动菌落计数仪进行乳酸菌计数。

1.2.3.5 无蔗糖酸奶和普通感官测定 感官评价标准:评分标准参照 GB 19302-2010《食品安全国家标准发酵乳》的要求并进行修改,选择 10 名经过培训的感官评价人员,对酸奶的组织结构、色泽、口感、风味进行感官评分,如表 1 所示。

1.2.3.6 电子鼻测定 称取 7 g 样品于 30 mL 顶空瓶中,使用电子鼻进行检测,检测参数为:50 °C 下孵化 20 min,振荡速度为 500 r/min。进样量 5000 μL,

注射速度 125 /s,进样口温度 200 °C、压力 10 kPa、流速 30 mL/min、注射时间 45 s。每个样品重复三次。使用正构烷烃标准液进行化合物的标定,通过比对 CAS 码确定化合物,用 Alpha Soft V14.2 进行数据处理。

1.2.3.7 电子舌测定 电子舌使用前进行校准,校准完成后,将样品与水 1:1 配制好,置于电子舌专用测试杯中,采用七根传感器进行滋味的检测。每次信号采集时间为 120 s,每个样品之间设置清洗序列,每个样品重复三次。使用 Alpha Soft V14.2 进行数据处理。

1.2.3.8 电子眼测定 将样品倒入透明培养皿中,进行颜色的校准。校准好之后,把样品放在电子眼中进行拍照,每个样品重复三次。使用 Alpha Soft V14.2 进行数据处理。

1.3 数据处理

使用 Origin 8.0 进行图表数据处理,Spss 进行数据的显著性分析,使用 Alpha Soft V14.2 进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 天然复配糖配方的确定

各配方复配糖比例如下:

配方 1:赤藓糖醇:罗汉果甜苷:甜菊糖苷=99:2.5:2

配方 2:赤藓糖醇:罗汉果甜苷:甜菊糖苷=90:1.8:1

配方 3:赤藓糖醇:罗汉果甜苷:甜菊糖苷=99:2:2

配方 4:赤藓糖醇:罗汉果甜苷:甜菊糖苷=99:2:1

配方 5:赤藓糖醇:罗汉果甜苷:甜菊糖苷=99:2:2.5

经感官评价(如表 2)分析得到样品 3 和样品 5 感官评分最高,由此可以初步得出样品 3 和样品 5 与 8% 蔗糖溶液甜度相似,将样品 3 和样品 5 进行电子舌检测,确定与 8% 蔗糖溶液甜度最相似的样品。

经电子舌味觉分析(表 3)得到样品 3 和 8% 蔗糖溶液的酸、甜、苦、咸、鲜系数比样品 5 和 8% 蔗糖溶液接近,样品 3 的甜味系数和 8% 蔗糖溶液的甜味系数一样,由此可以得出样品 3 和 8% 蔗糖溶液的甜度相似。

电子舌传感器雷达图分析,如图 1 所示,得到样品 3 和 8% 蔗糖溶液在酸味、甜味、苦味、咸味及鲜味传感器响应值比样品 5 和 8% 蔗糖溶液接近,由电

表 2 不同配方的天然复配糖感官评分

Table 2 Sensory scores of natural compound sweeteners of different formulas

配方	感官评价	感官评分
1	样品与蔗糖接近,口感稍有不同,甜味强度较强,甜味感觉速度一般,品后有轻微苦涩味。	75
2	样品与蔗糖有差别,口感上差别较大,甜味强度较弱,甜味感觉速度一般,品后有较重苦涩味。	59
3	样品与蔗糖接近,口感接近,甜味强度一般,甜味感觉速度较快,品后有轻微苦涩味。	83
4	样品与蔗糖接近,口感稍有不同,甜味强度一般,甜味感觉速度较快,品后有苦涩味。	62
5	样品与蔗糖接近,口感有轻微不同,甜味强度较强,甜味感觉速度一般,品后有轻微苦涩味。	83

表 3 8% 蔗糖与样品 3、样品 5 电子舌味觉分析
Table 3 Electronic tongue taste analysis of 8% sucrose, sample 3 and sample 5

样品	AHS(酸)	PKS(通用)	ANS(甜)	SCS(苦)	CPS(通用)	CTS(盐)	NMS(鲜)
8%蔗糖	5.8	5.1	6.9	1611.4	4.2	4.9	6.6
样品3	4.6	5.1	6.9	1611.4	5.6	8.5	7.1
样品5	4.3	4.4	7.6	1611.4	4.9	7.3	7.7

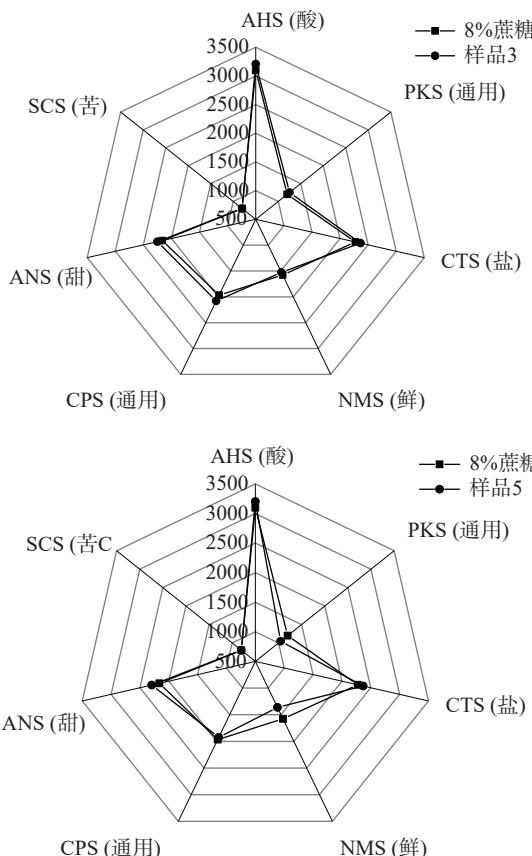


图 1 8% 蔗糖与样品 3、样品 5 电子舌雷达分析图

Fig.1 Electronic tongue radar analysis of 8% sucrose, sample 3 and sample 5

电子舌传感器雷达图可以得出结论: 样品 3 和 8% 蔗糖溶液甜度相似。

利用电子舌自带分析软件对收集到的 8% 蔗糖溶液与样品 3、样品 5 的 5 次平行数据进行主成分分析, 建立二维图, 如图 2~图 3 所示, 识别指数代表系统对样品的区分程度, 大于 85, 代表系统能够很好的将样品区分开, 小于 85, 说明样品之间有重合。样品 3 与 8% 蔗糖溶液的主成分分析识别指数为-6, 说明两个样品有较大的重合; 样品 5 与 8% 蔗糖溶液识别指数为 80, 样品 5 与 8% 蔗糖溶液有一定的重合。经过综合分析得出, 样品 3 和 8% 蔗糖溶液滋味更接近。

2.2 无蔗糖酸奶与普通酸奶发酵过程中酸度变化

每隔 1 h 测定酸奶样品的酸度, 根据酸度 $\geq 70^{\circ}\text{C}$ 来确定发酵终点。酸奶酸度测定结果如图 4 所示。在 43 °C 发酵, 添加 4%、6% 蔗糖的酸奶达到发酵终点的时间分别为 6、5 h; 添加 8%、10%、12% 蔗糖的酸奶 7 h 达到发酵终点; 添加复配糖的无蔗糖酸奶达

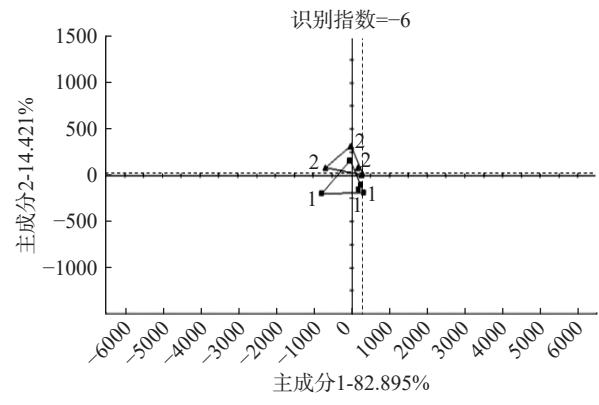


图 2 8% 蔗糖溶液与样品 3 主成分分析
Fig.2 Principal component analysis of 8% sucrose solution and sample 3

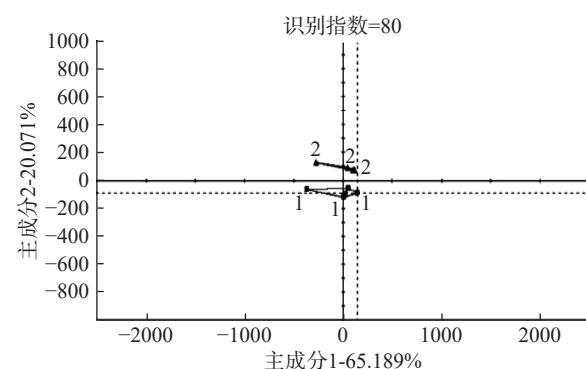


图 3 8% 蔗糖溶液与样品 5 主成分分析
Fig.3 Principal component analysis of 8% sucrose solution and sample 5

到发酵终点的时间均为 5 h。添加不同浓度蔗糖的普通酸奶和不同浓度复配糖的无蔗糖酸奶发酵结束后, 酸度范围分别在 70.11 °C~72 °C、71.14 °C~72.18 °C, 均达到了 70 °C, 符合 GB 19302-2010《食品安全国家标准发酵乳》中对发酵乳制品酸度的要求, 且凝固状态较好。

整体来看, 两种酸奶的酸度变化趋势基本相同。相同发酵时间, 同等甜度的两种酸奶, 添加复配糖的无蔗糖酸奶均比普通酸奶产酸速率快, 且蔗糖浓度为 4%、8%、10%、12% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶发酵 1~5 h 产酸速率有显著性差异($P<0.05$); 而蔗糖浓度为 6% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶发酵 1~3 h 产酸速率具有显著性差异($P<0.05$), 发酵 4~5 h 产酸速率相近, 不具显著性差异($P>0.05$)。产生差异性的原因可能是因为复配糖对乳酸菌的促进作用大于蔗糖。吴

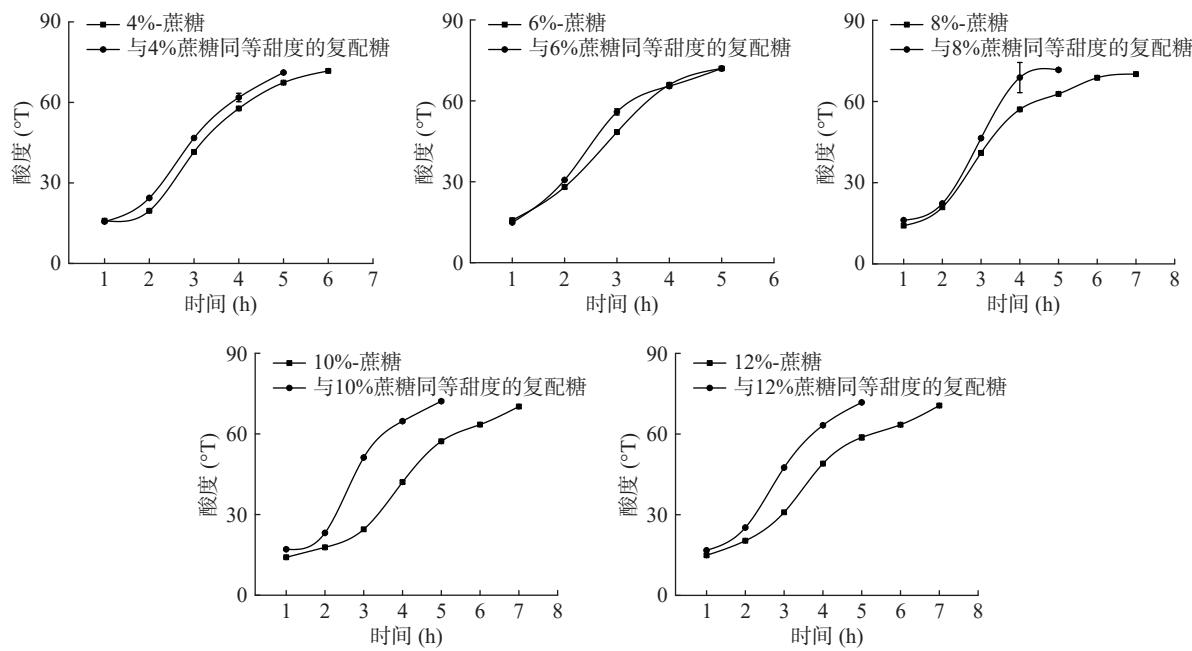


图4 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶酸度变化

Fig.4 Changes in acidity between plain yogurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

惠娟^[15]的研究表明,甜菊糖可以促进乳酸杆菌的生长。周金燕^[16]的研究表明,添加甜菊糖苷的酸奶要比完全添加蔗糖的酸奶酸度略高。

发酵过程中,添加与不同蔗糖浓度同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶,产酸速率具有显著性差异($P<0.05$);6%产酸速率最大,其次是8%、10%、12%、4%。添加不同浓度蔗糖的普通酸奶,产酸速率具有显著性差异($P<0.05$);产酸速率最大的是6%,其次是4%、8%、10%、12%。因此,蔗糖的添加量会影响发酵时间。与童芳^[17]研究结果一致。另外,不同浓度的无蔗糖酸奶发酵时间为5 h,说明4%~12%复

配糖对乳酸菌的生长无明显抑制作用,符合陈文等^[18]、Davoudi等^[19]等的结论。

2.3 无蔗糖酸奶与普通酸奶发酵过程中硬度变化

添加蔗糖的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶硬度变化如图5所示。相同发酵时间,添加复配糖的无蔗糖酸奶的硬度均比添加同等甜度蔗糖的普通酸奶大;发酵1~3 h,普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶硬度变化不明显,3 h后硬度显著增大($P<0.05$),且二者出现显著性差异($P<0.05$)。酸奶的酸度和硬度存在一定的联系。发酵前期,乳酸菌分解乳糖产酸速度慢,凝乳形成较慢,随着

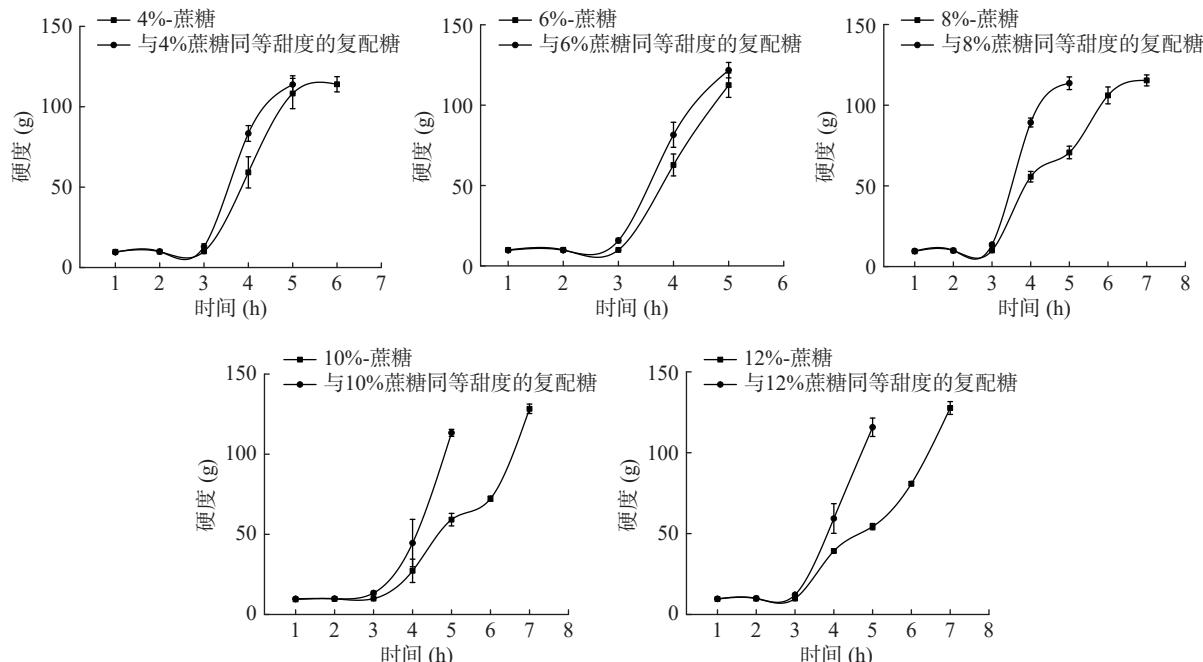


图5 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶硬度变化

Fig.5 Changes in hardness between plain yoghurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

发酵时间的延长, 乳酸菌产酸速度加快, 使酪蛋白在等电点附近发生凝集, 硬度增大^[20]; 酸奶的酸度会影响蛋白结构, 酸度越大, 蛋白质的水合作用越强^[21], 乳凝胶加强, 内聚性提高^[22], 硬度越大。另外, 乳酸菌代谢产生胞外多糖, 与酪蛋白相互作用, 促进酪蛋白的凝聚^[23-24]。发酵结束后, 添加蔗糖浓度为 4%、6%、8% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶之间无显著性差异($P>0.05$), 添加蔗糖浓度为 10%、12% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶存在显著性差异($P<0.05$)。

2.4 无蔗糖酸奶与普通酸奶发酵过程中粘度变化

粘度是评价酸奶口感及质量控制的重要指标之一^[25]。相同甜度下, 添加复配糖的无蔗糖酸奶和普通酸奶粘度变化如图 6 所示。同等甜度下, 添加复配糖的无蔗糖酸奶粘度增加速率比普通酸奶大。发酵 1~3 h, 添加不同浓度蔗糖的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶粘度变化不明显, 3 h 之后, 粘度上升, 且二者出现显著性差异($P<0.05$)。张亚雄等^[26]的研究表明, 酸奶中罗汉果甜苷的添加会提高酸奶的粘度。因此, 相同发酵时间, 同等甜度下, 添加复配糖的无蔗糖酸奶粘度值均比普通酸奶大。粘度与酪蛋白的凝胶性有密切关系, 随着发酵时间的延长, 乳酸菌分解乳糖产酸, 酸度增加, pH 不断下降, 酪蛋白中的胶体磷酸钙被氢离子代替导致磷酸钙的分离溶出, 从而使酪蛋白胶粒的稳定性下降。当下降至酪蛋白等电点时, 酪蛋白相互凝集形成立体网状结构^[27], 粘度上升。杨同香等^[28]的研究表明, 胞外多糖的产生可以提高粘度, 随着普通酸奶发酵的继续, 乳酸菌产生胞外多糖, 胞外多糖分子大小和结构会影响酪蛋白在溶液中的存在, 利用分子间形成的静电排斥

力^[29], 使酪蛋白形成的骨架加粗, 增加粒子碰撞结合几率, 酪蛋白能够形成紧密的立体网状结构。因此, 粘度逐渐增大。

添加不同蔗糖浓度的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶达到发酵终点时, 粘度无显著性差异($P>0.05$)。

2.5 无蔗糖酸奶与普通酸奶乳酸菌数量变化

如图 7 所示, 发酵结束后两种酸奶乳酸菌数量范围为 2.67×10^8 ~ 5.6×10^8 CFU/mL, 符合 GB 19302-2010《食品安全国家标准 发酵乳》的要求。随着发酵进行, 两种酸奶乳酸菌数量呈上升趋势。相同甜度下, 添加复配糖的无蔗糖酸奶乳酸菌增长速率大于添加同等甜度蔗糖的普通酸奶。发酵结束后, 添加浓度为 8%、12% 蔗糖的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶乳酸菌数量具有显著性差异($P<0.05$); 添加 4%、10%、12% 蔗糖的普通酸奶之间, 以及添加与 4%、10%、12% 蔗糖浓度同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶之间, 乳酸菌数量均差异显著($P<0.05$)。

同等甜度下添加复配糖的无蔗糖酸奶与普通酸奶之间乳酸菌数量的差异, 一方面高浓度的蔗糖, 造成过高的渗透压, 降低乳酸菌细胞内各种酶的活性; 另一方面, 乳酸菌生长代谢的过程中产生乳酸, 乳酸的积累对乳酸菌的生长代谢起到抑制作用^[30]。陈文等^[18]综述了赤藓糖醇对益生菌有促进作用, 同时, 周金燕等^[16]的研究表明, 甜菊糖苷和赤藓糖醇对乳酸菌的生长繁殖有促进作用。Davoudi 等^[19]研究发现, 在适当浓度下甜菊糖苷促进乳酸菌生长的作用优于蔗糖和葡萄糖。不同复配糖添加量对乳酸菌没有明显的抑制作用, 这可能与复配糖的分子结构有关。因此, 添加量为 4%~12% 的复配糖适合乳酸菌生长。

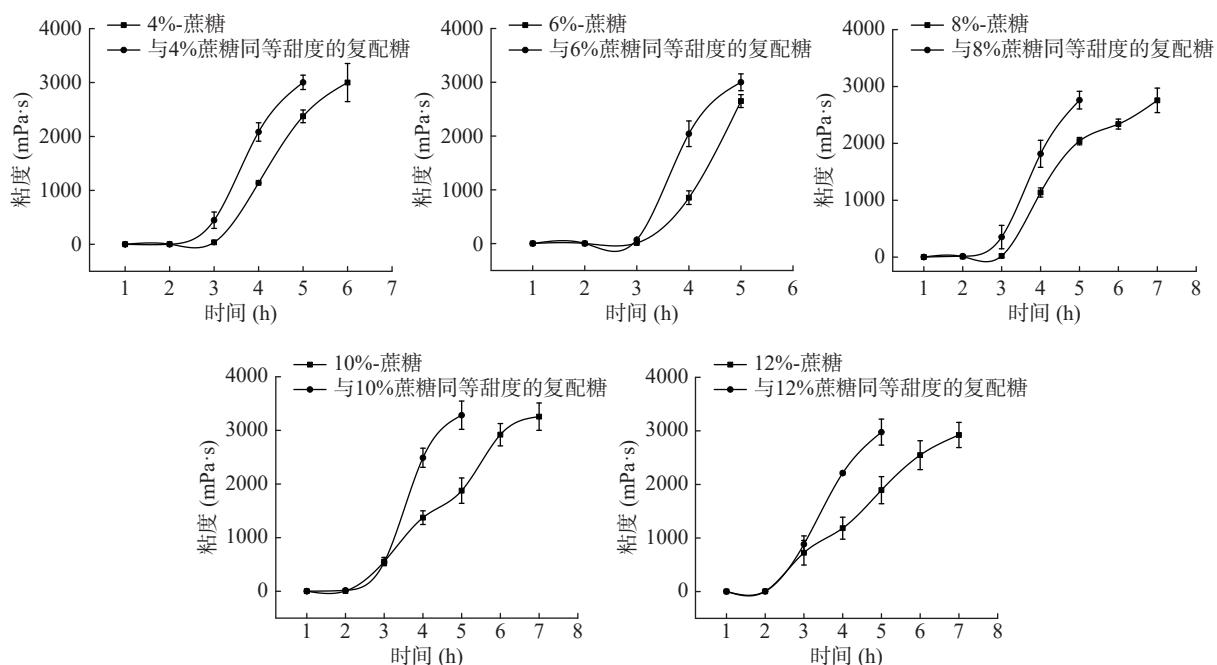


图 6 普通酸奶与同等甜度的无糖酸奶粘度变化

Fig.6 Changes in viscosity between plain yoghurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

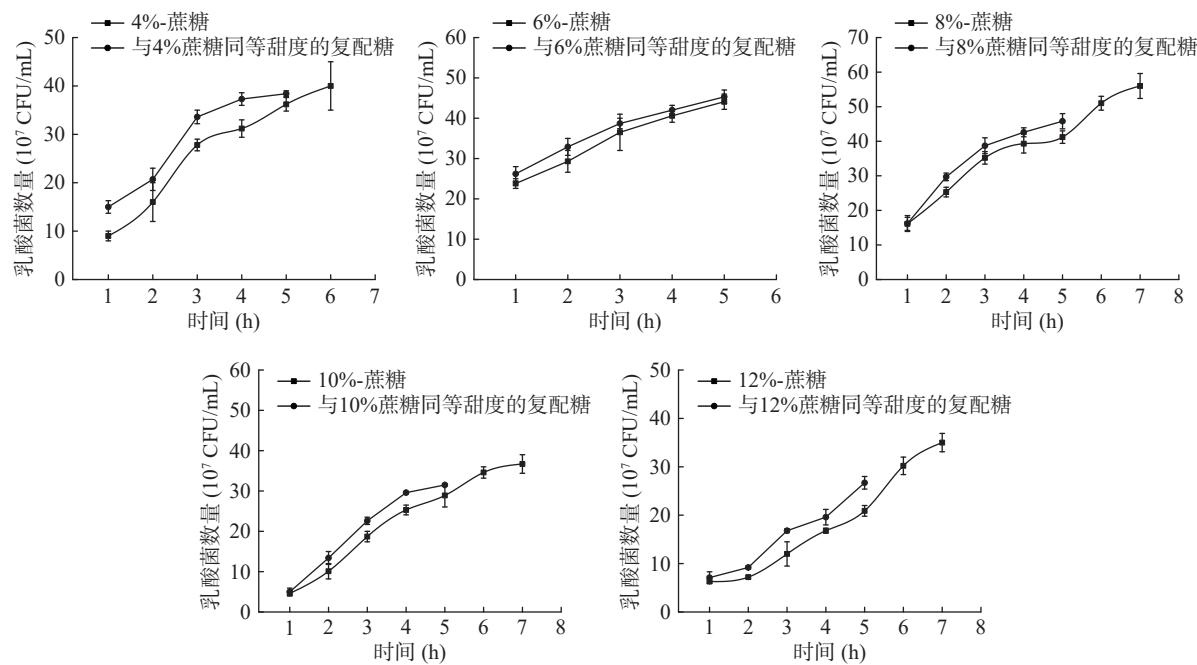


图 7 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶乳酸菌数量变化

Fig.7 Changes in the number of lactic acid bacteria between plain yoghurt and sugar-free yoghurt with the same sweetness

2.6 无蔗糖酸奶与普通酸奶感官评价结果

添加复配糖的无蔗糖酸奶和添加蔗糖的普通酸奶感官评分如图 8 所示。添加 6% 蔗糖的普通酸奶感官评分 89, 同等甜度下添加复配糖的无蔗糖酸奶感官评分 93, 评分较其它浓度的酸奶高。同等甜度下, 4% 蔗糖和复配糖添加量过少不足以掩盖酸奶发酵过程中的酸味, 但组织状态良好; 同等甜度下, 8%、10%、12% 蔗糖和复配糖添加量过高, 滋味过甜。添加量过高会影响到酸奶的凝乳效果^[31], 延长发酵时间, 有少量乳清析出, 出现组织状态不好的现象。6% 的添加量, 酸奶酸甜可口, 且发酵时间适宜, 组织状态均匀, 滋味气味良好。

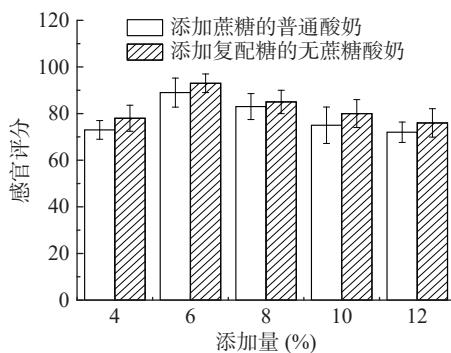


图 8 普通酸奶与同等甜度无蔗糖酸奶感官评分

Fig.8 Sensory score of plain yogurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

2.7 无蔗糖酸奶与普通酸奶气味变化差异

目前, 已被检测出酸奶的风味物质超过 90 种^[32], 乙醛和 2,3-丁二酮(又称双乙酰)通常被认为是酸奶的主要风味物质^[33]。对发酵完成的无蔗糖酸奶和普通酸奶进行电子鼻气味检测, 并进行主成分分析, 如

图 9 所示。发酵结束后, 蔗糖添加量在 4%~12% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶, 主成分 1 和主成分 2 之和大于 95%, 能够很好的反映样品的情况。4%、10% 和 12% 识别指数分别为 86、96 和 95, 均大于 85, 故添加蔗糖浓度为 4%、10%、12% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶气味上具有显著性差异($P<0.05$); 而 6%、8% 识别指数 0.5、32, 均小于 85。因此, 添加蔗糖为 6%、8% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶气味更接近, 无显著性差异($P>0.05$)。

对两种酸奶进行挥发性成分分析, 如表 4~表 5 所示。由表 4~表 5 可知, 添加不同浓度蔗糖、复配糖的普通酸奶和无蔗糖酸奶中分别检测出 31、44 种挥发性成分, 包括酯类、醇类、酮类化合物、烷烃类物质、烯类物质及其他挥发性物质。与普通酸奶相比, 无蔗糖酸奶的挥发性成分较多, 其原因可能是加入的复配糖种类多。添加不同浓度蔗糖的普通酸奶挥发性物质种类不具有显著性差异($P>0.05$), 添加与 12% 蔗糖同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶挥发性成分种类与其他浓度具有显著性差异($P<0.05$)。不同浓度的普通酸奶和无蔗糖酸奶挥发性成分有很大不同, 其原因可能是随着蔗糖、复配糖浓度的增加, 对乳酸菌的代谢产生一定的影响从而产生不同的物质。普通酸奶和无蔗糖酸奶分别产生的丙酸戊酯、正己酸乙酯、戊酸丙酯、庚酸乙酯、丙酸己酯等酯类物质主要起到呈香作用, 例如丙酸戊酯具有苹果香味, 庚酸乙酯具有果香味等。有文献^[34]表明醛类物质在酸奶发酵过程中属于过渡态化合物, 不会过多积累。普通酸奶中检测到 4 种醛类物质, 其中的壬醛是发酵过程中脂肪水解成分, 椰子醛具有椰香味,

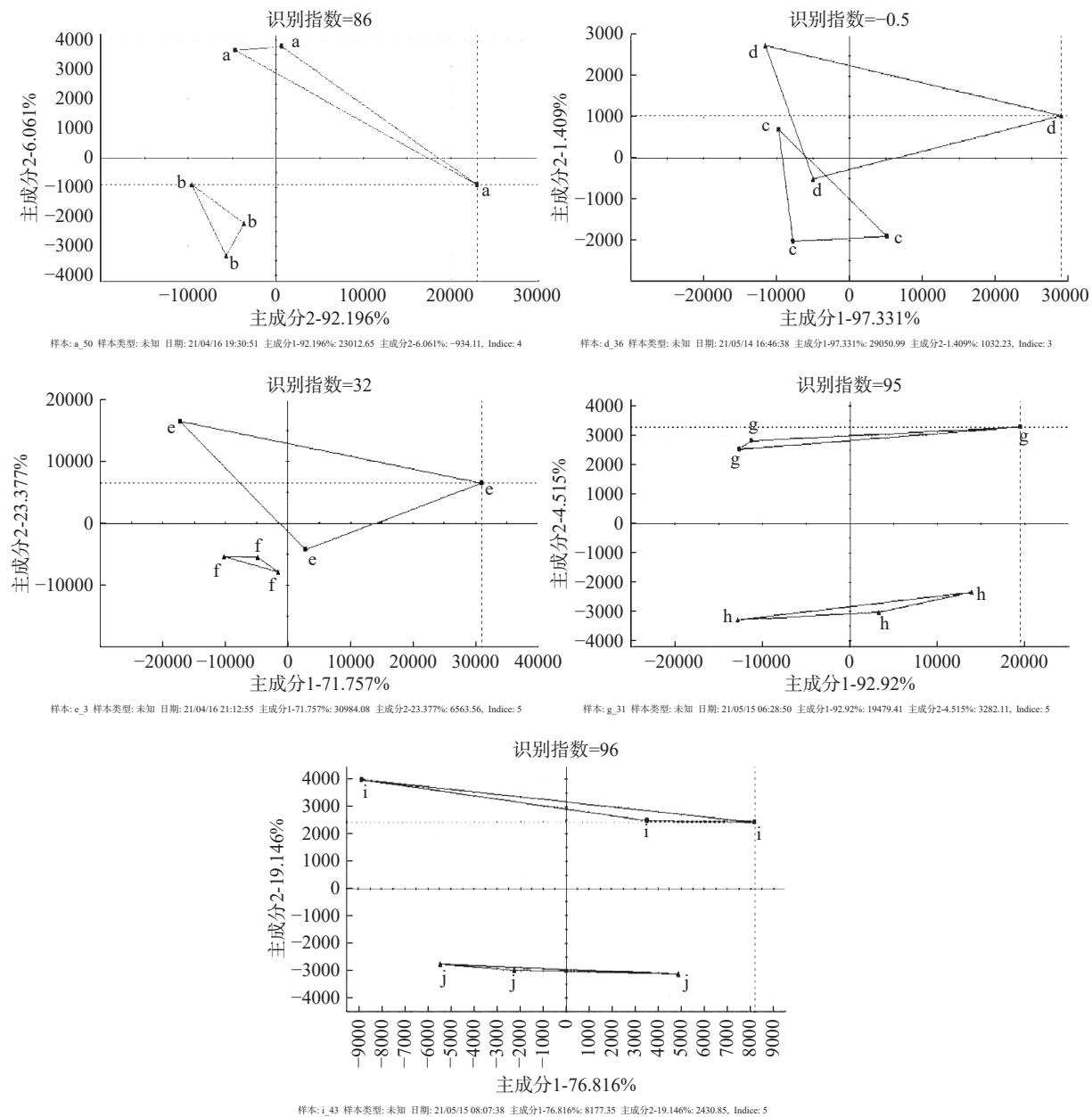


图 9 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶气味主成分分析

Fig.9 Principal component analysis of odour between plain yoghurt and non-sucrose yoghurt with the same sweetness

注: a 为含 4% 蔗糖普通酸奶; b 为 4% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; c 为含 6% 蔗糖普通酸酸奶; d 为 6% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; e 为含 8% 蔗糖普通酸奶; f 为 8% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; g 为含 10% 蔗糖普通酸奶; h 为 10% 蔗糖甜度无糖酸奶; i 为含 12% 普通酸奶; j 为 12% 蔗糖甜度无糖酸奶。

表 4 43 ℃ 添加不同浓度蔗糖的普通酸奶挥发性成分变化

Table 4 Changes of volatile components in plain yogurt with different concentrations of sucrose at 43 ℃

化学名称	浓度				
	4%	6%	8%	10%	12%
正丁烷	211.8	—	—	9385.1	—
环己酮	73.4	87.7	—	341.5	65.1
丙酸戊酯	299.5	—	—	—	123.2
1-辛烯-3-酮	226.1	—	—	—	—
正己酸乙酯	261.3	—	—	—	—
己酸	748.5	—	—	—	—
环己甲酸甲酯	1026.1	—	—	—	—
3-壬醇	815.4	—	—	—	2198.3
壬醛	340.5	2265.3	693.3	—	—

续表 4

化学名称	浓度				
	4%	6%	8%	10%	12%
β-蒎烯	—	52.2	—	475	79.2
3-癸醇	—	224.5	—	—	—
正十三烷	—	184.5	—	—	—
椰子醛	—	63.7	—	—	—
辛酸正丁酯	—	381.5	—	—	—
2,4-二硝基甲苯	—	343	—	—	—
戊酸丙酯	—	—	54.6	—	—
苯甲醇	—	—	1133.2	—	—
环己甲酸乙酯	—	—	74.6	—	—
肉桂酸甲酯	—	—	477.1	—	470.1
壬酸丁酯	—	—	54.5	—	—
姜酮	—	—	97	—	136.9
甲醇	—	—	—	1133.5	—
正丙醇	—	—	—	2594	—
己醛	—	—	—	60.4	—
丙三醇	—	—	—	424.7	—
正癸烷	—	—	—	375.7	—
小茴香醇	—	—	—	460.4	—
月桂醛	—	—	—	382.6	—
双戊烯	—	—	—	—	298.3
小茴香醇	—	—	—	—	447.3
吲哚	—	—	—	—	121.7

表 5 43 ℃ 添加不同浓度复配糖的无蔗糖酸奶挥发性成分变化

Table 5 Changes of volatile components in sucrose-free yogurt supplemented with different concentrations of compound sugar at 43 ℃

化学名称	浓度				
	4%	6%	8%	10%	12%
庚酸甲酯	1167.5	—	—	—	—
正十一烷	694.9	—	—	—	—
小茴香醇	339	—	—	—	—
吲哚	123.4	—	—	—	—
肉桂酸甲酯	443.3	—	—	—	—
1-石竹烯	51.7	—	—	—	—
正辛醛	2057	—	—	—	—
正癸烷	1203.1	1451.2	60.1	—	—
苯酚	664.8	—	—	459.8	—
β-蒎烯	1262.3	1982.8	—	562.2	458.1
正丁烷	—	322.2	300	—	—
环己酮	—	97.4	71.1	—	59.3
环己甲酸甲酯	—	530.9	—	—	186.1
苯甲醇	—	1377.3	—	—	—
异松油烯	—	1846.7	—	—	—
3-甲硫基丙酸乙酯	—	983.6	—	—	—
沉香醇	—	673.7	—	—	—
2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	—	87.4	—	—	—
乙酸癸酯	—	420.9	—	—	—
姜酮	—	94.1	—	—	118.6
七氯化茚	—	65	—	—	—
邻氯甲苯	—	—	703.7	—	—
2-乙酰基吡啶	—	—	2685.4	—	—
庚酸乙酯	—	—	1540.2	—	—
丙酸己酯	—	—	914.8	—	—

续表 5

化学名称	浓度				
	4%	6%	8%	10%	12%
甲酮	—	—	151.4	—	—
正戊基环己烷	—	—	266.8	—	—
肉豆蔻醛	—	—	68.2	—	—
甲醇	—	—	—	1752	—
叔丁醇	—	—	—	575.7	—
异丁醛	—	—	—	5769.2	—
丙醇	—	—	—	1271.2	—
庚烷	—	—	—	1146.8	—
甲基环己烷	—	—	—	78.2	—
己醛	—	—	—	64.6	—
乙酸丁酯	—	—	—	58.2	—
苏合香烯	—	—	—	227.2	—
壬烷	—	—	—	62.6	—
己酸	—	—	—	550.2	—
小茴香醇	—	—	—	1189.2	—
辛酸甲酯	—	—	—	580.8	—
乙酸壬酯	—	—	—	453.5	—
异癸烷	—	—	—	436.1	—
丁酸丁酯	—	—	—	—	255.3

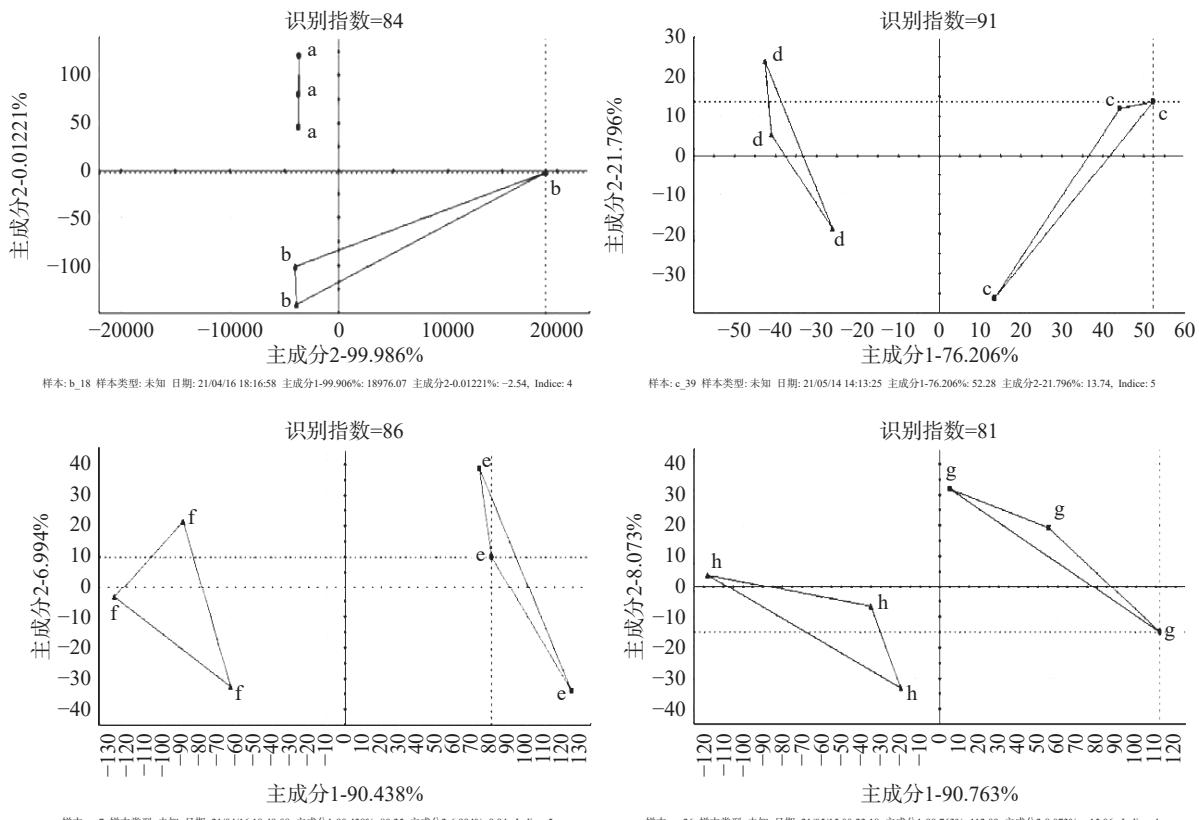
己醛呈生的油脂和青草气及苹果香味, 月桂醛具有醛香和油脂气息, 醛类物质的产生可以综和酸奶发酵过程中的酸味。无蔗糖酸奶产生的正辛醛可以产生甜橙香味, 而肉豆蔻醛具有奶香味。

2.8 无蔗糖酸奶与普通酸奶滋味变化差异

电子舌通过传感器对样品的滋味进行分析^[35], 以客观数据反映样品的酸、甜、苦、咸、鲜等基本味觉感官指标。对不同浓度的两种酸奶进行电子舌检

测, 并进行味觉主成分分析。如图 10 所示, 浓度为 4%、10%、12% 同等甜度的两种酸奶识别指数 84、81、64 均小于 85, 故此三个浓度下的两种酸奶滋味不具有显著性差异($P>0.05$); 而浓度为 6%、8% 同等甜度下的两种酸奶识别指数分别为 91、86 均大于 85, 故两个浓度下的两种酸奶滋味具有显著性差异($P<0.05$)。

在滋味对比方面, 不同浓度同等甜度下的两种



样本: b_18 样本类型: 未知 日期: 21/04/16 18:16:58 主成分1-99.900%: 18976.07 主成分2-0.01221%: -2.54, Indice: 4

样本: c_39 样本类型: 未知 日期: 21/05/14 14:13:25 主成分1-76.206%: 52.28 主成分2-21.796%: 13.74, Indice: 5

样本: c_7 样本类型: 未知 日期: 21/04/16 18:49:08 主成分1-90.438%: 80.25 主成分2-6.994%: 9.94, Indice: 5

样本: g_26 样本类型: 未知 日期: 21/05/15 00:23:18 主成分1-90.763%: 112.09 主成分2-8.073%: -15.06, Indice: 4

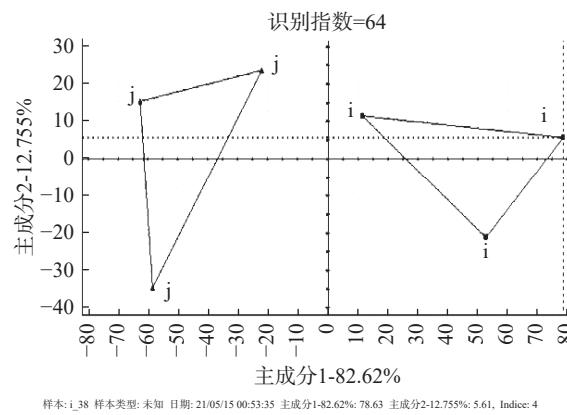


图 10 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶发酵结束滋味主成分分析

Fig.10 Principal component analysis of the final taste of plain yoghurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

注: a 为含 4% 蔗糖普通酸奶; b 为 4% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; c 为含 6% 蔗糖普通酸奶; d 为 6% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; e 为含 8% 蔗糖普通酸奶; f 为 8% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; g 为含 10% 蔗糖普通酸奶; h 为 10% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶; i 为含 12% 普通酸奶; j 为 12% 蔗糖甜度无蔗糖酸奶。

酸奶酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味存在显著性差异 ($P<0.05$) (图 11)。添加复配糖的无蔗糖酸奶酸味强度值均比添加同等甜度蔗糖的普通酸奶大, 但无显著性差异 ($P>0.05$)。蔗糖浓度为 4%、6% 普通酸奶的甜味强度值比添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶甜味强度值大, 其原因可能是两个浓度下的添加复配糖的无蔗糖酸奶乳酸菌数量比普通酸奶乳酸菌数量多, 产酸增多, 甜味物质不足以中和酸味; 蔗糖浓度为 8%、10%、12% 普通酸奶的甜味强度值小于添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶, 这可能是随着蔗糖、复配糖浓度的增加, 复配糖减弱酸味的能力大于同等甜度的蔗糖。添加与 12% 蔗糖同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶的苦味大于添加同等甜度蔗糖的普通酸奶, 相同甜度的两种酸奶在苦味、咸味、鲜味均存在显著性差异 ($P<0.05$)。浓度为 4%、12% 同等甜度下的两种

酸奶鲜味不存在显著性差异 ($P>0.05$), 而浓度为 6%、8%、10% 同等甜度下的两种酸奶鲜味存在显著性差异 ($P<0.05$)。这些滋味成分的差异, 是造成同等甜度的两种酸奶滋味差异的主要原因。但总体滋味, 是这些滋味的综合, 需要通过主成分分析确定。

2.9 无蔗糖酸奶与普通酸奶色泽变化差异

电子眼属于视觉分析, 模拟人眼对样品的感知^[20], 分析样品的整体颜色, 以客观数据展现出来^[36]。通过 IRIS VA400 电子眼检测添加复配糖的无蔗糖酸奶和添加蔗糖的普通酸奶发酵过程及发酵结束时颜色变化, 如图 12 所示。对占比最大的色号 4095(乳白色)进行分析, 发酵结束时不同浓度下的两种酸奶 4095 所占比例均超过 75%。主成分分析结果如图 13 所示, 蔗糖浓度为 4%、10%、12% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶相比, 发酵结束时两

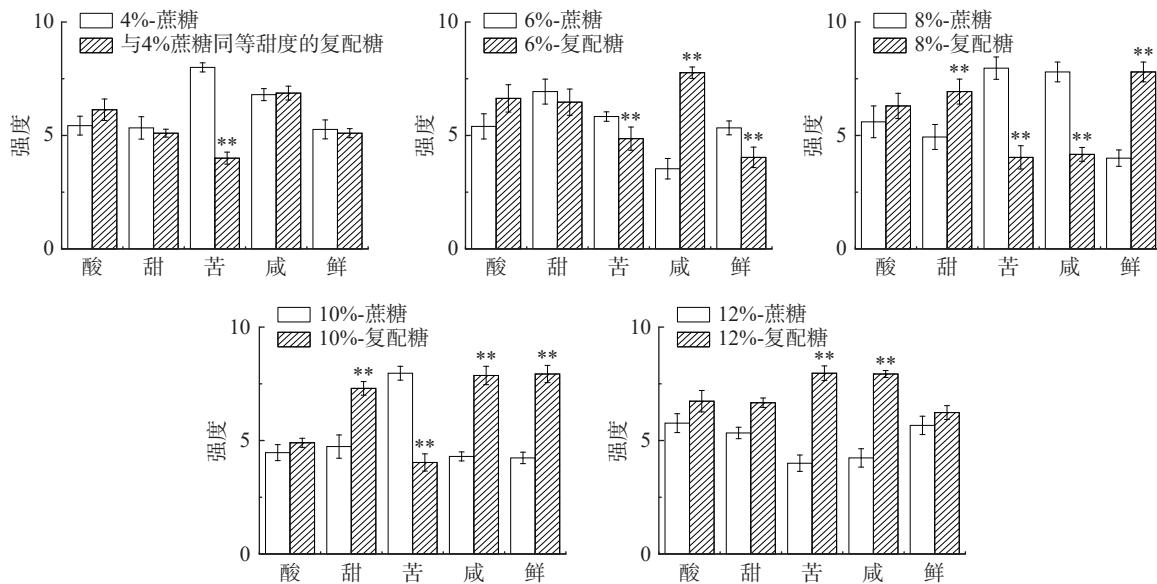


图 11 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶发酵结束滋味强度

Fig.11 Taste intensity at the end of fermentation of plain yogurt and non-sucrose yogurt with the same sweetness

注: *为与同等甜度的普通酸奶同种滋味相比差异显著 ($P<0.05$); **与同等甜度的普通酸奶同种滋味相比差异极显著 ($P<0.01$)。

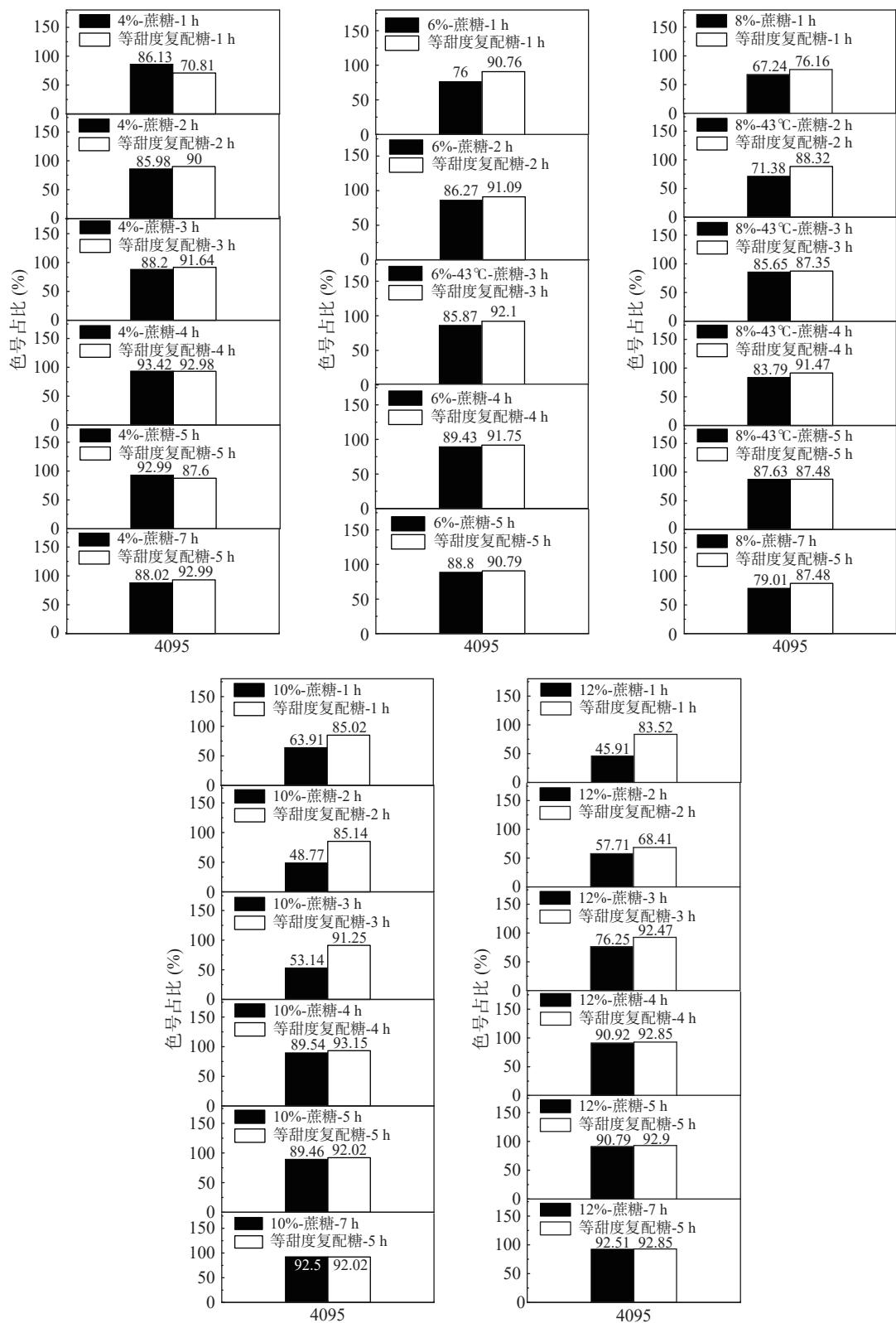


图 12 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶发酵过程 4095 色号变化

Fig.12 Changes of 4095 color number during the fermentation of plain yoghurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

种酸奶识别指数分别为 91、92、95, 均大于 85, 说明此三个浓度下两种酸奶色泽上具有显著性差异 ($P<0.05$)。而蔗糖浓度为 6%、8% 的普通酸奶与添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶相比, 识别指数分别是 72、-2, 均小于 85, 说明这两个浓度下的两种酸奶在色泽上无显著性差异 ($P>0.05$)。因此, 酸奶的色泽

和添加的蔗糖、复配糖浓度不呈线性关系, 是酸奶的一种表现体现。

3 结论

比较发现, 发酵过程中, 相同甜度下, 添加复配糖的无蔗糖酸奶产酸速率显著高于普通酸奶 ($P<0.05$)。发酵 1~3 h 硬度、粘度无显著性差异 ($P>0.05$), 3 h

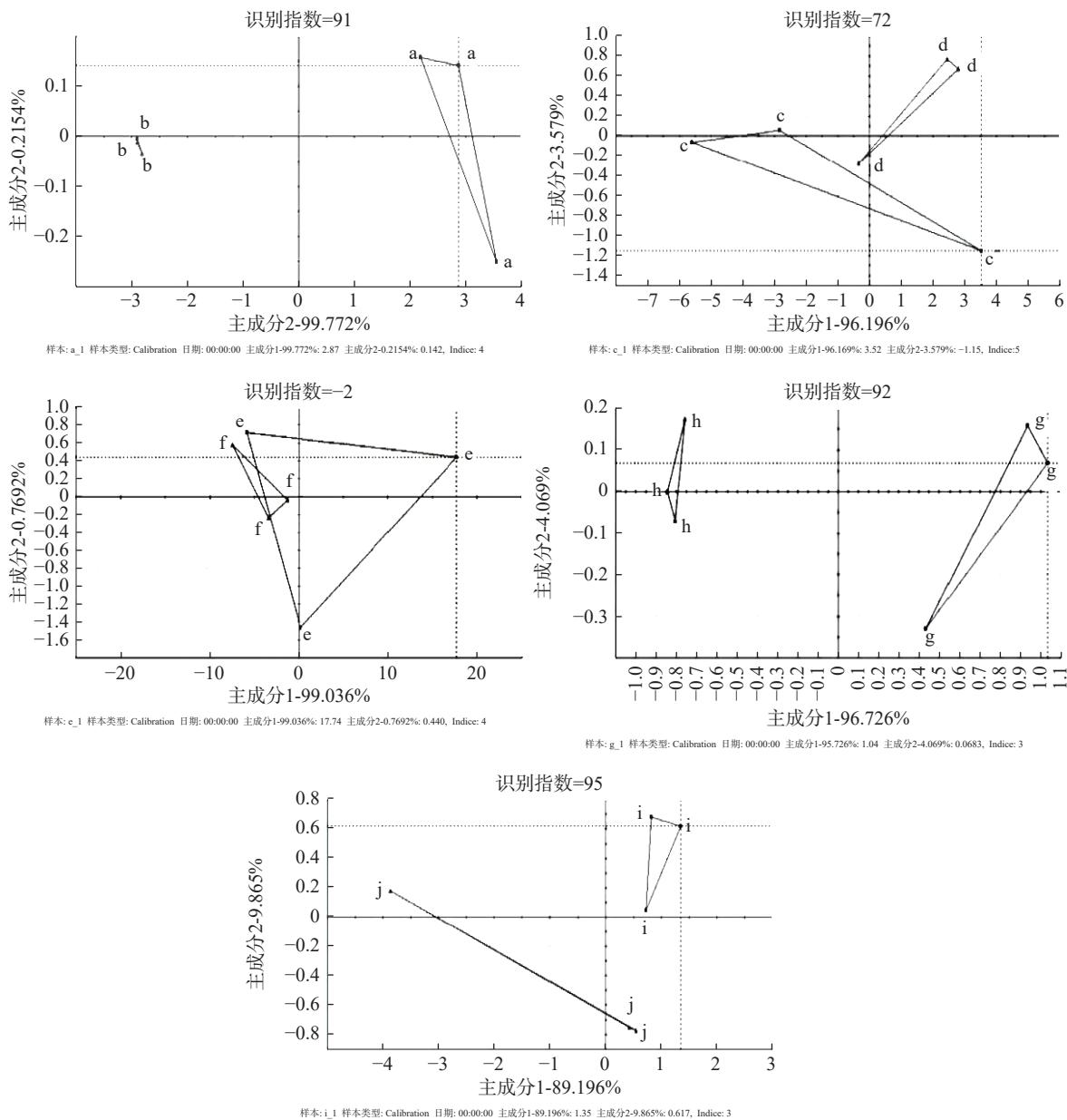


图 13 普通酸奶与同等甜度的无蔗糖酸奶发酵结束色泽主成分分析

Fig.13 Principal component analysis of color at the end of fermentation between plain yogurt and sucrose-free yoghurt with the same sweetness

注: a 为添加 4% 蔗糖的普通酸奶; b 为添加 4% 复配糖的凝固型酸奶; c 为添加 6% 蔗糖的普通酸奶; d 为添加 6% 复配糖的凝固型酸奶; e 为添加 8% 蔗糖的普通酸奶; f 为添加 8% 复配糖的凝固型酸奶; g 为添加 6% 蔗糖的普通酸奶; h 为添加 10% 复配糖的凝固型酸奶; i 为添加 12% 蔗糖的普通酸奶; j 为添加 12% 复配糖的凝固型酸奶。

之后出现显著性差异($P<0.05$)。发酵结束时,普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶乳酸菌数量具有显著性差异($P<0.05$)。经感官评价得到 6% 普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶感官评分最高。气味、滋味、色泽方面,发酵结束时,蔗糖浓度为 4%、10%、12% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶,气味和色泽存在明显变化,在滋味方面无显著性差异($P>0.05$);而蔗糖浓度为 6%、8% 的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶,色泽和气味上无显著性差异($P>0.05$),但在滋味上存在显著性差异($P<0.05$)。经挥发性成分分析,不同浓度的普通酸奶和无蔗糖酸奶共分别检测出 31、

44 种挥发性成分。因此,添加不同浓度的普通酸奶和添加同等甜度复配糖的无蔗糖酸奶存在差异性。

参考文献

- [1] 杨仁琴,印伯星.酸奶加工技术研究进展[J].食品工业,2017,38(6): 243-247. [YANG R Q, YIN B X. Research progress of yogurt processing technology[J]. Food Industry, 2017, 38(6): 243-247.]
- [2] BROWN I J, STAMLER J, VAN HORN L, et al. Sugar-sweetened beverage, sugar intake of individuals, and their blood pressure: International study of macro/micronutrients and blood pressure[J]. *Hypertension*, 2011, 57(4): 695-701.
- [3] CRINO M, SACKS G, VANDEVIJVERE S, et al. The influence on population weight gain and obesity of the macronutrient

- composition and energy density of the food supply[J]. *Current Obesity Reports*, 2015, 4(1): 1–10.
- [4] 樊秀霞, 王波. 低脂无糖酸奶的研制[J]. 农业与技术, 2017, 37(11): 165–166. [FAN X X, WANG B. Development of low-fat and sugar-free yogurt[J]. *Agriculture and Technology*, 2017, 37(11): 165–166.]
- [5] 朱明婧, 刘博, 李飞飞. 天然甜味剂研究进展与开发前景分析[J]. *中国调味品*, 2015, 40(11): 136–140. [ZHU M Q, LIU B, LI F F. Research progress and development prospect of natural sweeteners[J]. *China Seasoning*, 2015, 40(11): 136–140.]
- [6] 王艳宏, 栾宁, 樊建, 等. 中药功能性软糖的研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2019, 44(24): 5345–5351. [WANG Y H, LUAN N, FAN J, et al. Research progress of traditional Chinese medicine functional gummy[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2019, 44(24): 5345–5351.]
- [7] 张蕴哲, 郝亚利, 贾丽娜. 菠萝燕麦无糖酸奶的加工工艺研究[J]. *农产品加工*, 2017, 16(10): 37–39. [ZHANG Y Z, HAO Y L, JIA L N. Research on processing technology of pineapple oat sugar-free yogurt[J]. *Agricultural Products Processing*, 2017, 16(10): 37–39.]
- [8] 孙芝杨. 南瓜、山药复合型无糖酸奶的研究[J]. *食品工业*, 2013, 34(1): 92–95. [SUN Z Y. Study on compound sugar-free yogurt of pumpkin and yam[J]. *Food Industry*, 2013, 34(1): 92–95.]
- [9] 尤丽新, 刘书嘉, 杨柳, 等. 搅拌型葛花汁无糖酸乳的研制[J]. *中国酿造*, 2012, 31(10): 183–187. [YOU L X, LIU S J, YANG L, et al. Preparation of stirring type kudzu juice sugar-free yogurt[J]. *China Brewing*, 2012, 31(10): 183–187.]
- [10] 姚晶, 李瑞东, 乔巍. 无糖山药酸奶的研制[J]. *现代食品*, 2020, 6(4): 84–86, 93. [YAO J, LI R D, QIAO W. Development of sugar-free yam yogurt[J]. *Modern Food*, 2020, 6(4): 84–86, 93.]
- [11] 左锋, 董洋洋, 钱丽丽, 等. 酶解米糠制作无糖酸奶的工艺研究[J]. *中国酿造*, 2014, 33(8): 159–162. [ZUO F, DONG Y Y, QIAN L L, et al. Research on the process of enzymatic hydrolysis of rice bran to make sugar-free yogurt[J]. *China Brewing*, 2014, 33(8): 159–162.]
- [12] 傅樱花. 无糖鹰嘴豆酸奶的研制[J]. *食品工业*, 2012, 33(8): 41–42. [FU Y H. Development of sugar-free chickpea yogurt[J]. *Food Industry*, 2012, 33(8): 41–42.]
- [13] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品酸度的测定: GB 5009.239-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission. National food safety standard for determination of food acidity: GB 5009.239-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [14] 卫生部. 食品安全国家标准 发酵乳: GB 19302-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010. [Ministry of Health. National food safety standard fermented milk: GB 19302-2010[S]. Beijing: China Standard Press, 2010.]
- [15] 吴惠娟. 天然甜味剂甜菊糖的应用与发展前景[J]. *食品界*, 2019, 9(1): 96, 98. [WU H J. Application and development prospect of natural sweetener stevia[J]. *Food Industry*, 2019, 9(1): 96, 98.]
- [16] 周金燕. 甜菊糖甜味特性与食品应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011. [ZHOU J Y. Research on sweetness properties and food application of stevia[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.]
- [17] 童芳. 花生酸奶的制备、营养成分及品质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020. [TONG F. Preparation, nutritional components and quality of peanut yogurt[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.]
- [18] 陈文, 刘璇, 杨春晓, 等. 赤藓糖醇生产及在食品工业上应用的研究进展[J]. *食品工业*, 2018, 39(2): 266–269. [CHEN W, LIU X, YANG C X, et al. Research progress on erythritol production and application in food industry[J]. *Food Industry*, 2018, 39(2): 266–269.]
- [19] DAVOUDI S, BEHBAHANI M, SHIRANI E, et al. Influence of sucrose, glucose, stevia leaf and sativoside on the growth and lactic acid production by *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* and *Lactobacillus casei*[J]. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 2016, 40(4): 275–279.
- [20] HWA H J, JUN P Y, TAE K H, et al. Identification of new, old and mixed brown rice using freshness and an electronic eye[J]. *Korean Journal of Crop Science*, 2018, 63(2): 98–105.
- [21] 杨慧, 步雨珊, 刘奥, 等. 产细菌素植物乳杆菌 Q7 对酸奶后酸化及品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(3): 30–35. [YANG H, BU Y S, LIU A, et al. Effects of bacteriocin-producing *Lactobacillus plantarum* Q7 on post-acidification and quality of yogurt[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(3): 30–35.]
- [22] 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): 21–25. [WANG W, ZHAO X H. Effects of fermentation temperature and ultrasonic treatment on the texture of solidified yogurt[J]. *China Dairy Industry*, 2008, 36(12): 21–25.]
- [23] 何辉. 影响酸奶硬度和粘度的因素[J]. *食品科技*, 1997, 23(5): 29. [HE H. Factors affecting the hardness and viscosity of yogurt[J]. *Food Science and Technology*, 1997, 23(5): 29.]
- [24] 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): 26–31. [ZHOU Y, LI W, PENG Z F, et al. Effects of sea buckthorn polysaccharide on gel properties of fermented milk and optimization of sea buckthorn polysaccharide yogurt process[J]. *China Dairy Industry*, 2020, 48(7): 26–31.]
- [25] 李海平, 周登云, 付荷蓉, 等. 滑菇多糖对发酵酸奶品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(7): 188–194. [LI H P, ZHOU D Y, FU H R, et al. Effects of polysaccharides of shrimp mushroom on the quality of fermented yogurt[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2019, 45(7): 188–194.]
- [26] 张亚雄, 肖淑芳, 熊泽. 酸奶发酵中以甜菊糖代替蔗糖初探[J]. *中国食品添加剂*, 1995, 6(3): 13–15. [ZHANG Y X, XIAO S F, XIONG Z. Preliminary study on replacing sucrose with stevioside in yogurt fermentation[J]. *China Food Additives*, 1995, 6(3): 13–15.]
- [27] 沈辉, UMUKAMA C S, MANA E N, 等. 酸乳发酵凝乳过程中的理化性质和生物活性[J]. *无锡轻工大学学报*, 2000, 19(5): 443–445. [SHEN H, UMUKAMA C S, MANA E N, et al. Physicochemical properties and biological activity of yogurt fermented and curdled[J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry*, 2000, 19(5): 443–445.]

- 2000, 19(5): 443–445.]
- [28] 杨同香, 王芳, 李全阳. 温度对酸乳中乳酸菌胞外多糖作用机制的研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 58–61. [YANG T X, WANG F, LI Q Y. Study on the mechanism of action of temperature on *Lactobacillus* exopolysaccharides in yogurt [J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 33(9): 58–61.]
- [29] DOMAGAL A J. Instrumental texture, syneresis and micro-structure of yoghurts prepared from goat, cow and sheep milk [J]. *International Journal of Food Properties*, 2009, 12(3): 605–615.
- [30] 吕乐, 张可毅, 赵鹏, 等. 乳酸菌 USTB-08 的高效培养和生产乳酸 [J]. 北京科技大学学报, 2012, 34(5): 602–607. [LÜ L, ZHANG K Y, ZHAO P, et al. Efficient culture and production of lactic acid by lactic acid bacteria USTB-08 [J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2012, 34(5): 602–607.]
- [31] 林浩鹏, 刘亚琼, 梁梦帆, 等. 商品发酵剂对凝固型核桃酸奶品质的影响研究 [J]. 中国乳品工业, 2020, 48(4): 60–64. [LIN H P, LIU Y Q, LIANG M F, et al. Study on the effect of commercial starter on the quality of solidified walnut yogurt [J]. *China Dairy Industry*, 2020, 48(4): 60–64.]
- [32] 耿明雪, 刘小鸣, 赵建新, 等. 基于组学及感官评价的酸奶风味研究 [J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(7): 250–257. [GENG M X, LIU X M, ZHAO J X, et al. Research on yogurt flavor based on omics and sensory evaluation [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2018, 44(7): 250–257.]
- [33] FRIEDRICH J E, ACREE T E. Gas Chromatography Olfactometry (GC/O) of dairy products [J]. *International Dairy Journal*, 1998, 8(3): 235–241.
- [34] 高鑫, 李博, 梅俊. 桑椹凝固型酸奶挥发性风味成分的分析 [J]. 食品工业, 2018, 39(5): 215–218. [GAO X, LI B, MEI J. Analysis of volatile flavor components in mulberry coagulated yogurt [J]. *Food Industry*, 2018, 39(5): 215–218.]
- [35] YAO H, XU Y L, LIU W, et al. Taste compounds generation and variation of broth in pork meat braised processing by chemical analysis and an electronic tongue system [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2021, 45(3): e13766–e13766.
- [36] CETÓ X, PÉREZ S. Voltammetric electronic tongue for vinegar fingerprinting [J]. *Talanta*, 2020, 219: 121253.