

电子舌联合微生物测序技术分析贮运温度对巴氏杀菌乳品质的影响

丁瑞雪¹, 耿丽娟², 刘丽云³, 洛 雪¹, 史海粟¹, 武俊瑞^{1,*}

(1.沈阳农业大学食品学院,辽宁 沈阳 110866; 2.沈阳市食品检验所,辽宁 沈阳 110136;

3.蒙牛乳业(沈阳)有限责任公司,辽宁 沈阳 110100)

摘要:采用电子舌联合高通量测序两种快速现代检测技术,对5个不同温度下贮藏不同时间的巴氏杀菌乳样品进行感官品质和细菌多样性测定,进一步利用统计学软件分别对各样品种感值及细菌种类作主成分和关联性分析,揭示贮运温度对巴氏杀菌乳感官品质和微生物的影响规律,以及主要残留微生物与巴氏杀菌乳贮运期间感官品质之间的关系。结果表明:巴氏杀菌乳在0、4、10 °C贮藏3 d内皆能保持良好的乳香味,在15、25 °C条件下贮藏会导致甜味的显著下降。而随着贮藏温度升高及时间延长,微生物的生长也导致了巴氏杀菌乳的发酵腐败,细菌多样性及群落结构与巴氏杀菌乳感官品质显著相关。研究发现,气单胞菌属(*Aeromonas*)、阪崎肠杆菌(*Cronobacter*)、沙雷氏菌(*Serratia*)、梭状芽孢杆菌(*Clostridium*)菌属对鲜味影响最小,同时与巴氏杀菌乳的苦味、咸味、甜味呈现负相关性。除此以外,其他属水平物种皆对苦味呈现显著的正相关性。因此,这些菌属可能是致使乳品发生腐败变质的关键因素,这为更好地分析微生物组成与品质变化的相互影响性,快速、精确判定乳制品的品质变化提供了理论基础。

关键词:巴氏杀菌乳;电子舌;感官分析;微生物多样性

Effects of Storage Temperature on Pasteurized Milk Quality Analyzed by Electronic Tongue Combined with High Throughput Sequencing

DING Ruixue¹, GENG Lijuan², LIU Liyun³, LUO Xue¹, SHI Haisu¹, WU Junrui^{1,*}

(1. School of Food Science and Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Shenyang Food Inspection Institute, Shenyang 110136, China;

3. Mengniu Dairy Co. Ltd., Liaoning Province, Shenyang 110100, China)

Abstract: In this study, an electronic tongue was used to evaluate the taste profiles of pasteurized milk samples stored at five different temperatures for different periods. Sensory evaluation was also carried out on these samples, and bacterial diversity was analyzed by high-throughput sequencing. Furthermore, statistical software was used to perform principal component analysis and correlation analysis on the taste values and the bacterial species, aiming to uncover the influence of storage temperature on the sensory quality and microbial diversity of pasteurized milk and the relationship between the main residual microorganisms in pasteurized milk and its sensory quality during storage and transportation. The results showed that pasteurized milk could maintain good milky aroma within 3 d of storage at 0, 4 or 10 °C, while its sweetness significantly dropped when stored at 15 or 25 °C. The bacterial count increased with the increase of storage temperature and storage time, leading to the fermentation and spoilage of pasteurized milk, and the bacterial diversity and community structure were significantly correlated with the sensory quality of pasteurized milk. This study also found that *Aeromonas*, *Cronobacter*, *Serratia* and *Clostridium* had the least influence on the fresh taste, and showed negative correlations with the bitterness, saltiness and sweetness of pasteurized milk. In addition, all other species showed significantly positive correlations with the bitter taste. Therefore, these bacteria may be the key factors leading to the deterioration and spoilage of milk products. This study provides a theoretical basis for better understanding the interaction

收稿日期: 2018-09-18

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31871831); 沈阳市重点科技研发计划项目(17-189-9-00);

沈阳农业大学“天柱山英才”支持计划项目; 辽宁省自然科学基金指导计划项目(2019-ZD-0714)

第一作者简介: 丁瑞雪(1994—)(ORCID: 0000-0001-9296-535X),女,硕士研究生,研究方向为乳制品微生物。

E-mail: drxfood@163.com

*通信作者简介: 武俊瑞(1977—)(ORCID: 0000-0003-3419-0108),男,教授,博士,研究方向为食品微生物。

E-mail: junruiwu@126.com

between bacterial species composition and quality changes, as well as for the rapid and accurate determination of quality changes in dairy products.

Keywords: pasteurized milk; electronic tongue technology; sensory analysis; microbial diversity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180918-187

中图分类号: TS252

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 22-0047-06

引文格式:

丁瑞雪, 耿丽娟, 刘丽云, 等. 电子舌联合微生物测序技术分析贮运温度对巴氏杀菌乳品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 47-52. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180918-187. <http://www.spkx.net.cn>

DING Ruixue, GENG Lijuan, LIU Liyun, et al. Effects of storage temperature on pasteurized milk quality analyzed by electronic tongue combined with high throughput sequencing[J]. Food Science, 2019, 40(22): 47-52. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180918-187. <http://www.spkx.net.cn>

巴氏杀菌乳是通过低温杀菌的一种乳品, 这种杀菌方法最大限度的保留了原料乳中固有的营养成分及风味^[1-2]。因此在国内外迅速地发展起来, 得到了消费者的认可^[3-6]。巴氏杀菌乳的气味和味道是评价其品质的重要手段。电子舌是近年来研究的热门话题, 与传统的化学分析方法相比, 区别在于传感器输出不是样品成分的分析结果, 而是与样品某些特征相关的信号模式, 这些信号可以通过具有模式识别能力的计算机分析获得, 然后整体评估样品的味道特征^[7-10]。电子舌的应用避免了人为感官鉴评中产生客观因素的影响, 利用不同的滋味传感器能更加准确地评估乳制品不同滋味的感官评分。Toko等^[11]将电子舌技术应用于牛奶分析, 利用主成分分析、偏最小二乘回归模型等分析方法验证了电子舌可以很好地区别不同热处理工艺、不同贮藏时间、温度下的牛乳^[12-14]。现如今, 已经有很多实验尝试使用电子舌分析乳制品, 包括味道、风味、新鲜度、微生物生长监测等评估^[15-17]。这为现代乳品企业和相关监管机构提供了新的研究思路和有效手段^[18-20]。

由于巴氏杀菌乳杀菌温度较低, 冷链温度并不总是保持在推荐范围内, 由此增加了食品在储存过程中变质和潜在致病性微生物生长的风险^[21-22]。因而不能杀死鲜乳中全部的微生物和酶, 依然存在致病菌等未消灭的菌株^[23]。Ławniczaka等^[24]在巴氏杀菌乳门店冰箱冷藏贮存售卖期间的温度及品质变化的研究中一般都采用传统的纯培养方式探究贮藏条件下巴氏杀菌乳微生物的变化情况。然而, 随着高通量测序技术在乳品生态位中的大量应用, 特别是那些基于16S rRNA细菌种类分类和培养独立技术的工具, 使得对整个微生物生态系统的评估更加精确^[25-26], 这为探索乳制品中复杂的微生物世界提供了条件。本实验采用高通量测序技术测定了不同贮藏条件下巴氏杀菌乳微生物多样性的变化, 同时结合电子舌味感指标更精准分析、评价微生物的物种变化情况, 以期为今后的研究提供更加系统的评价依据。

1 材料与方法

1.1 材料

采集GZ、CG、HS三家乳业正常工艺当天生产的巴氏杀菌乳制品样品, 置于冰盒中, 运回实验室。将采集的3家巴氏杀菌乳混合均匀, 分别置于0、4、10、15、25 ℃恒温箱中进行贮藏, 并分别于0、3、6、9、12、15 d进行取样, 备用进行后续实验。

1.2 仪器与设备

InsentSA402B电子舌 日本Insent公司; YCD-EL259医用冷藏冷冻箱 中科美菱低温科技股份有限公司; HN-50S电热恒温培养箱 邦西仪器科技(上海)有限公司; MIR-254-PC低温恒温培养箱 日本松下健康医疗器械公司; Axy Prep DNA凝胶回收试剂盒AXYGEN公司; TGL-168高速台式离心机、超低温冰箱、微量紫外-分光光度计聚合酶链式反应扩增仪德国Eppendorf公司。

1.3 方法

1.3.1 乳业的工艺条件

GZ乳业的工艺条件: 原奶验收→净乳→预巴杀→冷藏→定容检验→预热均质→巴氏杀菌→冷藏罐装→成品。

CG乳业的工艺条件: 原奶验收→净乳→均质→巴氏杀菌→降温罐装→成品。

HS乳业的工艺条件: 原料乳的验收→过滤与净化→标准化→均质→巴氏杀菌→冷却灌装→成品。

1.3.2 感官评价

根据RHB 101—2004《巴氏杀菌乳感官质量评鉴细则》^[27]中巴氏杀菌乳的感官质量评鉴细则, 选用20位以乳制品专业为基础, 经过感官分析培训的女性评审员(29~59岁)^[28]进行对于巴氏杀菌乳的滋气味、组织状态和色泽进行感官评鉴。用于感官评鉴的牛奶样品在环

境温度20 ℃统一呈送^[28], 每种样品的各个参数重复品评2次, 结果取平均值, 作为判定结果。

1.3.3 电子舌检测及味感测定方法

电子舌的检测参数为: 最大电位1.00 V、最小电位-1.00 V、点位步进0.2 V、电极灵敏度0.000 1。取适量体积的巴氏杀菌乳于专用小杯中, 电子舌的传感器在各个样品中的采集测量30 s, 清洁330 s。每种样品测量5次。电子舌利用电化学传感器通过测定液体样本的综合味觉信息, 从而对被测试样进行定量和定性分析。

1.3.4 巴氏杀菌乳中细菌种类的测定方法

取不同贮藏条件下的样品10 mL放入离心管中, 离心后去除乳脂层, 再次离心后收集沉淀按照DNA试剂盒要求进行提取并利用16S rRNA聚合酶链式反应扩增, 本实验中的每个样本扩增3份, 按物质的量比例混合后在MiSeq测序平台进行测序。

1.4 数据分析方法

1.4.1 感官评价的数据分析方法

绘制雷达图, 分析比较巴氏杀菌乳在不同贮藏条件下的感官特性。评价特性及指标见表1。

表1 巴氏杀菌乳感官评分^[27]

Table 1 Criteria for sensory evaluation of pasteurized milk

项目	特征	得分
滋味和 气味 (60分)	具有全脂巴氏杀菌乳的纯香味, 无其他异味	60
	具有的全脂巴氏杀菌乳纯香味, 稍淡, 无其他异味	59~55
	具有的全脂巴氏杀菌乳固有的香味, 且此香味延展至口腔的其他部位, 或舌部难以感觉到牛乳的纯香, 或具有蒸煮味	56~53
	有轻微饲料味	54~51
	滋、气味平淡, 无乳香味	52~49
	有不清洁或不新鲜滋味和气味	50~47
组织状态 (30分)	有其他异味	48~45
	呈均匀的流体。无沉淀、无凝块、无机械杂质、无黏稠和浓厚现象, 无脂肪上浮现象	30
	有少量脂肪上浮现象外基本呈均匀的流体。无沉淀、无凝块、无机械杂质、无黏稠和浓厚现象	29~27
	有少量沉淀或严重脂肪分离	26~20
	有黏稠和浓厚现象	20~10
	有凝块或分层现象	10~0
色泽 (10分)	呈均匀一致的乳白色或稍带微黄色	10
	均匀一色, 但显黄褐色	8~5
	色泽不正常	5~0

1.4.2 电子鼻和电子舌的数据分析方法

利用电子舌对不同贮藏条件下的各样品进行酸、苦、涩、甜、咸和鲜6个值的测试, 并且各样品平行测定3次, 绘制雷达图用于主成分分析。

1.4.3 巴氏杀菌乳中细菌种类的分析方法

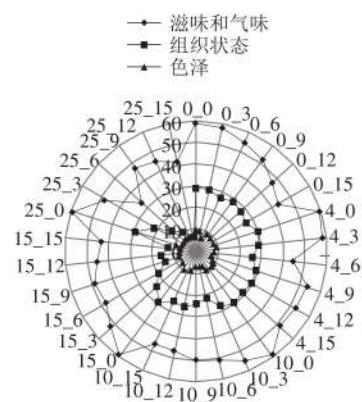
在97%的相似性水平上归类和确定分类单位数量, 同时结合电子舌检测结果确定巴氏杀菌乳在不同贮藏

条件下的细菌种类变化情况。使用QIIME (quantitative insights into microbial ecology) 软件去除低质量序列, 做成热图, 再进行生物信息学分析。

2 结果与分析

2.1 感官评价分析

图1为巴氏杀菌乳样品感官特性的描述性检验得分雷达图。分析不同贮藏条件下巴氏杀菌乳滋味、组织状态、色泽评分的变化。



图中数据代表温度-时间, 如0-0代表在0 ℃贮藏0 d; 0-3代表0 ℃贮藏3 d, 依次类推。图3同。

图1 不同贮藏条件下巴氏杀菌乳感官特性雷达图

Fig. 1 Radar diagram of sensory characteristics of pasteurized milk under different storage conditions

由图1可知, 随着贮藏温度升高、时间延长, 巴氏杀菌乳滋味气味的评分呈趋势性的下降。巴氏杀菌乳在0、4、10 ℃贮藏时其滋味评分下降缓慢, 在3 d内都能保持有乳香味。而巴氏杀菌乳的组织状态同样在0、4、10 ℃贮藏下时无明显下降趋势, 证明此温度下无沉淀和脂肪分离的情况。而从15 ℃开始, 随着贮藏时间的延长, 下降趋势愈加显著。相同的, 巴氏杀菌乳在低温贮藏条件下普遍呈现乳白色, 随着温度的升高, 逐步达到黄褐色, 此变化或许与其出现黏稠的组织状态有关。

2.2 电子舌评价分析

由图2可知, 不同贮藏温度、时间下的巴氏杀菌乳的各个味感值有明显的变化。0 ℃贮藏不同时间各味感变化最为明显。而巴氏杀菌乳在其他贮藏温度条件下, 随着贮藏温度升高和、时间的延长, 鲜味及苦味值发生略微的下降, 而其涩味值则有轻微的上升现象。巴氏杀菌乳在贮藏过程中其特有的香甜味是主要变化指标, 因此, 巴氏杀菌乳在15、25 ℃条件贮藏后都会导致甜味的显著下降。而随着贮藏温度及时间的增加, 可能微生物

的生长也导致了巴氏杀菌乳的发酵腐败，使其酸味值显著上升。

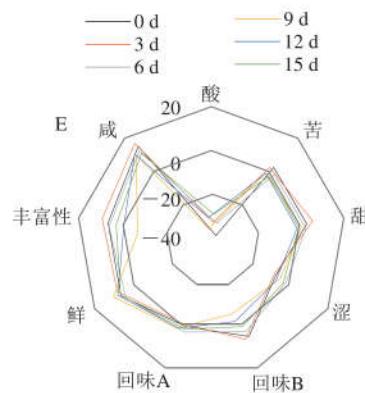
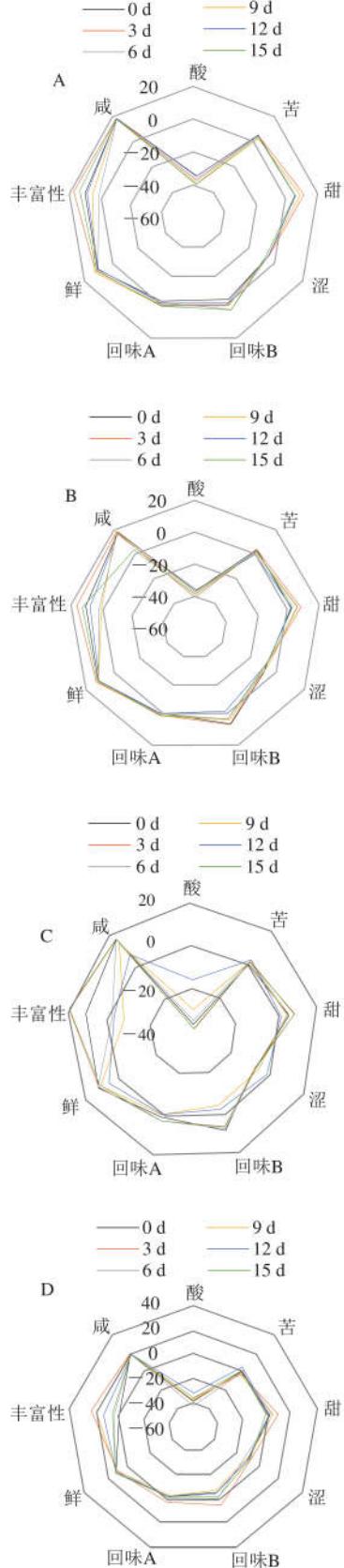


图2 贮藏在0(A)、4(B)、10(C)、15(D)、25℃(E)巴氏杀菌乳电子舌雷达图

Fig. 2 Radar maps of electronic tongue responses to pasteurized milk samples stored at 0 (A), 4 (B), 10 (C), 15 (D) and 25 °C (E)

2.3 巴氏杀菌乳电子舌味感与细菌多样性主成分分析

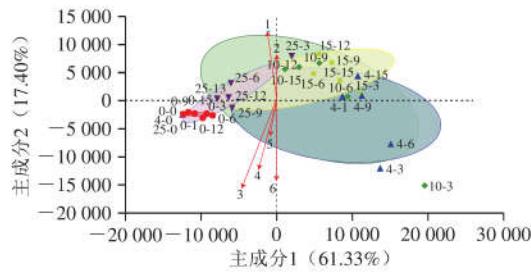


图3 巴氏杀菌乳电子舌味感与其属水平上细菌多样性主成分分析
Fig. 3 Principal component analysis of electronic tongue taste and bacterial diversity of pasteurized milk

如图3可知，图中主成分1、主成分2保留了78.73%的原始数据信息。以上不同颜色标记是基于不同温度划分的5组组分，两样本点越接近，表明两样本物种组成越相似。不同样品之间微生物多样性的差异可以通过图中各样本点的距离表征，两样本点相聚越近证明其微生物多样性越相似。同时，电子舌味感的数量型会被显示成向量，样本点到数量型电子舌味感向量的投影距离表示样本受该环境因子影响大小。研究发现，属水平上的各样品到向量1酸味、向量2涩味味感投影距离接近于0或为负值。这表明巴氏杀菌乳样品中的微生物组成与酸、涩两种味感的相关性较小。而其他样品到向量3苦味、向量4咸味、向量5鲜味、向量6甜味味感的投影距离大多为正值，因此猜测其与乳中细菌多样性密切相关。相关研究也表明，某些微生物属水平物种皆对苦味呈现着显著的正相关性^[29]。同时，Wei Zhenbo等^[30]研究也发现，在贮藏过程中，牛奶样品的理化性质在主成分分析图中也表现出类似的规律性。

2.4 巴氏杀菌乳电子舌味感与细菌多样性相关性热图分析

如图4所示，巴氏杀菌乳电子舌味感与细菌多样性密切相关。研究发现，各细菌菌属对鲜味味感的

影响最小, 气单胞菌属 (*Aeromonas*)、阪崎肠杆菌 (*Cronobacter*)、沙雷氏菌 (*Serratia*)、梭状芽孢杆菌 (*Clostridium*) 甚至与其呈现负相关性。同样的, 上述物种菌属也都对巴氏杀菌乳的苦味、咸味、甜味有着负相关性。有研究表明, 某些孢子形成细菌在冷藏条件下生长, 会导致蛋白水解酶对牛奶种的主要成分进行分解, 从而影响其感官质量^[29]。并且, 除气单胞菌属、梭状芽孢杆菌、沙雷氏菌、类芽孢杆菌 (*Paenibacillus*)、假单胞菌 (*Pseudomonas*) 外, 其他属水平物种皆对苦味呈现着显著的正相关性, 这些菌属可能会是致使乳品发生腐败变质的关键因素。相关研究也证实了, 即使这种能力只存在于某些属/种, 包括类芽孢杆菌、绿芽孢杆菌属 (*Viridibacillus* spp.)^[31], 但这些菌株依然是牛奶在冷藏条件下变质的主要原因。

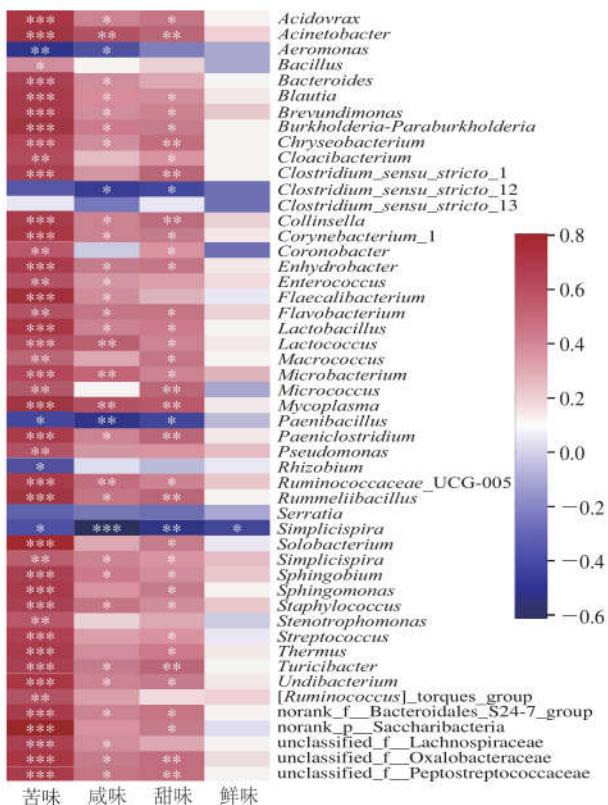


图4 巴氏杀菌乳电子舌味感与细菌多样性相关性热图分析

Fig. 4 Heatmap analysis of the relationship between electronic tongue taste and bacterial diversity in pasteurized milk

3 讨论

使用电子舌技术对乳制品样品进行分析, 发现与人类味觉相比, 味觉传感器具有更高的灵敏度。三点检验法品评出来的正确区分人数作为食品整体品质指标, 结合Arrhenius动力学方程确定了鲜牛奶、豆奶的货架期预

测模型并进行货架期预测。发现基于电子舌差别度方法预测的豆奶感官货架期偏差较大, 比实际值高, 但预测出的微生物货架期却比微生物方法的预测结果更为精确^[32]。Yoshida等^[33]利用味觉传感器客观地测定了24位健康母亲和14位乳腺炎母亲的乳汁的4种基本味道——酸味、咸味、苦味和鲜味。研究发现, 初乳向成熟牛奶的转变伴随着牛奶味道的变化, 如咸味和鲜味降低, 苦味和酸味增加。在这种情况下, 由于钠、谷氨酸盐和磷酸鸟苷的含量增加, 牛奶中鲜味和咸味增加最终导致炎症的产生。本研究发现, 不同贮藏温度、时间下的巴氏杀菌乳均具有苦、咸、甜味及鲜味, 酸味、涩味微弱, 通过对测量数据进行检验发现, 随着贮藏温度升高和时间增加, 巴氏杀菌乳的咸、鲜、涩及苦味有明显的变化。

同时, Mizota等^[34]也对牛奶的味道进行了研究, 发现在牛奶均质过程中能够检测到细微的微生物变化^[35]。在牛奶储存过程中, 除了微生物的生长以外, 使用偏最小二乘法和人工神经网络预测牛奶样品中的细菌生长过程也提供了令人满意的实验结果^[36]。在贮藏过程中, 对牛奶样品的细菌总数、酸度和黏度进行了测定, 其理化性质在主成分分析图中表现出规律性。结果表明, 该方法可用于监测未密封巴氏灭菌奶的质量储存时间^[30]。相关研究结果表明, 未封口的巴氏杀菌奶样品在-4℃存储后, 利用电子舌法能够准确预测牛奶样品种的细菌总数和黏度^[37]。例如, 一些腐败微生物(如假单胞菌属、不动杆菌属等)能够破坏乳品的品质条件, 从而对乳品企业的售卖带来明显的经济损失^[38]。同时, 研究发现, 与乳制品行业相关的孢子形成菌(蜡样芽孢杆菌、梭状芽孢杆菌)^[39], 是作为奶粉质量检测的重要指标(嗜热菌)^[40], 其可能会限制液态奶的保质期^[30]。因此, 微生物群落的组成取决于乳制品中存在的微生物及其储存条件所带来的影响^[41-42]。本实验采用电子舌对于不同贮藏条件下的巴氏杀菌乳进行感官评价, 研究分析鲜、咸、涩味下降的原因, 这可能与巴氏杀菌乳中微生物的大量繁殖造成其品质腐败有关, 高通量测序结果发现在贮藏期间含有气单胞菌、芽孢杆菌、沙雷氏菌、类芽孢杆菌、假单胞菌等菌属的存在, 它们直接或间接影响着巴氏杀菌乳的味感及品质。同时, 由大量数据分析结果也验证了电子舌仪器的稳定性及各传感器的分辨能力。将电子舌技术应用于检测不同新鲜度、不同热处理来源的乳制品, 再通过微生物、理化等方面结合能够更好地探究乳制品中更为复杂的微生物世界提供了条件。

参考文献:

- [1] CLAEYS W L, CARDOEN S, DAUBE G, et al. Raw or heated cow milk consumption: review of risks and benefits[J]. Food Control, 2013, 31(1): 251-262. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.09.035.

- [2] 王辉, 吕加平, 刘鹭, 等. 耐热蛋白酶对UHT乳蛋白的水解作用[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 228-231.
- [3] MOTTA J, NAUDTS M. 巴氏杀菌乳与超高温灭菌乳及瓶(罐)装灭菌乳的品质比较研究[J]. 中国乳业, 2005(7): 50-54. DOI:10.16172/j.cnki.114768.2005.07.014.
- [4] 巫庆华, 龚广予. 巴氏杀菌牛乳和UHT牛乳的差别[J]. 乳业科学与技术, 2003, 26(4): 149-153. DOI:10.15922/j.cnki.jdst.2003.04.001.
- [5] 谢爱英, 党亚丽, 李芳芳, 等. 不同巴氏杀菌条件对酸奶品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 14-17.
- [6] 张竟丰, 王丽, 陈洵, 等. 乳及乳制品中常见“活的非可培养态”食源致病菌研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(3): 300-306. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171022-233.
- [7] 雷永杰, 张巧新, 张烨. 电子舌普通传感器研究进展[J]. 传感器与微系统, 2007, 26(2): 4-7. DOI:10.3969/j.issn.1000-9787.2007.02.002.
- [8] 王军, 胡贵贤, 于勇. 电子鼻和电子舌在食品检测研究进展中的应用[J]. 农业工程, 2004, 20(2): 292-295. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2004.02.069.
- [9] 黄兴业, 张浩宇, 赵杰文. 电子舌技术在食品领域的研究与应用[J]. 食品科技, 2007, 32(7): 20-24. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2007.07.006.
- [10] 董莉, 刘登勇, 谭杨. 肉品质评价方法的研究进展[J]. 肉类研究, 2014, 28(4): 32-37.
- [11] TOKO K, IYOTA T, MIZOTA Y, et al. Heat effect on the taste of milk studied using a taste sensor[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1995, 34: 6287-6291.
- [12] DIAS L A, PERES A M, VELOSO A C A, et al. An electronic tongue taste evaluation: identification of goat milk adulteration with bovine milk[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2009, 136: 209-217. DOI:10.1016/j.snb.2008.09.025.
- [13] 吴从元, 王俊, 叶盛. 电子舌响应信号与牛奶理化指标的典型相关分析[J]. 传感技术学报, 2010, 23(1): 5-9. DOI:10.3969/j.issn.1004-1699.2010.01.002.
- [14] 吴从元, 王俊, 韦真博. 电子舌预测不同体积分数牛奶的表观黏度[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 226-230. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2010.06.039.
- [15] 范佳利, 韩剑众, 田师一. 基于电子舌的乳制品品质特性及新鲜度评价[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(6): 177-181. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2009.06.043.
- [16] 范佳利, 韩剑众, 田师一. 基于电子舌的掺假牛乳的快速检测[J]. 中国食品学报, 2011, 11(2): 202-207. DOI:10.16429/j.1009-7848.2011.02.031.
- [17] 范佳利, 韩剑众, 田师一. 电子鼻和电子舌在乳制品品质及货架期监控中的应用研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 343-346. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2009.11.073.
- [18] 陈冬梅, 周媛. 电子舌技术及其在食品工业中的应用[J]. 现代农业科技, 2010(7): 26-29. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2010.07.006.
- [19] HARTYANI P, DALMADI I, CSERHALMI Z, et al. Physical-chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus juices[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12(3): 255-260. DOI:10.1016/j.ifset.2011.04.008.
- [20] REINHARD H, SAGER F, ZOLLER O. Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1906-1912. DOI:10.1016/j.lwt.2007.11.012.
- [21] ROSSVOLL E, RONNING H T, GRANUM P E, et al. Toxin production and growth of pathogens subjected to temperature fluctuations. simulating consumer handling of cold cuts[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 185: 82-92. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.05.020.
- [22] SCHMIDT V S J, KAUFMANN V, KULOZIK U, et al. Microbial biodiversity, quality and shelf life of microfiltered and pasteurized extended shelf life (ESL) milk from Germany, Austria and Switzerland[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 154(1/2): 1-9. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.002.
- [23] PEARCE L E, SMYTHE B W, CRAWFORD R A, et al. Pasteurization of milk: the heat inactivation kinetics of milk-borne dairy pathogens under commercial-type conditions of turbulent flow[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(1): 30-35. DOI:10.3168/jds.2011-4556.
- [24] LAWNICZAKA P, POGORZELEC-GLASERA K, PIETRASZKO A, et al. Impedance spectroscopy studies of proton conductivity in imidazolium malonate[J]. Solid State Ionics, 2017, 305: 25-30. DOI:10.1016/j.ssi.2017.02.013.
- [25] ERCOLINI D, RUSSO F, TORRIERI E, et al. Changes in the spoilage-related microbiota of beef during refrigerated storage under different packaging conditions[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(7): 4663-4671. DOI:10.1128/aem.00468-06.
- [26] JÄÄSKELÄINEN E, HULTMAN J, PARSHINTSEV J, et al. Development of spoilage bacterial community and volatile compounds in chilled beef under vacuum or high oxygen atmospheres[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 223: 25-32. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.022.
- [27] 中国乳制品工业协会. 巴氏杀菌乳感官质量评鉴细则: RHB101—2004[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [28] NIELSEN S D, JANSSON T, LE T T, et al. Correlation between sensory properties and peptides derived from hydrolysed-lactose UHT milk during storage[J]. International Dairy Journal, 2017, 68: 23-31. DOI:10.1016/j.idairyj.2016.12.013.
- [29] SAMARŽIJA D, ZAMBERLIN S, POGACIC T. Psychrotrophic bacteria and their negative effects on milk and dairy products quality[J]. Mljekarstvo/Dairy, 2012, 62(2): 77-95. DOI:10.1186/1297-9686-44-10.
- [30] WEI Z B, WANG J, ZHANG X. Monitoring of quality and storage time of unsealed pasteurized milk by voltammetric electronic tongue[J]. Electrochimica Acta, 2013, 88: 231-239. DOI:10.1016/j.electacta.2012.10.042.
- [31] IVY R A, RANIERI M L, MARTIN N H, et al. Identification and characterization of psychrotolerant sporeformers associated with fluid milk production and processing[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2012, 78(6): 1853-1864. DOI:10.1128/AEM.06536-11.
- [32] 程时文. 基于电子舌差别的鲜牛奶、豆奶货架期预测方法研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2017.
- [33] YOSHIDA M, SHINOHARA H, SUGIYAMA T, et al. Taste of milk from inflamed breasts of breastfeeding mothers with mastitis evaluated using a taste sensor[J]. Breastfeeding Medicine, 2014, 9(2): 92-97. DOI:10.1089/bfm.2013.0084.
- [34] MIZOTA Y, MATSUI H, IKEDA M, et al. Flavor evaluation using taste sensor for UHT processed milk stored in cartons having different light permeabilities[J]. Milchwissenschaft-milk Science International, 2009, 64(2): 143-146. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.08.004.
- [35] YAMADA H. Highly sensitive discrimination of taste of milk with homogenization treatment using a taste sensor[J]. Materials Science and Engineering: C 1997, 5(1): 41-45. DOI:10.1016/S0928-4931(97)00021-0.
- [36] WINQUIST F, KRANTZRÜLKER C, WIDE P, et al. Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry[J]. Measurement Science & Technology, 1998, 9(12): 1937. DOI:10.1088/0957-0233/9/12/002.
- [37] WEI Z, WANG J, ZHANG X. Monitoring of quality and storage time of unsealed pasteurized milk by voltammetric electronic tongue[J]. Electrochimica Acta, 2013, 88: 231-239. DOI:10.1016/j.electacta.2012.10.042.
- [38] PINU F. Early detection of food pathogens and food spoilage microorganisms: application of metabolomics[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 54: 213-215. DOI:10.1016/j.tifs.2016.05.018.
- [39] DOYLE C J, GLEESON D, JORDAN K, et al. Anaerobic sporeformers and their significance with respect to milk and dairy products[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 197: 77-87. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.022.
- [40] BIENVENUE A. Dairy spore seminar and spore 101[C]. Arlington, VA: US Dairy Export Council, 2014.
- [41] PARPALANI F F, HAROUTOUNIAN S A, NYCHAS G J, et al. Microbiological spoilage and volatiles production of gutted European sea bass stored under air and commercial modified atmosphere package at 2 °C[J]. Food Microbiology, 2015, 50: 44-53. DOI:10.1016/j.fm.2015.03.006.
- [42] GRAM L, RAVN L, RASCH M, et al. Food spoilage-interactions between food spoilage bacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 78(1/2): 79-97. DOI:10.1016/s0168-1605(02)00233-7.