



食品科学

Food Science

ISSN 1002-6630, CN 11-2206/TS

《食品科学》网络首发论文

题目：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
作者：丁瑞雪，明丽艳，刘显琦，洛雪，史海粟，武俊瑞
收稿日期：2018-09-18
网络首发日期：2018-12-17
引用格式：丁瑞雪，明丽艳，刘显琦，洛雪，史海粟，武俊瑞. 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/OL]. 食品科学.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20181214.1353.044.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

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, 明丽艳², 刘显琦¹, 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)

摘要: 巴氏杀菌乳保质期极短, 贮运温度对其风味品质的影响极大。本研究主要采用了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味感值及细菌种类作主成分和关联性分析, 试图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℃ 下贮藏 3 d 内皆能保持良好的乳香味, 在 15℃、25℃ 条件下贮藏会导致甜味的显著下降。而随着贮藏温度及时间的增加, 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, *Aeromonas* (气单胞菌属)、*Cronobacter* (阪崎肠杆菌)、*Serratia* (沙雷氏菌)、*Costridium* (梭状芽胞杆菌) 菌属对鲜味味感的影响最小, 同时对巴氏杀菌乳的苦味、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, 这为更好的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 were analyzed by electronic tongue combined with microorganism sequencing

DING Ruixue¹, MING Liyan², LIU Xianqi¹, 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)

Abstract: The shelf life of pasteurized milk is very short, and its storage and transportation temperature has great influence on its flavor quality. In this study, two rapid modern detection technologies of electronic tongue combined with high-throughput sequencing were used to determine the sensory quality and bacterial diversity of five pasteurized milk samples stored at different temperatures and at different times. Furthermore, statistical software was used to analyze the main components and correlation of various taste values and bacterial species, in an attempt to reveal the influence of storage temperature on the sensory quality and microorganism of pasteurized milk, and the relationship between the main microorganisms and the sensory quality of pasteurized milk during storage and transportation. The results show that the pasteurized milk under 0 °C, 4 °C, 10°C storage within the 3 d can keep good incense smell, under the condition of 15°C, 25°C storage can lead to a significant drop of sweetness. With the increase of storage temperature and time, the growth of microorganisms also led to the fermentation corruption of pasteurized milk, and the bacterial diversity and community structure were significantly correlated with the sensory quality of pasteurized milk. The study found that *Aeromonas*, *Cronobacter*, *Serratia*

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。

第一作者简介: 丁瑞雪 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为: 乳制品微生物。E-mail: drxfood@163.com

* 通讯作者简介: 武俊瑞 (1977—), 男, 博士, 副教授, 研究生导师, 研究方向为: 食品微生物
E-mail: junruiwu@126.com

and *Costridium* had the least influence on flavor and taste, and showed negative correlation on the bitterness, saltiness and sweetness of pasteurized milk. In addition, all other species showed significant positive correlation to bitter taste. Therefore, these fungi may be the key factors that lead to corruption and deterioration of milk products, which provides a theoretical basis for better analysis of the interaction between species composition and quality changes, as well as rapid and accurate determination of quality changes of dairy products.

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

中图分类号: TS252

文献标志码: A

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别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的评估乳制品不同滋味的感官评分。Toko 首次将电子舌技术应用于牛奶分析^[11],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的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,已经有很多试验尝试使用电子舌来分析乳制品,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 and 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]。Pawel 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来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。本试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,同时结合电子舌味觉指标更精准的分析、评价微生物的物种变化情况,这为今后的研究提供了更加系统的评价依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

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℃ 五种不同温度的恒温箱中进行贮藏,并分别于 0d、3d、6d、9d、12d、15d 进行取样,备用进行后续试验。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。

1.2 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 PCR 扩增仪,德国 Eppendorf 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 感官评价

根据RHB 101-2004标准^[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℃下统一呈送^[28]，每种样品的各个参数重复品评两次，结果取平均值，作为判定结果。

1.3.2 电子舌检测及味感测定方法

电子舌的检测参数为：最大电位为+1.00V，最小电位为-1.00V，点位步进：0.2V，电极灵敏度为0.0001。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30s，清洁330s。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。

1.3.3 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 10mL 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，本试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表^[27]

Table 1 pasteurized milk sensory scoring rules

项目	特征	得分
滋味和气味 (60)	具有全脂巴氏杀菌乳的纯香味，无其它异味	60
	具有的全脂巴氏杀菌乳纯香味，稍淡，无其它异味	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它部位，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
	有其它异味	48-45
	呈均匀的流体。无沉淀，无凝块，无机械杂质，无粘稠和浓厚现象，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，无粘稠和浓厚现象。	29-27
	有少量沉淀或严重脂肪分离	26-20
组织状态 (30 分)	有粘稠和浓厚现象	20-10
	有凝块或分层现象	10-0
	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 (10 分)	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。

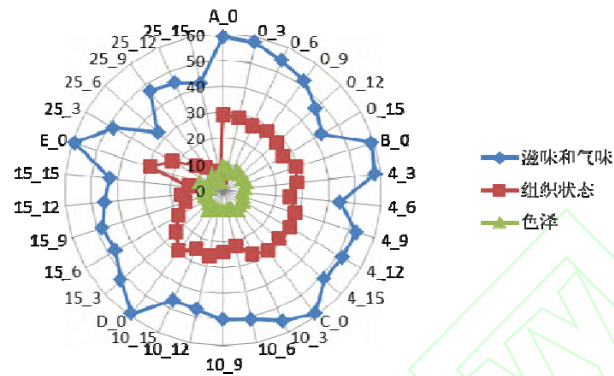


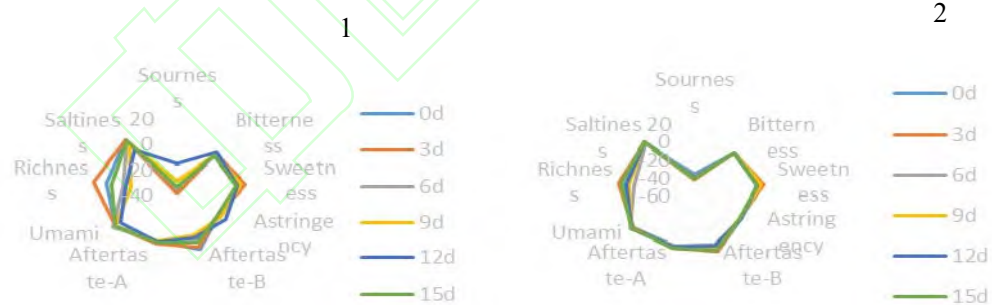
图 1 不同贮藏条件下巴氏杀菌乳感官特性雷达图

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、时间的增加，巴氏杀菌乳滋气味的评分有着趋势性的下降。巴氏杀菌乳在 0°C、4°C、10°C 下贮藏时其滋气味评分下降缓慢，在 3d 内都能保持有乳香味。而巴氏杀菌乳的组织状态同样在 0°C、4°C、10°C 贮藏时无明显下降趋势，证明此温度下无沉淀和脂肪分离的情况。而从 15°C 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，随着温度的增加，逐步达到黄褐色，此变化或许与其出现粘稠的组织状态有关。

2.2 电子舌评价分析

以不同贮藏时间为主，观察不同贮藏时间条件下巴氏杀菌乳在各贮藏温度下各味感值的变化情况，做成雷达图，如图 2 所示。



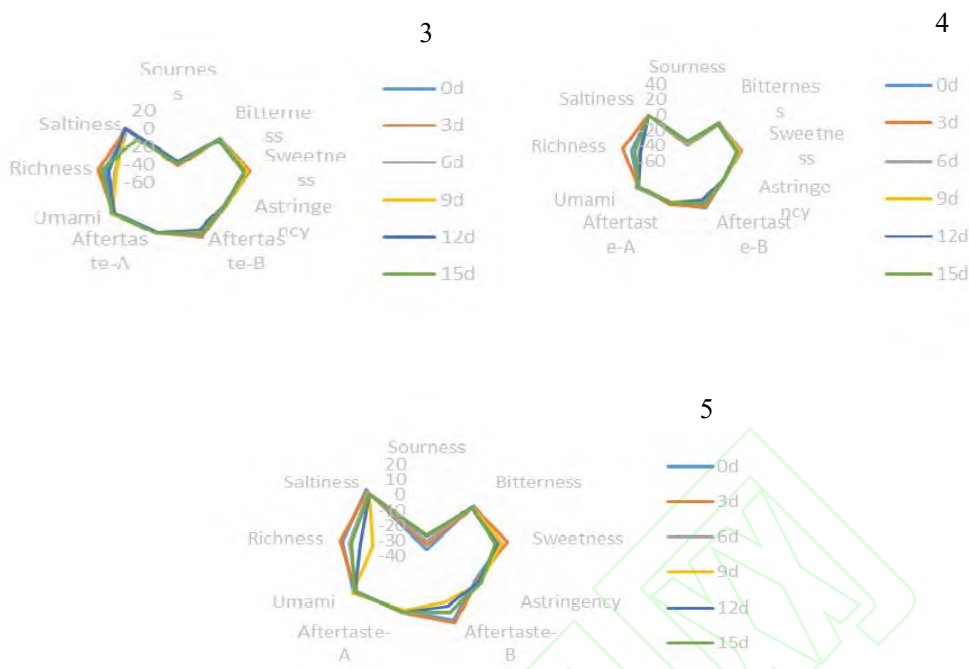


图 2 贮藏于 0℃ (1)、4℃ (2)、10℃ (3)、15℃ (4)、25℃ (5) 巴氏杀菌乳电子舌雷达图

Fig 2 Stored at 0℃ (1)、4℃ (2)、10℃ (3)、15℃ (4)、25℃ (5) pasteurized milk electronic tongue radar map

由图 2 可知，可看出不同贮藏温度、时间下的巴氏杀菌乳的各个味感值有明显的变化。巴 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、时间的增加，鲜味及苦味值发生略微的下降，而其涩味值则有着轻微的上升现象。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，从雷达图中可知巴氏杀菌乳在 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，使其酸味值显著性地上升。

2.3 巴氏杀菌乳电子舌味感与细菌多样性主成分分析

基于电子舌的不同味感与巴氏杀菌乳中细菌多样性的主成分分析结果，如图3所示。

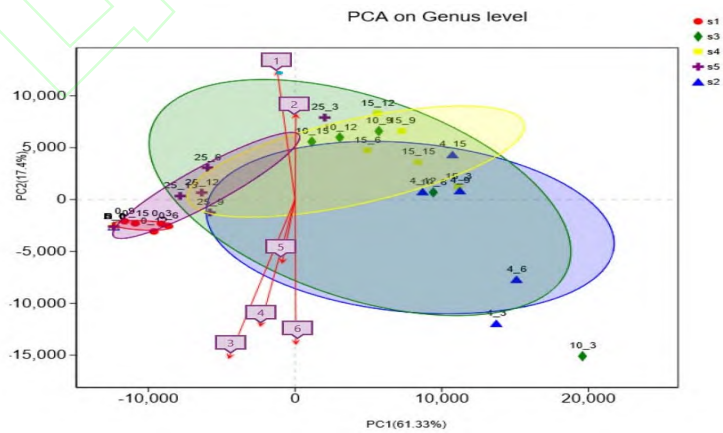


图3 巴氏杀菌乳电子舌味感与其属水平上细菌多样性主成分分析

Fig.3 Electronic tongue taste of pasteurized milk and analysis of bacterial diversity

如图3可知，图中主成分1（PC1）、主成分2（PC2）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 Sourness（酸味）、向量2 Astingency(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 Bitterness（苦味）、向量4 Saltiness（咸味）、向量5 Umami（鲜味）、向量6 Sweetness（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，Zhen的研究也发现，在贮藏过程中，牛奶样品的理化性质在PCA和CA图中也表现出类似地规律性^[30]。

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

分别采用 Bitterness（苦味）、Saltiness（咸味）、Sweetness（甜味）、Umami（鲜味）为观测值进行相关性热图分析，结果如图4所示。

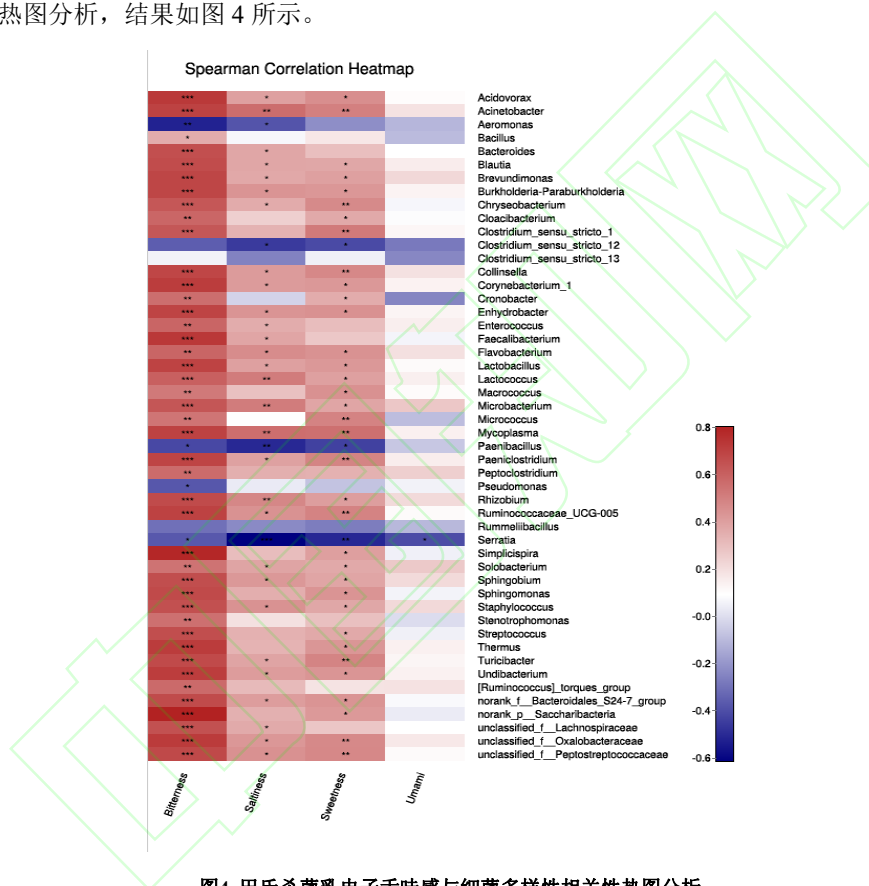


图4 巴氏杀菌乳电子舌味感与细菌多样性相关性热图分析

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

由图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，Aeromonas（气单胞菌属）、Cronobacter(阪崎肠杆菌)、Serratia（沙雷氏菌）、Clostridium（梭状芽胞杆菌）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Aeromonas（气单胞菌属）、Clostridium（梭状芽胞杆菌）、Serratia（沙雷氏菌）、Paenibacillus（类芽孢杆菌）、Pseudomonas（假单胞菌）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Paenibacillus spp（类芽孢杆菌）、Viridibacillus spp（绿芽孢杆菌属）^[31]，但这些菌株依然是牛奶在冷藏条件下变质的主要原因。

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四种基本味道——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口味的变化,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^[33]。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,随着贮藏温度和时间的增加,巴氏杀菌乳的咸、鲜、涩及苦味有明显的变化。

同时,Mizota等人^[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(PLS)和人工神经网络(ANNs)预测牛奶样品中的细菌生长过程也提供了令人满意的试验结果^[36]。在贮藏过程中,对牛奶样品的细菌总数、酸度和粘度进行了测定,其理化性质在PCA和CA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]。有相关研究表明,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群的细菌总数和粘度^[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,有研究发现,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],他们可能会限制液态奶的保质期^[30]。因此,这种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]。本试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的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. Food Control, 2013, 31(1): 251-262.
- [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. 中国乳业, 2005, (7): 50-54.
- [4]巫庆华, 龚广予. 巴氏杀菌牛乳和 UHT 牛乳的差别.乳业科学与技术,2003,26(4):149-153.
- [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(09): 14-17.
- [6]张竞丰, 王丽, 陈洵, 等. 乳及乳制品中常见“活的不可培养态”食源致病菌研究进展[J/OL].食品科学,2018.1-9
- [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.
- [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.
- [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(7):20-24.
- [10]董莉, 刘登勇, 谭杨. 肉品质评价方法的研究进展[J].Meat Research, 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. 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.
- [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.

- [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粘度[J].农业工程学报,2010,26(6):226-230.
- [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.
- [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.
- [17]范佳利, 韩剑众, 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,2009,11(6):343-346.
- [18]陈冬梅, 周媛. 电子舌技术及其在食品工业中的应用.现代农业科技 2010(7):26-29.
- [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. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*,2011,12(3): 255-260.
- [20]REINHARD H, SAGER F, ZOLLER O. Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(10):1906-1912.
- [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. *Int. J. Food Microbiol.* 2014. (185): 82–92.
- [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. *Int. J. Food Microbiol.* 2012, (154): 1–9.
- [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". *Journal of Dairy Science.* 2012. 95 (1): 20–35.
- [24]PAWEL, ŁAWNICZAK, KATARZYNA, et al. Impedance spectroscopy studies of proton conductivity in imidazolium malonate[J]. *Solid State Ionics*, 2017.
- [25]JERCOLINI D, RUSSO F, TORRIERI E., et al. Changes in the spoilage related microbiota of beef during refrigerated storage under different packaging conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 2016, 72, 4663–4671.
- [26]JAASKELAINEN E., HULTMAN J., PARSHINTSEV J, et al. Development of spoilage bacterial community and volatile compounds in chilled beef under vacuum or high oxygen atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 223, 25–32.
- [27]巴氏杀菌乳感官质量评鉴细则. 中国乳制品工业行业规范 RHB101-2004
- [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.
- [29]SAMAR Z D, ZAMBERLIN S., & POGA C T. Psychrotrophic bacteria and milk and dairy products quality. *Mljekarstvo.* 2012, 62(2) 77e95.
- [30]ZHENBO W, JUN W, XI Z. Monitoring of quality and storage time of unsealed pasteurized milk by voltammetric electronic tongue[J]. *Electrochimica Acta*, 2013, 88(Complete):231-239.
- [31]JIVY R A., RANIERI M L., MARTIN N H, et al. Identification and characterization of psychrotolerant sporeformers associated with fluid milk production and processing. *Applied and Environmental Microbiology*, 2012, 78(6), 1853e1864.
- [32]程时文. 基于电子舌差别度的鲜牛奶、豆奶货架期预测方法研究[D]. 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. *Breastfeeding Medicine*.2014, 9, 92–97.
- [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. *Milchwissenschaft.* 2009, 64, 143–146.
- [35]YAMADA H.,MIZOTA Y., TOKO K., et al. Highly sensitive discrimination of taste of milk with homogenization treatment using a taste sensor. *Mater. Sci. Eng.*1997, 5, 41–45.
- [36]WINQUIST F, KRANTZ-RULCKER C., WIDE P., et al. Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry. *Meas. Sci. Technol.*1998, 9, 1937–1946
- [37]ZHENBO W, JUN W, XI Z. Monitoring of quality and storage time of unsealed pasteurized milk by voltammetric electronic tongue[J]. *Electrochimica Acta*, 2013, 88.
- [38]PINU F. Early detection of food pathogens and food spoilage microorganisms: Application of metabolomics. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 54, 213–215.
- [39]DOYLE C J., GLEESON D., JORDAN K., et al. Anaerobic sporeformers and their significance with respect to milk and dairy

products. International Journal of Food Microbiology, 2015, 197, 77e87

[40]BIENVENUE A. In Dairy spore seminar and spore 101.Session 1, page 3, slide 6 in Spore Conference, Denver, CO. Arlington, VA: US Dairy Export Council.2014.

[41]PARPALANI F F., HAROUTOUNIAN S A., NYCHAS G J.& BOZIARIS I S. Microbiological spoilage and volatiles production of gutted European sea bass stored under air and commercial modified atmosphere package at 2°C. Food Microbiology, 2015, 50, 44–53.

[42]GRAM L, RAVN L., RASCH M., et al. Food spoilage-interactions between food spoilage bacteria. International Journal of Food Microbiology, 2002, 78, 79–97.

