



巴氏杀菌乳在保质期内感官品质的稳定性分析

宋铮, 迟雪露, 潘明慧, 艾娜丝, 孙宝国

(北京工商大学 北京食品营养与人类健康高精尖创新中心 北京市食品添加剂工程技术研究中心 北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048)

摘要:以8、72、168 h三种保质期内不同时间段的巴氏杀菌乳作为研究对象,通过描述型感官评价、色泽、粒径、电子鼻测试结合主成分分析(PCA)对感官品质进行测定。采用电子鼻传感器贡献和聚类分析(CA)解释各传感器对巴氏杀菌乳保质期内感官品质稳定性的影响。结果表明,随着保质期的延长,色度 ΔE_{ab}^* 增大、 $-a^*$ 值显著增高($P<0.05$), b^* 和亮度 L^* 值显著降低($P<0.05$);粒径小于 $0.5\ \mu\text{m}$ 粒径的颗粒增大,而大于 $0.5\ \mu\text{m}$ 的颗粒减少;电子鼻对样品整体风味识别和区分效果明显;十个传感器对不同保质期样品的区分效果良好。本文分析巴氏灭菌乳在保质期内感官品质的稳定性,旨在为后续优化生产工艺和提升产品感官品质提供科学的理论基础。

关键词:感官评价;色泽;粒径;电子鼻

中图分类号: TS252.42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2230(2019)03-0008-05

Stability analysis of sensory quality of pasteurized milk during shelf life

SONG Zheng, CHI Xuelu, PAN Minghui, AI Nasi, SUN Baoguo

(Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, Beijing Technology & Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: The pasteurized milk with three different shelf life of 8, 72 and 168 hour was used as the research samples in this paper. The sensory quality was evaluated by descriptive sensory evaluation, color, particle size, electronic nose and principal component analysis (PCA). Electronic nose sensors contribution and cluster analysis (CA) were used to explain the effect of each sensor on the stability of sensory quality during the shelf life of pasteurized milk. The results showed that with the extension of shelf life, the ΔE_{ab}^* of chroma value was increased, the value of $-a^*$ raised significantly ($P<0.05$), the value of b^* and the value of L^* were reduced significantly ($P<0.05$). With the particles less than $0.5\ \mu\text{m}$ was increased, particles larger than $0.5\ \mu\text{m}$ was decreased; electronic nose overall flavor identification and distinguish the obvious effect; ten sensors for different shelf life of the good distinction between the samples. This paper analyzes the stability of sensory quality of pasteurized milk during shelf-life and aims to provide a scientific theoretical basis for subsequent optimization of production technology and improvement of product sensory quality.

Key words: Sensory evaluation; Color; Particle size; Electronic nose

0 引言

牛乳中含有多种对人体健康有益的脂肪、蛋白质、糖类、维生素及微量元素,其中蛋白质和钙更是人体生长发育所必需的营养成分^[1]。牛乳可直接供人食用、消化吸收率高、营养成分全面、营养成分比例适宜人类生理需要等优势被公认为是一种比较理想的完全食品^[2,3]。牛乳营养较为完善且易消化吸收^[4-6],在人

们日常生活中占据重要地位。随着生活水平的提高以及健康意识的增加,人们对于牛乳的需求逐年上升。而生牛乳中含有金黄色葡萄球菌等致病菌类,必须经过杀菌方可饮用,对原料乳的有效灭菌是不可避免的工序步骤。巴氏杀菌相比较于其他类杀菌方法,乳制品中的 β -乳球蛋白变性率和糠氨酸含量均为最低^[7]。乳品中营养成分包括蛋白质及大部分维生素基本无损失,蛋氨酸、叶酸、VC、VB1的损失率低^[8]。巴氏杀菌在杀灭牛乳中致病菌的同时完好地保存了对人体有益的营养物质和纯正的口感^[9-11]。在加工工艺方面,巴氏杀菌工艺加工过程简单、能耗水耗低、易操作,在加工成本上有优势^[12],提高乳制品的保质期,逐渐成为主流的原料乳杀菌工艺之一^[13]。

收稿日期: 2018-07-05

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0401100)。

作者简介: 宋铮(1993-),男,硕士研究生,研究方向为乳与乳制品风味。

通讯作者: 艾娜丝

目前,国内外乳品研究领域针对乳制品属性的研究主要集中于乳制品的营养和安全方面,而在保质期内感官特性的研究鲜见报道,本文通过巴氏杀菌乳在保质期内不同时期的感官评价、色泽、粒径、电子鼻四类实验对其在保质期内感官特性进行研究,为后续优化生产工艺和提升产品感官品质提供科学的理论基础。

1 实验

1.1 材料与仪器

鲜牛奶样品采自北京三元食品有限公司所属牧场泌乳期荷斯坦乳牛,将样品转移至避光容器中置于手提式冷藏盒中。并于两小时之内运回实验室,采用MilkoScan FT120乳成分分析仪测试鲜牛乳脂肪含量为3.2%、蛋白含量为3.2%、乳糖成分为5.4%,均为质量分数。测试结束后置于 $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。

1.2 仪器与设备

DF-101S型恒温水浴锅 巩义市予华仪器有限责任公司; Mastersizer 3000 粒径仪 马尔文仪器有限公司; CR400型色度仪 日本柯尼卡美能达有限公司; MilkoScan FT120乳成分分析仪 福斯华(北京)科贸有限公司; PEN2便携式电子鼻系统 德国Airsense公司。

1.3 实验方法

1.3.1 奶粉感官评价

感官评价实验由8名人员组成评价小组,其中男性4名,女性4名,年龄范围在22-30周岁。通过小组讨论描述样品的感官特性制得感官评价打分表,采用5分制,0分为无任何感官属性强度,5分为等同于参照标准的感官属性强度。具体评分标准见表1所示。从奶香味、奶油味、焦糖味、金属味、甜味、异味、鲜味、涩味、咸味、苦味共10个属性对其进行感官评价。收集8名感官评价人员的数据结果,统计并绘制测试样品的感官评价雷达图。

表1 描述性检验评分标准

| 序号 | 属性 | 评价标准 |
|----|-----|----------------------|
| 1 | 奶香味 | 感受到纯牛奶的香气程度 |
| 2 | 甜味 | 品尝样品时,口腔感受到乳糖的强度 |
| 3 | 奶油味 | 感受样品在口腔中残留的油膩感强度 |
| 4 | 金属味 | 品尝样品是否具有金属的腥气 |
| 5 | 咸味 | 品尝样品时,口腔感受到氯化钠的滋味强度 |
| 6 | 涩味 | 品尝时,嘴和舌头感受到的一种褶皱感的强度 |
| 7 | 苦味 | 品尝样品具有的苦味强度 |
| 8 | 焦糖味 | 产品经加热或蒸煮等过程中产生的风味 |
| 9 | 异味 | 品尝时,感受到不属于牛乳的风味强度 |
| 10 | 鲜味 | 口腔到受到肌酸一钠(味精)的味道强度 |

1.3.2 粒径

采用马尔文粒径分析仪对不同脂肪含量的牛乳样品进行粒径分析,样品经超纯水稀释至合适浓度,并设置聚合物选项为:milk,折光指数为1.340,测试温度设置为 25°C ,实验重复3次。

设置仪器参数,调节仪器温度与室温一致,初始化仪器,调整测量背景,取适量样品滴入测量室内。

点击测量即可测出胶乳粒。每次测量完毕后清洗测量室,更换稀释液,重复三次实验。

1.3.3 色度的测定

使用色度仪进行颜色测定,以比较不同脂肪含量的牛乳样品颜色的差异。在测色仪预热30min后,打开颜色管理软件,采用CIELAB系统,进行颜色校准。先进行黑板校准,目标罩是 $\phi 30\text{mmCM-A123}$;再进行白板校准,目标罩是 $\phi 8\text{mmCM-A122}$ 。采用石英比色皿CM-A97(2mm)装入四分之三容积的蒸馏水进行白板校准。校正完毕后,按0.5%、1.5%、2.5%、3.5%乳脂肪含量的顺序测量样品L、a、b值,每一个脂肪含量测量三组平行值。使用数据计算总色差,公式如下:

$$\Delta E_{ab*} = \sqrt{[(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]}$$

1.3.4 电子鼻实验

PEN 2 便携式电子鼻设备由10种传感器组成,分别为W1C、W5S、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W和W3S,电子鼻的10种传感器对不同的挥发性化合物组成灵敏度有所差异,电子鼻传感器性能描述见表2。

表2 电子鼻传感器性能描述

| 传感器 | 性能描述 | 传感器对应基团的阈值/ ($\text{mL}\cdot\text{m}^{-3}$) |
|-----|--------------|--|
| W1C | 对芳香成分灵敏 | C_6H_6 , 10 |
| W5S | 灵敏度大,对氮氧化物灵敏 | NO_2 , 1 |
| W3C | 氨水,对芳香成分灵敏 | C_6H_6 , 10 |
| W6S | 对氢气有选择性 | H_2 , 100 |
| W5C | 对脂肪族芳香化合物灵敏 | C_6H_6 , 1 |
| W1S | 对甲烷、碳氢化合物灵敏 | CH_4 , 100 |
| W1W | 对硫化物灵敏 | H_2S , 1 |
| W2S | 对乙醇灵敏 | CO , 100 |
| W2W | 对硫化物和氯化物灵敏 | H_2S , 1 |
| W3S | 对甲烷灵敏 | CH_4 , 100 |

为了保证电子鼻测试结果的准确性,电子鼻系统在检测之前进行预热和校准。取5 mL脱脂纯牛奶样品装入电子鼻20 mL具橡胶塞样品瓶中,同时加入1.0 g氯化钠及转子,水浴温度设定 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$,30 rpm磁力搅拌10 min。水浴结束后将补空气针和样品吸收针插入20 mL具橡胶塞样品瓶中。同一样品平行之间传感器清洗时间为300 s,自动调零时间10 s,样品准备时间5 s,样品测试时间60 s,进样流量300 mL/L。要求每种样品测量前后,传感器都要进行清洗和标准化,以期消除漂移现象及减小实验误差。为了保证电子鼻测试结果的准确性,每个样品五组平行,选取测定过程中55-60 s的数据进行后续分析。

2 结果与分析

2.1 感官评价结果分析

从巴氏杀菌乳感官评价雷达图(图1)中可以看出,咸味、甜味、鲜味变化幅度很小。奶香味和奶油味的感官指标有小幅度的下降。72 h的样品滋气味有所变化,细微的涩味和异味开始被觉查出来,到168 h苦味也更明显。奶油味、奶香味的感官强度在保质期

内随着时间的增加而降低。有研究指出,奶香味和奶油味主要来自于牛乳脂肪中的不饱和醛、酮类物质^[14],醛酮类风味物质含量的变化导致了奶油味、奶香味感官强度的变化。不良风味如金属味、苦味、异味部分来源于脂类氧化,部分来源于脂肪酸、甘油单酯和甘油二酯中的短链脂肪酸如丁酸、己酸等产生^[15]。其感官强度的升高,表明在保质期内随着时间的延长,乳品逐步变质并伴随着感官品质的劣变。保质期内巴氏杀菌乳的总体可接受性也随着时间的延长而降低。

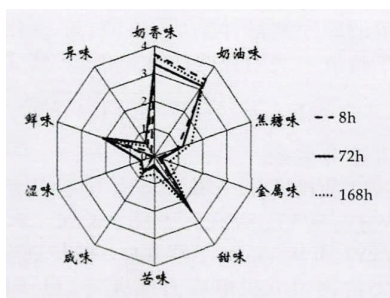


图1 感官评价雷达图

2.2 色泽

产品的色泽是消费者选择食品时考虑的主要因素之一,食品的色泽能反映出食品的成熟和新鲜程度,也是食品安全性和吸引力的重要指标^[16]。市售巴氏乳色泽得分和色度仪测定值如表3所示,其中, L^* 表示样品的亮度, L^* 越大表明样品亮度越大,反之样品亮度越小。 a^* 表示样品的红绿值, a^* 越大表明样品越偏红,反之偏绿。 b^* 表示样品黄蓝值, b^* 越大表明样品越偏黄,反之偏蓝^[17-18], ΔE_{ab}^* 色差在8~72 h间的变化不显著($P>0.05$),有略微上升,在72~168 h间变化显著($P<0.05$),上升幅度加大,增长率为256.28%。色度变化显著($P<0.05$)。红绿度参数 a^* 、黄蓝度参数 b^* 值随着时间的增加逐显著($P<0.05$)减少,说明牛乳色调的色度绿色增加,黄色逐渐变淡。 a^* 、 b^* 基础数值很小,色度差变化值很小,保质期内处于不同贮藏时间巴氏杀菌乳颜色稍有差别,导致肉眼难以观察到明显区别。 L^* 亮度值显著($P<0.05$)下降,说明在保质期内的牛乳样品随着时间的延长亮度变暗。 L^* 数值对牛乳色差数值影响较大,牛乳感官上的颜色变化主要是由亮度变化影响的。牛乳中的脂肪含量对黄蓝值 b^* 有很大影响,牛乳样品随着贮藏期的延长,黄色变淡可能是由于牛乳中脂肪因氧化而含量降低的结果。另外巴氏杀菌是一种温和的杀菌方式,相比于超高温灭

表3 色度仪测定结果

| 时间/h | L^* | $-a^*$ | b^* | ΔE_{ab}^* |
|------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 8 | 58.4767±0.03528 ^b | 0.9267±0.01764 ^a | 15.59±0.03464 ^a | 0.23±0.04041 ^b |
| 72 | 59.36±0.19009 ^a | 0.65±0.00577 ^b | 14.8467±0.0305 ^a | 0.3733±0.14678 ^b |
| 168 | 56.8733±0.23383 ^c | 0.4667±0.00882 ^c | 14.99±0.05 ^b | 1.33±0.22121 ^a |

注:同一列的不同字母代表差异显著($P<0.5$)

菌,不能消灭所含的所有微生物。牛乳在保质期内色泽的变化可能是由微生物活动引起的。

2.3 粒径

牛乳是以水为连续相,蛋白质、脂肪(以油滴形式存在)为分散相不连续分散在水中形成的乳池液。乳液的粒径大小及粒径的分布都会影响牛乳蛋白的溶解性、稳定性及产品的感官性状等^[19]。保质期内处于不同贮藏时间的巴氏杀菌乳样品粒径变化结果如图2所示。牛乳的粒径分布范围主要分布在0.01~9 μm 之间,粒径最大体积峰在1.5 μm 处。保质期内不同贮藏时间的牛乳粒径分布图形状相同;随着贮藏时间延长,体积峰位置逐渐向右移动,小于0.5 μm 的颗粒增加,大于0.5 μm 的颗粒减少。原因可能是牛乳中脂肪的氧化分解导致的大颗粒减少,小颗粒增加。小粒径增加有利于牛乳颗粒分散,提高溶解度。若体系中存在过多大粒径颗粒,会增加牛乳的不稳定性。

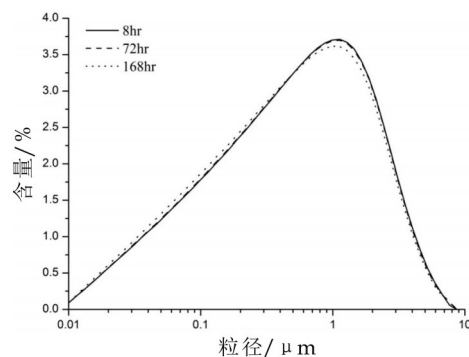


图2 巴氏灭菌乳8、72、168 h保质期内3种样品粒径分析结果

巴氏杀菌乳在保质期内的物理化学特性如表(表4)所示,处于不同保质期内的巴氏杀菌乳样品中的颗粒平均直径不同,因此界面面积也不同。168 h的巴氏杀菌乳样品表面积平均粒径 $D [3,2]$ 和体积平均粒径 $D [4,3]$ 相较于8、72 h的巴氏杀菌乳样品分别下降了4.14%和32%,界面比表面积上升了4.2%。颗粒群粒度大小 $D_v (50)$ 也呈下降趋势。说明在保质期内的巴氏杀菌乳随着贮藏时间的延长一些理化特性发生改变。

表4 巴氏灭菌乳8、72、168 h保质期内3种样品物理化学特性

| 保质时间/h | 比表面积(m^2/kg) | $D [3,2]/\mu\text{m}$ | $D [4,3]/\mu\text{m}$ | $D_v (50)/\mu\text{m}$ |
|--------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 8 | 35503±2.577766 ^b | 0.169±0.00067 ^a | 1.001±0.00493 ^a | 0.580±0.00441 ^a |
| 72 | 35490±238.60707 ^b | 0.169±0.00115 ^a | 1.001±0.00467 ^a | 0.575±0.00524 ^a |
| 168 | 37046±229.80668 ^a | 0.162±0.00088 ^b | 0.969±0.00503 ^b | 0.534±0.00448 ^b |

注:同一列的不同字母代表差异显著($P<0.5$)

2.4 电子鼻

由电子鼻对样品进行检测后得到的数据为10个传感器在1~60 s的响应值,测试数据选取传感器响应趋于稳定的结果,本实验选取50~60 s的数据为分析对象,采用主成分分析、聚类分析进行处理,并对异常值进行剔除。

2.4.1 主成分分析(PCA)

PCA是一种包含了向量分析和相关矩阵的分类技术,可以通过旋转数轴使数据间的

最大差异性得以显现。并通过降维计算得到一组新的数轴来捕捉整个数据集间的最大差异^[20]。主成分分析图以散点图为基础,每个点代表一个样品,点之间的距离代表样品之间特征差异的大小^[21]。

通过PCA分析可以看出处于不同保质期内的牛乳样品的分类贡献的关系,在同一主体元件(PC1或PC2)下,挥发性风味物质距离原点越远对显示牛乳样品区分差异的贡献越大^[22-24]。PCA图的横、纵坐标分别表示在图形转换中得到的主成分1和主成分2的贡献率,贡献率越大,说明主成分能更好的反应样品的信息^[25]。

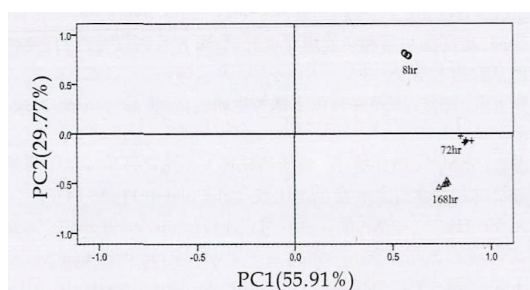


图3 巴氏灭菌乳8、72、168 h保质期内3种样品PCA分析结果

从处于不同保质期内巴氏杀菌乳样品的PCA分析图(图3)中可知,第一主成分PC1的贡献率为55.91%,第二主成分PC2的贡献率为29.77%,总贡献率为85.68%,表明PC1和PC2可以反映巴氏杀菌乳在保质期内不同阶段的主要信息特征。电子鼻能够较好地区分处于不同保质期内巴氏杀菌乳样品气味的差异,3个样品被明显区分开。每个样品的5次重复数据点能够很好的构成一个独立的族群,表示电子鼻分析得到的样品的重复性很好。从图中可以看出,样品的挥发性气味随着保藏时间的变化而变化。随着保藏时间的延长,样品的气味的响应值的分布呈现一定趋势,沿PC2轴看样品与第二主成分负相关性增强,样品在第二主成分可识别的香气贡献发生变化,变化趋势显示,这种香气的变化是随着贮藏时间的增加而逐渐改变的。

2.4.2 传感器贡献

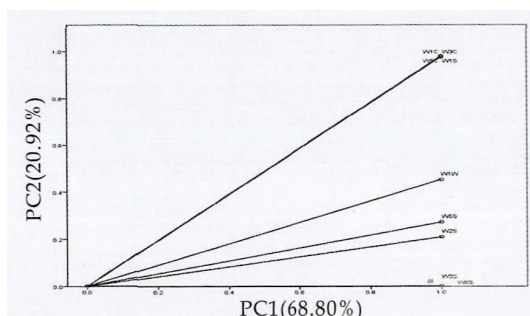


图4 传感器对不同保质期内巴氏灭菌乳区分贡献

传感器对处于不同保质期内巴氏杀菌乳样品的区分贡献结果如图(图4)所示,第一主成分PC1的贡

献率为68.80%,第二主成分PC2的贡献率为20.92%,总贡献率为89.72%,贡献率越大,说明其主要成分可以较好地反映样品多指标的信息^[26]。因此可以认为PC1和PC2两个主成分可以代表传感器响应的整体信息。W1S、W5C、W3C、W1C对样品的区分及整体信息的采集贡献较大。

2.4.3 聚类分析

聚类分析是把开始时参与聚类的每个样本视为一类,根据两类之间的相似性逐步合并,直至成为一个大类的一门技术^[27]以便于用少量、有代表性的变量代替大变量集时,损失信息较少。本试验将电子鼻的10根传感器的响应值作为变量,对样品进行聚类分析,结果如图5所示。对处于不同保质期内巴氏杀菌乳样品,10个传感器的响应程度有差异性的区分作用。W1C、W5C、W3C、W3S、W1W、W2W、W6S聚为一类,W5S、W1S起到另一种区分作用,W2S则是起到了第三种区分作用。其中W1C、W5C、W3C、W3S、W1W、W2W、W6S能够在最小距离内形成聚类,测出的风味物质含量欧氏距离小于5,说明这7种传感器对于样品测出的风味相似度非常高。

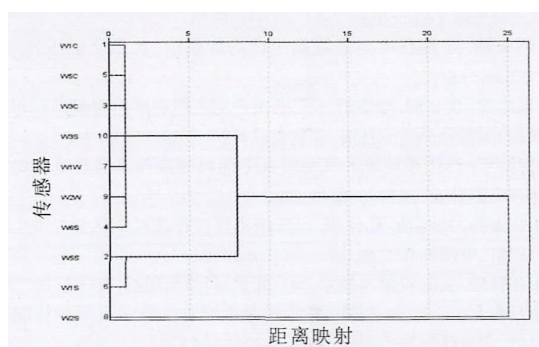


图5 巴氏灭菌乳8、72、168 h保质期内3种样品CA分析结果

3 结论

处于保质期内不同时期的巴氏杀菌乳感官品质有较大差异。对保质期内不同时期的巴氏杀菌乳的感官属性进行感官评价,随着保质期延长,奶香味和奶油味的感官指标下降,涩味、异味和金属味等不良感官指标上升,乳品逐步变质并伴随着感官品质的劣变,风味变化明显。随着贮藏时间的延长巴氏杀菌乳色度 ΔE_{ab}^* 变深、绿色 $-a^*$ 显著变深,黄色 b^* 显著变淡,亮度 L^* 显著变暗。对保质期内不同时期的巴氏杀菌乳进行粒径检测,牛乳的粒径分布范围主要分布在0.01-9 μm 之间,粒径大小小于0.5 μm 粒径的颗粒增加,大于0.5 μm 粒径的颗粒减少。对保质期内不同时期的巴氏杀菌乳进行电子鼻检测。PCA分析结果显示第一主成分PC1的贡献率为55.91%,第二主成分PC2的贡献率为29.77%,总贡献率为85.68%。电子鼻对样品整体风味识别和区分效果良好,样品与第二主成分负相关性增强,保质期内不同时期的巴氏杀菌乳风味显示出了差异。传感器PCA结果显示W1S、W5C、W3C、W1C对样品的区分及整体信息的采集贡

献较大。W3S、W6S在第二主成分上对于区分三种不同保质期牛奶的香气贡献较大。CA结果显示传感器W1C、W5C、W3C、W3S、W1W、W2W、W6S聚为一类,W5S、W1S聚为一类,W2S聚为一类。保质期内巴氏杀菌乳的感官属性、色泽、粒径、风味等感官品质随着贮存期的延长逐步发生改变。

参考文献:

- [1] 杨楠. 牛乳加热过程中的主要成分对其风味的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2007, (06):81-83.
- [2] 郑靖宇. 牛乳营养价值浅析[J]. 农民致富之友, 2011, (20):85.
- [3] 杨永新, 王加启, 卜登攀, 等. 牛乳重要营养品质特征的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(01):328-332.
- [4] PEREIRA P C. Milk nutritional composition and its role in human health[J]. Nutrition, 2014, 30(6):619-627.
- [5] VISIOLI F, STRATA A. Milk, dairy products, and their functional effects in humans: a narrative review of recent evidence[J]. Advances in Nutrition: An International Review Journal, 2014, 5(2): 131-143.
- [6] LUBARY M, HOFLAND G W, TER HORST J H. The potential of milk fat for the synthesis of valuable derivatives[J]. European Food Research and Technology, 2011, 232(1): 1-8.
- [7] 郭晓峰. 杀菌技术对乳制品生产的影响[J]. 食品安全导刊, 2016, (33):64-65.
- [8] 吴达雄, 李冬梅, 李颂群, 等. 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[J]. 现代食品科技, 2017(12):99-103.
- [9] 倪晓宇. 巴氏杀菌乳和灭菌乳在不同温度条件下品质变化的差异[J]. 中国乳业, 2014, (04):48-50.
- [10] 张宏伟, 郑冬梅, 孔保华. 巴氏消毒乳储存过程中化学与微生物变化[J]. 中国乳品工业, 2011, 39(10):27-31+39.
- [11] 孔保华. 乳品科学与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [12] 吕加平, 张书文, 刘鹭, 等. 巴氏杀菌奶加工技术及质量控制现状[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(01):9-15
- [13] GARCÍA L F, RODRÍGUEZ F A R. Combination of microfiltration and heat treatment for ESL milk production: Impact on shelf life [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 128(1):1-9.
- [14] FUCHSMANN P, STERN M T, BRÜGGER Y A, et al. Olfactometry profiles and quantitation of volatile sulfur compounds of Swiss Tilsit cheeses[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2015, 63 (34): 7511-7521.
- [15] MCSWEENEY P L H, NURSTEN H E, URBACH G. Flavours and off-flavours in milk and dairy products[M]//Advanced Dairy Chemistry Volume 3. Springer, Boston, MA, 1997: 403-468.
- [16] 迟雪露, 仝令君, 潘明慧, 等. 乳脂肪含量对牛乳理化性质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(4):26-31.
- [17] 候晓龙. 三种食品胶对酪蛋白酸钠强化型酸化凝乳品质的影响[D]. 华中农业大学, 2016.
- [18] MCDERMOTT A, VISENTIN G, MCPARLAND S, et al. Effectiveness of mid-infrared spectroscopy to predict the color of bovine milk and the relationship between milk color and traditional milk quality traits[J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(5):3267-3273.
- [19] 姜梅. 超高压均质和热处理对豆乳、豆腐和豆腐皮特性的影响[D]. 南京农业大学, 2013.
- [20] 张亚晶, 杨薇. 康乃馨热风干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2012, 28 (01):50-54.
- [21] 秦蓝, 李风华, 田怀香, 等. 鸡精调味料人工感官评价与电子鼻感官分析的相关性研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(04):11-13+42.
- [22] AI N, LIU H, WANG J, et al. Triple-channel comparative analysis of volatile flavour composition in raw whole and skim milk via electronic nose, GC-MS and GC-O[J]. Analytical Methods, 2015, 7 (10): 4278-4284.
- [23] 张晓梅, 仝令君, 潘明慧, 等. 巴氏灭菌与超高温灭菌对全脂牛乳挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(10):173-177.
- [24] 张晓梅, 仝令君, 迟雪露, 等. 奶牛乳、水牛乳与牦牛乳的挥发性风味物质分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(18):126-131.
- [25] KONG AH-HEN, CARLOS E, ZAMBRA, et al. Moisture diffusivity coefficient and convective drying modelling of murta (*Ugnimo liniae Turcz*): Influence of temperature and vacuum on drying kinetics [J]. Food Bioprocess Technology, 2013, 6(4): 919-930.
- [26] 金螺, 白丽娟, 彭小雨, 等. 采用电子鼻检测羊奶中的牛奶掺入[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(04):165-168.
- [27] THERDTHAI N, ZHOU W. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia*, Opiz ex Fresen) [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(3):482-489.