

网络出版时间:2012-04-16 15:42

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120416.1542.031.html>

利用表面张力系数和黏滞系数检测牛奶品质初探

景晨娟, 刘亚龙, 曹旭东

(西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**探讨用牛奶表面张力系数和黏滞系数表征其内在品质的可行性。**【方法】**将鲜牛奶分为 2 组, 1 组置于 $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ 温度下, 测量不同放置时间 $(0 \sim 12\text{ h})$ 牛奶表面张力系数和黏滞系数的变化; 另 1 组置于室温 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下, 研究不同掺水量 ($V_{\text{水}}:V_{\text{总}}$ 分别为 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) 对牛奶表面张力系数和黏滞系数的影响。**【结果】**随放置时间的不断延长, 牛奶表面张力系数在 $0 \sim 1\text{ h}$ 急剧下降, $1 \sim 7\text{ h}$ 先缓慢上升后下降, $7 \sim 9\text{ h}$ 急剧上升, $9 \sim 12\text{ h}$ 缓慢上升; 而牛奶黏滞系数在 $0 \sim 11\text{ h}$ 变化不大, 11 h 后呈剧烈上升趋势。牛奶表面张力系数和黏滞系数与掺水量之间均呈极好的线性关系, 相关系数分别为 0.943 6、0.954 9, 其中掺水量达到 10% 时, 牛奶品质即发生较大变化, 其 2 个参数值分别显著下降 4.05% 和 0.28%。**【结论】**表面张力系数较黏滞系数的灵敏度高, 但稳定性较低; 黏滞系数的灵敏度低, 但稳定性较高。因此, 可以将二者结合起来作为表征牛奶品质的物理指标。

【关键词】 牛奶; 品质检测; 表面张力系数; 黏滞系数

【中图分类号】 TS252.7

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)05-0205-04

Preliminary study on the relationship between quality and surface tension and viscosity coefficient of milk

JING Chen-juan, LIU Ya-long, CAO Xu-dong

(College of Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The study was intended to explore the relationship between the quality of milk and its physical properties. **【Method】** For the first group, we detected the surface tension and viscosity coefficient at different time $(0 \sim 12\text{ h})$ at $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$. For the second group, we added different amounts of water to milk ($V_{\text{water}}:V_{\text{total}}$ respectively was 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%), and then detected their surface tension and viscosity coefficient at $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$. **【Result】** The first group's coefficient of surface tension decreases sharply during $0 \sim 1\text{ h}$, first rose, then went down slowly during $1 \sim 7\text{ h}$, then rose sharply again during $7 \sim 9\text{ h}$, and then slowed down during $9 \sim 12\text{ h}$. While the viscosity coefficient of pure milk remained almost constant during $0 \sim 11\text{ h}$, it increased sharply after 11 h . In the second group, the relationships between the amount of added water and surface tension, viscosity coefficient were all liner, their correlation coefficients were 0.943 6 and 0.954 9 respectively. When the amount of water was 10%, the quality of milk changed greatly, and the surface tension and viscosity coefficient decreased 4.05% and 0.28% respectively. **【Conclusion】** The sensitivity of surface tension was better than viscosity coefficient, while the stability of surface tension was poorer than viscosity coefficient. So it's a wiser way to combine them to reflect the quality of milk.

* [收稿日期] 2011-11-16

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30471001)

[作者简介] 景晨娟(1986—), 女, 山西运城人, 在读硕士, 主要从事环境生物物理研究。E-mail: jingchenjuan@163.com

[通信作者] 刘亚龙(1964—), 男, 山西洪洞人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事环境生物物理研究。

E-mail: liuyalong@nwsuaf.edu.cn

Key words: milk; quality detection; surface tension; viscosity coefficient

作为人类摄取营养物质的重要食品之一,牛奶含有丰富的糖类、脂类、蛋白质以及多种微量矿物质元素和维生素^[1-2],在人们日常饮食中担任着重要角色,因此市场对牛奶以及乳制品的品质要求也越来越高。

近年来,我国乳制品工业发展较快,但相关乳制品检测技术及手段却较为落后,各种不同程度地掺杂、掺假牛奶经常出现,直接影响到乳制品工业的良性发展,乃至损害人们的身体健康^[3-4]。目前检测牛奶品质的技术主要有传统化学分析法、红外法、超声法、激光检测法以及 PCR 法和 DNA 探针法等^[5-8],但是这些技术都不同程度地存在一些问题,无法实现实时、快速的无损检测。如传统的化学分析方法,虽测量精度高、准确性好,可作为评价其他测量方法的参考方法,但是由于检测时间长、所需试剂量大、需破坏样品、检测成本高等,只适用于定时、定量的抽样检测,无法实时在线检测以及对牛奶生产过程进行动态质量控制^[9]。近红外光谱分析技术被誉为“绿色检测技术”,其优点是分析成本低、速度快、操作简便、可不破坏样品进行原位测定、不使用化学试剂、可多参数测量等,但存在吸收强度弱、谱峰重叠严重等问题,因此目前该方法大多停留在实验室阶段,难以用于生产实践^[10]。超声波探测技术预测精度虽能达到 5% 的水平,可基本满足牛奶在线分析的需要,然而其精度受噪音干扰较大^[6]。

近年来,有学者从牛奶的流体力学特性角度研究其内在品质^[11],但是缺乏系统、翔实的数据,其准确性和可靠性有待进一步探讨。本研究以牛奶的表面张力系数和黏滞系数为物理参数,初步探讨用这 2 个参数反映牛奶品质的可行性,旨在为获得一种检测牛奶品质的实用方法提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鲜牛奶采自西北农林科技大学畜牧站,采样后置于冰盒中带回实验室。

1.2 主要设备和仪器

FD-NST-1 型液体表面张力系数测定仪、PH-III 型变温黏滞系数测定仪、温度计、水浴锅。

1.3 测定方法

1.3.1 不同放置时间纯牛奶表面张力系数、黏滞系数的测定 测定前,先将仪器预热 10 min。将纯牛

奶置于 40 ℃ 水浴锅内,放置 0~12 h,每隔 1 h 测定其表面张力系数和黏滞系数,直至牛奶腐坏有块状沉淀出现为止。测定前将牛奶充分振荡,使其各组分混合均匀,待液体即将静止并且牛奶中还未开始沉淀时进行测量,同时保持液体温度在 (40±1) ℃。为减少测量误差,分 6 组重复测量,结果取平均值。

1.3.2 不同掺水量牛奶表面张力系数、黏滞系数的测定 在室温 (25±1) ℃ 下,将鲜牛奶放置约 30 min,使其温度恢复至室温,用纯净水稀释后立即测定物理参数。按照水占总体积比例不同,分别设 0%,10%,20%,30%,40%,50% 6 个掺水处理,每个处理重复 6 组,分别测定其表面张力系数和黏滞系数,测定方法同上。

1.4 数据处理

用 SPSS 软件对所测表面张力系数和黏滞系数进行单因素方差分析和回归分析。

2 结果与分析

2.1 放置时间对牛奶表面张力系数和黏滞系数的影响

由表 1 可以看出,所测牛奶表面张力系数的离散程度较大,黏滞系数波动性较小,说明牛奶的黏滞系数比表面张力系数稳定,所测牛奶的表面张力系数灵敏度较高。随着放置时间的推移,表面张力系数在 0~1 h 急剧降低,在 1~4 h 呈缓慢上升趋势,4~7 h 缓慢减小,7 h 以后又呈急剧上升趋势,直至约 9 h 后,变化减缓。而所测牛奶黏滞系数呈先减小后增大的趋势,至 12 h 达到最大,并显著高于其他放置时间;整体而言,黏滞系数在 0~11 h 处于平稳状态,几乎没有起伏波动,直至 11~12 h,牛奶黏滞系数急剧上升。

从表面张力系数来看,新鲜牛奶的表面张力系数最大,经过一段时间的放置后,牛奶表面张力系数表现出较为复杂的动荡变化趋势,但其值均低于鲜牛奶;另外,腐坏牛奶的表面张力系数也相当大,为 (45.99±0.23)×10⁻³ N/m,仅略小于鲜牛奶值,因此仅以表面张力系数的大小难以判定牛奶的新鲜程度。而从黏滞系数来看,黏滞系数开始升高的时刻,意味着牛奶品质开始腐坏,当其数值达到最大时,能看到牛奶中有明显的块状沉淀物,可以断定此时牛奶已经腐坏。鉴于新鲜牛奶在较长一段时间内的黏滞系数没有显著变化,因此,仅仅依靠黏滞系数也不

能对牛奶的新鲜度作出准确判断。牛奶存放过程中表面张力系数复杂的、忽升忽降的动荡变化趋势,无疑与其内部所发生的复杂的化学变化相对应,表面张力系数较黏滞系数更能反映牛奶品质的变化。至

于表面张力系数变化速率的大小或正负,以及哪一时刻更能反映牛奶的新鲜度,尚需要通过对不同季节的多个牛奶品种进行进一步试验来阐明。

表 1 牛奶表面张力系数和黏滞系数随放置时间的变化

Table 1 Variance analysis of milk surface tension and coefficient of viscosity versus time

时间/ h Time	表面张力系数/ (10 ⁻³ N·m ⁻¹) Surface tension	黏滞系数/ (10 ⁻⁵ Pa·s) Viscosity coefficient	时间/h Time	表面张力系数/ (10 ⁻³ N·m ⁻¹) Surface tension	黏滞系数/ (10 ⁻⁵ Pa·s) Viscosity coefficient
0	46.38±0.49 d	96.42±0.44 b	7	39.85±1.07 a	94.26±0.20 a
1	39.78±0.69 a	94.53±0.36 ab	8	41.81±0.16 c	95.04±0.28 ab
2	40.08±0.20 ab	93.93±0.26 a	9	45.73±0.16 d	95.51±0.26 ab
3	40.70±0.29 abc	93.72±0.24 a	10	45.24±0.13 d	95.48±0.37 ab
4	41.64±0.13 c	94.02±0.35 a	11	45.44±0.10 d	96.41±0.81 b
5	41.22±0.36 bc	93.65±0.14 a	12	45.99±0.23 d	115.24±0.27 c
6	41.08±0.10 abc	94.12±0.32 a			

注:同一参数同列数据后标不同小写字母者表示 $P=5\%$ 水平上差异显著。下表同。
Note: Values followed by different letters within each column for the same parameter are significantly different at $P=5\%$ probability level.
The same below.

2.2 掺水量对牛奶表面张力系数和黏滞系数的影响

由表 2 可以看出,牛奶表面张力系数和黏滞系数均随掺水量的增加而减小,且黏滞系数值波动较小。在室温((25±1)℃)条件下,新鲜牛奶表面张力和黏滞系数均最大,分别为(44.20±0.52)×10⁻³ N/m和(96.13±0.04)×10⁻⁵ Pa·s。其中,表面张力系数在掺水量为 10%~30%时没有显著差异($P>0.05$);40%与 30%之间没有显著差异($P>0.05$),但显著低于 10%和 20%($P<0.05$)。黏滞系数在掺水量为 30%~50%时无显著差异($P>0.05$);20%与 30%之间没有显著差异($P>0.05$),但显著高于 40%和 50%($P<0.05$)。掺水量仅为 10%时,牛奶的表面张力系数和黏滞系数分别显著下降 4.05%和 0.28%,说明此时牛奶品质已发生较大变化。

表 2 牛奶表面张力系数和黏滞系数随掺水量的变化
Table 2 Variance analysis of milk surface tension and viscosity coefficient versus amount of added water

掺水量/% Amount of added water	表面张力系数/ (10 ⁻³ N·m ⁻¹) Surface tension	黏滞系数/ (10 ⁻⁵ Pa·s) Viscosity coefficient
0	44.20±0.52 d	96.13±0.04 d
10	42.41±0.23 c	95.86±0.13 c
20	42.10±0.09 c	95.54±0.06 b
30	41.14±0.49 bc	95.42±0.13 ab
40	40.62±0.32 b	95.19±0.09 a
50	38.52±0.23 a	95.15±0.12 a

经回归分析,结果表明,牛奶表面张力系数(y_1)随掺水量增加呈直线下降趋势,拟合曲线方程为 $y_1=-0.009\ 9\ x+0.044(R^2=0.943\ 6)$;而牛奶黏

滞系数(y_2)也随掺水量增加呈直线下降趋势,其拟合曲线方程为 $y_2=-2\times10^{-5}\ x+9\times10^{-4}(R^2=0.954\ 9)$,说明 2 个参数与掺水量之间有很好的线性关系。从理论上讲,随掺水量不断增加,牛奶表面张力系数和黏滞系数均会逐渐减小,并越来越接近于纯水;从试验结果看,表面张力系数较黏滞系数能更灵敏地反映牛奶是否掺水。

3 结论与讨论

牛奶含有多种不同的营养成分,奶牛的泌乳期、季节及饲料配置不同均会导致牛奶各种成分的含量发生变化^[12]。因此,本试验集中采用同一天采集的牛奶作为材料,以排除不同批次牛奶对测量数据造成的误差。但所用牛奶在秋季(10 月)采样于西北农林科技大学畜牧站,有一定的地域和时间限制,对于其他地方和季节以及不同的饲养管理方式,结果可能存在差异,这有待于进一步深入研究。

虽然鲜牛奶中含有一定的抗菌物质,但是在存放过程中,营养物质随放置时间推移会被不同微生物分解和利用^[13-15],从而影响牛奶的物理性质。在不同的时间段,微生物的生长繁殖种类不同,分解的营养物质也不同,如在中性 pH 条件下,乳链球菌繁殖并分解乳糖产生乳酸;当酸度升高到一定程度(pH=4.5)时,乳链球菌繁殖受到抑制,而乳杆菌则进一步对乳糖进行发酵,而且由于此时酸度增大,使酪蛋白变性伸展成酪蛋白分子并形成凝胶态,乳液中出现大量乳凝块,并析出乳清,牛奶物理特性改变;在高酸度条件下,酵母菌对乳酸进行发酵,同时

假单胞菌和芽孢杆菌分解蛋白质凝乳和氨基酸,最终使新鲜牛乳中的糖类、脂类和蛋白质类物质发生分解,此时牛奶成分发生巨大变化,物理特性也会随之改变^[16]。

液体表面张力源于液体表面层分子之间的吸引力,不同溶液物质分子的表面张力不同。同时,表面张力还受到温度、介质以及浓度的影响^[17]。郭本恒等^[16]在研究牛初乳理化性质时指出,牛初乳表面张力系数值与常乳存在差异,是由于其中含脂率和含酪蛋白量不同所致。牛奶腐坏过程中不同阶段的微生物种类、数量不同,对营养物质的分解程度也不同^[18],微生物种类、数量以及释放的代谢产物和次级代谢产物发生变化^[13-15],从而导致牛奶成分改变而使表面张力系数随之变化。因此,随放置时间延长,牛奶表面张力系数的变化是牛乳液中各种物质成分及菌种数量变化共同作用的结果。而通过向牛奶中添加不同量去离子水改变各种营养成分浓度,也会使表面张力系数发生变化。本试验通过在牛奶中掺蒸馏水来模拟牛奶收购时的实际掺假行为,结果表明,牛奶表面张力系数可以更灵敏地反映牛奶的内在品质,这对牛奶品质的鉴别有较大的参考价值。

液体黏滞系数是描述液体内摩擦性质的物理指标,可以表征液体的反抗形变能力,它对温度比较敏感,与液体的种类有关^[19]。因含脂率和总体干物质量的不同,初乳的黏滞系数值与常乳也存在差异^[17]。裴志杰等^[14]在检测 2 个不同品牌的成品鲜奶样品时发现,在室温下随时间延长,牛奶黏度有所不同,在未变质前波动不大。这与本试验得到的结论相一致。牛奶在(40±1)℃条件下随放置时间延长,黏滞系数在 0~11 h 几乎呈不变趋势,但 11~12 h 会发生剧烈变化,此时固状物急剧增加,澄清液不断出现,黏滞系数随之急剧上升,牛奶黏度增大,同时伴有腐败的酸味产生。在牛奶中掺入不同量的蒸馏水,也会降低其中各种成分的浓度,从而影响黏度变化,使其随掺水量的增加而降低。

本研究结果表明,表面张力系数和黏滞系数均可以在一定程度上反映牛奶内在理化特性的变化。表面张力系数灵敏度高,但稳定性较差;黏滞系数虽波动较小,但灵敏度稍差。因此,可以将二者结合起来作为牛奶品质的物理检测指标,以减少牛奶品质检测的工作量,节省时间,提高效率。

[参考文献]

[1] 汤 伟,王明伟,董文宾. 牛奶主要营养成分的数学模型 [J].

陕西科技大学学报,2005,23(2):50-57.
Tang W,Wang M W,Dong W B. The mathematical model of main nutrition elements milk [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology,2005,23(2):50-57. (in Chinese)
[2] 无从元. 基于电子舌的牛奶品质研究 [D]. 杭州:浙江大学,2010.
Wu C Y. Study on milk quality based using electronic tongue [D]. Hangzhou:Zhejiang University,2010. (in Chinese)
[3] 王 蕊. 冷杀菌技术在原料乳保鲜中的应用 [J]. 乳制品加工,2004(5):49-51.
Wang R. The application of cold sterilization technology in raw milk storage [J]. Dairy Industry,2004(5):49-51. (in Chinese)
[4] 石晚霞. 信息时代牛奶包装设计的新态势 [D]. 武汉:湖北工业大学,2010.
Shi W X. New posture of milk packing design in information era [D]. Wuhan: Hubei University of Technology,2010. (in Chinese)
[5] 袁石林,何 勇,马天云,等. 牛奶中三聚氰胺的可见/近红外光谱快速判别分析方法的研究 [J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(11):2939-2943.
Yuan S L,He Y,Ma T Y,et al. Fast determination of melamine content in milk base on vis/NIR spectroscopy method [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2009,29(11):2939-2943. (in Chinese)
[6] 丁英强. 超声波牛奶成分快速检测方法 & 仪器研究 [D]. 天津:天津大学,2005.
Ding Y Q. Study on rapid detection of milk component by ultrasonic [D]. Tianjin:Tianjin University,2005. (in Chinese)
[7] 孙 选. 牛奶质量超声检测基础理论及实验研究 [D]. 天津:天津大学,2007.
Sun X. Study and theory of ultrasonic inspection milk quality [D]. Tianjin:Tianjin University,2007. (in Chinese)
[8] Ali Z,O’Hare W T,Theaker B J. Detection of bacterial contaminated milk by means of a quartz crystal microbalance based electronic nose [J]. Journal of Thermal and Analysis Calorimetry,2003,71:155-161.
[9] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.46—2003 乳与乳制品卫生标准的检测方法 [S]. 北京:中国标准出版社,2003.
Ministry of Health of the People’s Republic of China. GB/T 5009.46—2003 Method of analysis of hygienic standard of milk and milk products [S]. Beijing:Standards Press of China,2003. (in Chinese)
[10] 裴晓光. 牛奶成分快速检测技术与系统设计 [D]. 沈阳:沈阳理工大学,2010.
Pei X G. System design and study on rapid detection of milk component [D]. Shenyang: Shenyang Ligong University,2010. (in Chinese)
[11] 赵正涛,李全阳,杨 倩,等. 单甘脂对牛乳体系稳定性影响机理的研究 [J]. 食品科学,2009,30(23):123-127.
Zhao Z T,Li Q Y,Yang Q,et al. Stabilizing mechanism of monoglyceride to milk system [J]. Food Science,2009,30(23):123-127. (in Chinese)