

中性及酸性条件下不同来源脱脂乳粉的稳定性比较分析

舒成亮, 杨忻怡, 薛玉清, 余立意, 欧 凯, 李言郡, 马海然*

(杭州娃哈哈饮料有限公司, 杭州 310018)

摘 要: **目的** 对5种不同来源的脱脂乳粉在中性和酸性条件下的稳定性进行比较分析。**方法** 对不同脱脂乳粉的营养组成、乳清蛋白氮、热凝固时间、 ΔpH 、离心沉淀率等指标进行检测并进行对比。**结果** 5种脱脂乳粉在蛋白质、乳糖、钙等影响稳定性的成分上差异不大, 脱脂乳粉热凝固时间越长、 ΔpH 越小, 酸性乳饮料经高温热处理后离心沉淀越少, 而脱脂乳粉乳清蛋白氮越高, 中性条件下离心沉淀越少。**结论** 本研究对脱脂乳粉在中性和酸性条件下的稳定性评价较为科学, 对于乳清蛋白氮、热凝固时间和 ΔpH 的测定可应用于产品中脱脂乳粉的选择。

关键词: 脱脂乳粉; 稳定性; 乳清蛋白氮; 热凝固时间; 离心沉淀

Comparative analysis of stability of different sources of skimmed milk powder under neutral and acidic conditions

SHU Cheng-Liang, YANG Xin-Yi, XUE Yu-Qing, YU Li-Yi, OU Kai, LI Yan-Jun, MA Hai-Ran*

(Hangzhou Wahaha Beverage Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate and compare the stability of five different sources of skimmed milk powders under neutral and acidic conditions. **Methods** Nutrient compositions, whey protein nitrogen, heat coagulation time, ΔpH and centrifugal sedimentation of various skimmed milk powders were determined and compared. **Results** Among the five kinds of skimmed milk powders, only a minor difference was found in the content of those stability-related components including protein, lactose and calcium. Longer heat coagulation time correlated well with smaller ΔpH as well as less centrifugal sediment in acidified milk drink under high temperature heat treatment. Besides, higher whey protein nitrogen result seemed to imply a better performance of skimmed milk powder with less centrifugal sediment in a neutral condition. **Conclusion** The stability of skimmed milk powder under neutral and acidic conditions can be well evaluated, and the measurement of whey protein nitrogen, heat coagulation time and ΔpH can be used to select skimmed milk powder products.

KEY WORDS: skimmed milk powder; stability; whey protein nitrogen; heat coagulation time; centrifugal sedimentation

基金项目: 杭州市科技发展计划项目(20140432B105)

Fund: Supported by Hangzhou Science and Technology Development Program (20140432B105)

*通讯作者: 马海然, 博士, 主要研究方向为蛋白质化学。E-mail: hairan.ma@wahaha.com.cn

*Corresponding author: MA Hai-Ran, Ph.D, Hangzhou Wahaha Beverage Co., Ltd., Hangzhou 310018, China. E-mail: hairan.ma@wahaha.com.cn

1 引言

脱脂乳粉(skimmed milk powder, SMP)是指以鲜乳为原料,经脱脂、浓缩、干燥制成的蛋白质不低于非脂乳固体的34%、脂肪不高于2.0%的粉末状产品。脱脂乳粉自身经添加或不添加食品营养强化剂即可作为终端食品,同时也可作为其他食品的原料。脱脂乳粉广泛应用于乳制品、乳饮料、再制炼乳、糖果、焙烤等食品领域,是最重要的乳原料之一^[1]。

在乳制品和乳饮料中,脱脂乳粉作为主要原料,对产品的质构、口感、稳定性起到至关重要的作用。根据产品pH值不同,乳制品和乳饮料可分为中性产品和酸性产品两类,脱脂乳粉在两类产品中的稳定性很大程度上决定了产品的质量,脱脂乳粉的分散性、溶解性、耐热性等性质会直接影响产品的稳定性,尤其是耐热性至关重要。沉淀、絮凝、分层、析水等宏观不稳定现象的发生是包括脱脂乳粉在内的产品体系不稳定性的集中体现。对于中性产品,严苛的杀菌条件要求脱脂乳粉必须具备良好的热稳定性,而对于酸性产品,由于牛乳蛋白在酸性条件下自身不稳定的特性,需要保护性亲水胶体的参与,而羧甲基纤维素钠^[2]、果胶^[3]、可溶性大豆多糖^[4,5]是应用于酸性产品中最为广泛的亲水胶体。脱脂乳粉与亲水胶体的相互作用以及脱脂乳粉的酸稳定性均对产品的稳定性有重要影响。

在确保脱脂乳粉符合食品安全标准^[6]及基础理化指标的前提下,选择合适的脱脂乳粉是产品开发人员面临的一大难题。脱脂乳粉组分复杂,且各组分含量受乳牛品种、产季、产地、饲料等多个因素影响,而生产条件和工艺也会影响乳粉的组成变化及稳定性能,如储运条件不良的生乳酸度较高易导致稳定性变差。目前,有关脱脂乳粉在中性及酸性条件下稳定性的研究极少^[7,8],而在实际产品开发中,脱脂乳粉的选择和优化不可或缺。本研究拟对比分析不同来源的脱脂乳粉的各项理化指标以及在中性和酸性条件下的稳定性数据,以期为乳制品及乳饮料产品中脱脂乳粉的筛选提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

Mastersizer2000 激光衍射粒径分析仪(英国马尔文公司);APV1000 均质机(丹麦 APV 公司);pH计(瑞士Mettler-Toledo 公司);5810 离心机(德国 Eppendorf 公司);HH-S 油浴锅(江苏金坛市江南仪器厂)。

5种脱脂乳粉(SMP1、SMP2、SMP3、SMP4、SMP5)分别来自新西兰、法国、德国、比利时和中国;可溶性大豆多糖(日本不二富吉有限公司);白砂糖(营口北方糖业有限公司);柠檬酸(山东柠檬生化有限公司);柠檬酸钠(山东维

坊英轩有限公司),均为食品级;氯化钠、三氯乙酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);100 mL 厚壁耐压瓶(北京欣维尔有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 营养成分指标检测

水分含量采用直接干燥法,按 GB5009.3-2010^[9]规定的方法测定;蛋白质含量采用凯氏定氮法,按 GB5009.5-2010^[10]规定的方法测定;脂肪含量采用索氏提取法,按 GB/T5009.6-2003^[11]规定的方法测定;乳糖含量采用高效液相色谱法,按 GB5413.5-2010^[12]规定的方法测定;灰分采用 560 °C 高温灼烧法,按 GB5009.4-2010^[13]规定的方法测定。钠、钙含量采用火焰原子吸收分光光度法,按 GB5413.21-2010^[14]规定的方法测定;磷含量采用分光光度法,按 GB5413.22-2010^[15]规定的方法测定。

2.2.2 中性及酸性样品的制备

中性样品的制备:取脱脂乳粉 95 g,溶解于 50 °C 热水中,采用 NaHCO₃ 调节 pH 至 6.7,并定容至 1 L。

酸性样品(酸性乳饮料)的制备:取脱脂乳粉 20 g 溶解于 400 mL 50 °C 的热水中,充分水合后冷却至室温;另取白砂糖 80 g、可溶性大豆多糖 4.0 g、柠檬酸钠 2.0 g 混合均匀后溶解于 400 mL 85 °C 的热水中,待充分溶解后,冷却至 25 °C 以下,将其与奶液混合均匀,用 30% 的柠檬酸溶液调节 pH 至 3.8±0.05 并定容至 1 L,均质(室温,200 bar),杀菌(95 °C,5 min)后灌装至塑料瓶中。

2.2.3 乳清蛋白氮(whey protein nitrogen, WPN)测定^[16]

采用凯氏定氮法进行测定。用饱和 NaCl 对乳清蛋白进行沉淀,酪蛋白、变性乳清蛋白均沉淀。经过滤对滤液中未变性乳清蛋白进行凯氏定氮,得到乳清蛋白总量;样品的非蛋白氮(non-protein nitrogen, NPN)测定方法为:10 mL 脱脂乳用 15% 三氯乙酸(W/V)稀至 50 mL,三氯乙酸最终浓度为 12%,这时所有蛋白质均沉淀,经过滤对滤液中的非蛋白氮进行凯氏定氮得到 NPN 量,乳蛋白的总量减去 NPN 量,得到 WPN。上述实验重复 3 次,取平均值。

2.2.4 热凝固时间(heat coagulation time, HCT)测定

在 Davies^[17]提出的方法上进行适当修改。称取按 2.2.2 制备的中性奶液 60 g 加入至厚壁耐压瓶中密封,置于 130 °C 油浴进行热处理,实时观测瓶中奶液发生的变化,待奶液出现明显絮凝状时,停止加热,记录热处理时间,记为热凝固时间。上述实验重复 3 次,取平均值。

2.2.5 pH 降幅ΔpH 测定

量取 80 mL 按 2.2.2 制备的中性奶液装至 100 mL 蓝盖瓶中进行高压灭菌(121 °C,20 min),分别测定灭菌前后 pH 值,pH 降幅即为灭菌前 pH 减去灭菌后 pH 的差值,记为ΔpH。上述实验重复 3 次,取平均值。

2.2.6 离心沉淀率测定

称取待测中性或酸性样品 40 g 于 50 mL 离心管中,放

入离心机中进行离心(4000 r/min, 10 min), 离心结束后, 除去上清液, 测量沉淀重量 m 。每个样品进行 3 次平行测定, 取平均值。计算离心沉淀率。离心沉淀率($\%$)= $m/40\times100$ 。上述实验重复 3 次, 取平均值。

2.2.7 粒度分析^[18]

采用激光衍射粒径分析仪对样品的粒度分布进行测定。水为介质的折射率 1.33, 样品折射率 1.52, 样品吸收率 0.1。在 1 L 烧杯中, 加入约 700 mL 水, 开启循环泵后, 加入被测样品至遮光度 10%~20%, 待测试信号稳定后进行测量。测量结束后读取 $d_{0.1}$ 、 $d_{0.5}$ 、 $d_{0.9}$ 以及 $D_{4.3}$ 值, 分别表示 10%、50%、90%的颗粒在该粒径以下及体系整体平均粒径。

2.2.8 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对实验数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同来源的脱脂乳粉营养成分指标分析

不同来源脱脂乳粉营养成分见表 1。由表 1 可知, 不同来源的脱脂乳粉各营养成分含量存在一定的差异, 尤其是水分、脂肪、钠含量差异较大, 最大差异分别达到 39%、97%和 33%, 但 3 种成分总含量较低, 且对脱脂乳粉的稳定性能影响较小, 因此不能作为重要的比较参数; 而与稳定性相关性更高且含量更高的蛋白质、乳糖和钙含量等指标则没表现出显著差异, 最大差异分别为 7.9%、7.5%和 6.3%。5 种脱脂乳粉虽然在成分上存在一定的差异, 但脱脂乳粉的稳定性不能通过上述差异表现出来。

3.2 中性条件下不同来源脱脂乳粉稳定性比较

3.2.1 不同来源脱脂乳粉乳清蛋白氮测定

乳清蛋白氮指的是鲜奶或奶粉中未变性乳清蛋白的总氮, 其反映的是乳清蛋白变性程度, 而后者是度量乳粉加工过程中热处理强度的重要指标^[19]。

测定乳清蛋白变性率通常不仅需要知道乳粉的 WPN, 也需知道原料乳的 WPN, 而实际上商品化脱脂乳粉无法

得知原料乳 WPN, 因此无法计算乳清蛋白变性率。但依据表 1 中蛋白含量数据可知, 不同乳粉总蛋白相差不大, 而总蛋白中乳清蛋白所占比例相对固定(约 20%), 且原料乳中乳清蛋白均为未变性蛋白, 因此可认为所测乳粉 WPN 能够反映出乳清蛋白变性程度。

由图 1 可知, 5 种脱脂乳粉的 WPN 值具有显著性差异($P<0.05$)。其中 SMP1 和 SMP5 的 WPN 值远远小于 SMP2, SMP3 和 SMP4, 不同脱脂乳粉 WPN 值由高到低的顺序为: SMP4 > SMP3 > SMP2 > SMP5 > SMP1。SMP4 乳清蛋白变性程度最低, 而 SMP1 乳清蛋白变性程度最高。WPN 测定在乳原料热稳定性研究中应用比较普遍。陈文亮等^[19]研究表明, 原料乳经过均质、杀菌、浓缩、喷雾干燥后, 乳清蛋白变性率分别为 6.15%、18.45%、58.40%和 10.80%, 控制温度和时间可获得不同变性程度的乳粉。赵亭亭等^[7]研究发现, 低温加热脱脂乳粉中乳清蛋白变性程度最低, 形成的大分子聚合物较少而高温加热脱脂乳粉中乳清蛋白变性程度较大, 形成的大分子聚合物较多。由此可见, 加工工艺会导致脱脂乳粉 WPN 差异, 而 WPN 差异则影响脱脂乳粉的热稳定性能。

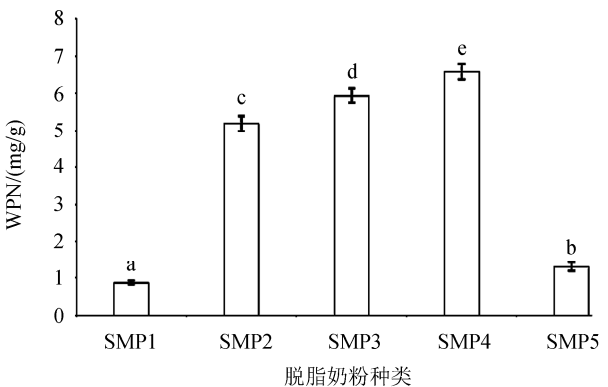


图 1 不同脱脂乳粉的乳清蛋白氮比较($n=3$)
Fig.1 Comparison of whey protein nitrogen of various skimmed milk powders ($n=3$)
注: 采用 Duncan's multiple range test 方法分析, 不同字母表示显著性差异($P<0.05$)

表 1 不同来源的脱脂乳粉的营养成分结果
Table 1 Results of nutrient components of various skimmed milk powders

脱脂乳粉	水分 (g/100 g)	蛋白质 (g/100g)	脂肪 (g/100g)	乳糖 (g/100g)	灰分 (g/100g)	钠(mg/g)	钙 (mg/g)	磷 (mg/g)
SMP1	4.56	30.42	0.70	52.42	7.48	3.27	11.33	8.97
SMP2	3.36	31.31	1.17	50.11	6.98	3.16	11.26	8.52
SMP3	4.68	31.05	0.61	54.62	6.90	2.97	11.32	9.20
SMP4	4.32	30.32	0.68	50.87	7.50	3.76	11.51	9.22
SMP5	3.39	32.81	1.20	52.25	7.88	3.95	11.90	9.27

3.2.2 不同来源脱脂乳粉热凝固时间测定

由图 2 可知, 除 SMP4 和 SMP5 之间热凝固时间无显著性差异外, 其他脱脂乳粉之间差异显著($P < 0.05$)由长到短的排序为: SMP2 > SMP3 > SMP4≈SMP5 > SMP1。热凝固时间是表征牛乳热稳定性的方法之一, 最早主要用于鲜牛乳的品质评估, 后又拓展至乳粉的热稳定性评价, 目前广泛应用于各种乳原料的耐热性分析^[20-22]。脱脂乳粉经水化形成奶液后, 在长时间高温处理下会发生一系列物理化学变化, 如 pH 的降低、乳清蛋白变性、酪蛋白胶束解离、酪蛋白脱磷酸化、 κ -酪蛋白水解、磷酸钙沉淀、水合能力降低、美拉德褐变反应等^[23], 以上变化的最终结果是牛乳相对稳定的胶体结构遭到破坏, 发生凝固。热凝固时间受到多种因素影响, 如热处理温度、蛋白浓度、乳糖含量、pH 值和离子环境等。本研究所选 5 种脱脂乳粉在蛋白、乳糖及盐离子含量上有少许差异, 但任何单独理化指标与所测热凝固时间均不呈良好的相关性, 进一步说明热凝固时间是多种因素共同作用的结果。从实际应用角度而言, 热凝固时间可反映出脱脂乳粉抗强热处理的能力。杨与争等^[22]采用油浴法测定了不同浓缩乳清蛋白的热凝固时间, 用于表征其热稳定性, 差异显著。由此可见, 热凝固时间测定是评估乳原料的热稳定性的有效方法。

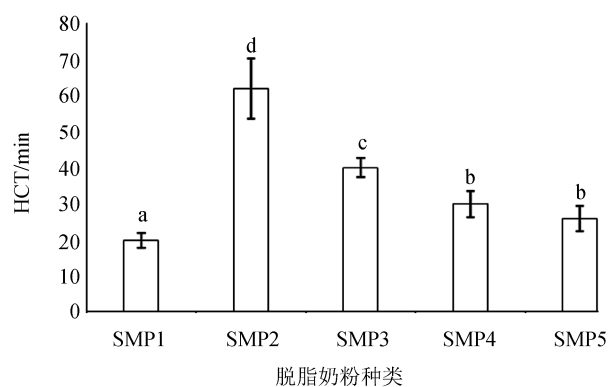


图 2 不同脱脂乳粉的热凝固时间比较($n=3$)

Fig. 2 Comparison of heat coagulation time of various skimmed milk powders ($n=3$)
注: 采用 Duncan's multiple range test 方法分析, 不同字母表示显著性差异($P < 0.05$)

3.2.3 不同来源脱脂乳粉灭菌稳定性比较

不同脱脂乳粉灭菌后 Δ pH 及离心沉淀率结果见表 2。由表 2 可知, 不同脱脂乳粉配制的乳液经高温灭菌后, 其 pH 均有较大幅度降低, Δ pH 由大到小的排序为: SMP1 > SMP5≈SMP4 > SMP3≈SMP2, 结合图 2 的结果可知, 热凝固时间与 Δ pH 呈现一定的相关性, 即热凝固时间越长的脱脂乳粉经高温灭菌后 Δ pH 越小, 发生该现象的原因是: pH 降低是牛乳热处理后发生的重要变化之一, 也是导致牛乳发生凝固的最直接诱因。pH 降低的原因主要有 3 方面,

一是乳糖分解产生甲酸等有机酸; 二是高温下磷酸钙溶解度降低沉淀, 同时释放氢离子(盐平衡过程); 三是酪蛋白胶束中含有的磷酸基团发生脱磷酸化, 在高温下经过盐平衡过程释放氢离子^[23]。pH 降低这一现象本身就是牛乳在高温下一系列变化的结果, 其与牛乳热凝固是因和果的关系。因此, Δ pH 与热凝固时间呈反相关是合理的。此外, 经 121 $^{\circ}\text{C}$, 20 min 高温灭菌处理后, 离心沉淀率数据显示, SMP3 与 SMP4、SMP2 与 SMP5 之间差异不显著($P > 0.05$), 而其他脱脂乳粉相互之间差异显著($P < 0.05$); SMP4 离心沉淀率最低, 仅为 0.24%, SMP1 离心沉淀率最高, 达到 0.63%。

离心沉淀率由高到低的顺序依次为: SMP1 > SMP5≈SMP2 > SMP3≈SMP4。对比图 1 的结果可知, WPN 越高的脱脂乳粉经灭菌处理后离心沉淀率越低, 两者表现出较好的相关性, 说明脱脂乳粉在加工过程的受热程度对中性产品中应用稳定性有很大的影响。

表 2 不同脱脂乳粉灭菌后的 Δ pH 及离心沉淀率($n=3$)
Table 2 Δ pH and centrifugal sediment of various skimmed milk powders after retort sterilization ($n=3$)

脱脂乳粉	Δ pH	离心沉淀率(%)
SMP1	0.39±0.02 ^c	0.63±0.04 ^c
SMP2	0.29±0.01 ^a	0.33±0.01 ^b
SMP3	0.30±0.01 ^a	0.24±0.01 ^a
SMP4	0.33±0.01 ^b	0.23±0.01 ^a
SMP5	0.34±0.02 ^b	0.35±0.02 ^b

注: 采用 Duncan's multiple range test 方法分析, 不同字母表示显著性差异($P < 0.05$)

3.3 酸性条件下不同来源脱脂乳粉稳定性比较

3.3.1 不同来源脱脂乳粉对酸性乳饮料粒度分布的影响

由图 3 可知, 利用不同脱脂乳粉制备的酸性乳饮料粒度分布几乎一致, 并无显著差异。经测定, 5 种酸性乳饮料平均粒度均为 0.22~0.23 μm , 达到确保在货架期内比较稳定的水平。粒度分析法在酸性乳饮料稳定性评价中应用广泛, 其主要依据是斯托克斯沉降公式, 粒子的沉降速率与粒子直径的平方呈正比, 即粒子直径越小, 沉降速率越小。因此, 如何降低粒度是保证酸性乳饮料稳定性良好的优先途径。朱丽娜等^[5]以可溶性大豆多糖为稳定剂制备的酸性乳饮料平均粒度为 0.7 μm , 在贮藏期内稳定性良好。与其相比, 本研究中制备的酸性乳饮料亦采用可溶性大豆多糖作为保护性胶体且用量较高, 所测饮料粒度更低, 使得不同乳粉的差异被掩盖, 不能通过粒度分析体现出来, 有必要采用其他方式进行进一步评估。

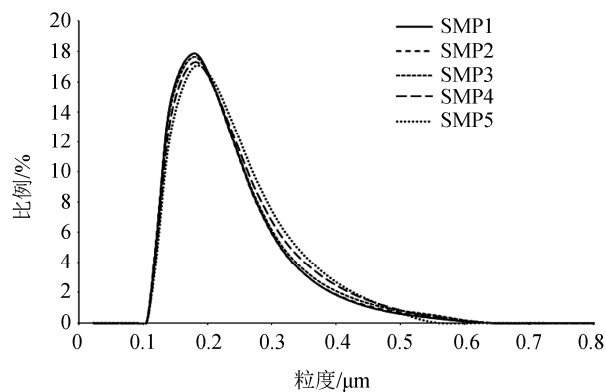


图 3 不同脱脂乳粉对酸性乳饮料粒度分布的影响
Fig. 3 Effect of various skimmed milk powders on particle size distribution of acidified milk drink

3.3.2 不同来源脱脂乳粉对酸性乳饮料离心沉淀率的影响
鉴于粒径分布结果未能显示出显著差异, 考虑采用破坏性手段将不同脱脂乳粉带来的差异放大。为进一步考察不同脱脂乳粉耐高温热处理的能力, 对 5 种脱脂乳粉制备的酸性乳饮料进行高温处理(130 ℃, 60 h), 并测定热处理前后离心沉淀率, 结果见表 3。

由表 3 可知, 未进行热处理时, 离心沉淀率很低, 均不到 0.1%, 且相互之间有少许差异或差异不显著, 经过与前述数据对比发现, 该数据与其他指标无对应关系。由此可见在酸性条件下, 由于牛乳蛋白结构的变化以及保护性胶体的存在, 中性和酸性条件下的稳定性检测结果较难吻合。然而, 对酸性乳饮料进行热处理后发现, 离心沉淀率大大增加, 最高可到 25 倍以上。需要说明的是, 虽经过很强的热处理, 在离心之前酸性乳饮料未发生明显的凝固或絮凝, 说明胶体的保护作用虽然降低但仍旧在发挥作用。热处理后, 离心沉淀率及增加倍数由高到低的顺序均为 SMP1 > SMP5 > SMP4 > SMP3 > SMP2, 对比发现, 该顺序与中性条件下脱脂乳粉的热凝固时间及灭菌后 Δ pH 完全一致。该结果说明, 中性条件下耐热性好的脱脂乳粉在酸性条件下依然表现出良好的耐热性。

表 3 不同脱脂乳粉对酸性乳饮料离心沉淀率的影响($n=3$)
Table 3 Effect of various skimmed milk powders on centrifugal sediment of acidified milk drink ($n=3$)

脱脂乳粉	离心沉淀率(%)		增加倍数
	热处理前	热处理后	
SMP1	0.079±0.004 ^c	2.040±0.08 ^d	25.8
SMP2	0.084±0.003 ^c	0.471±0.01 ^a	5.6
SMP3	0.059±0.002 ^a	0.492±0.02 ^a	8.3
SMP4	0.061±0.001 ^a	0.692±0.04 ^b	11.3
SMP5	0.073±0.003 ^b	1.860±0.06 ^c	25.5

注: 采用 Duncan's multiple range test 方法分析, 不同字母表示显著性差异($P<0.05$)

4 结 论

5 种不同脱脂乳粉各营养成分指标存在一定的差异, 但与稳定性相关的蛋白质、乳糖和钙含量等指标差别不大。通过对不同脱脂乳粉的热凝固时间及灭菌后 Δ pH 和酸性乳饮料经高温热处理后的离心沉淀率测定发现, 乳粉的热凝固时间与其在中性(Δ pH)和酸性(热处理后离心沉淀率)条件下的稳定性指标呈现较好的相关关系, 即热凝固时间越长, Δ pH 越小, 而离心沉淀率越低。而脱脂乳粉的乳清蛋白氮与中性条件下灭菌后离心沉淀率呈现一致的排序, 说明两者之间具有内在的联系。乳清蛋白氮、热凝固时间和 Δ pH 的测定可作为评估指标应用于中性或酸性产品中脱脂乳粉的选择。脱脂乳粉是最重要的大宗乳原料之一, 产地、乳牛品种、季节、生产工艺等诸多因素都会影响脱脂乳粉的性能, 亦会影响脱脂乳粉在终端产品中的稳定性, 本研究可为脱脂乳粉的筛选与评估提供科学依据和重要参考。

参考文献

[1] 于景华, 刘晓辉, 张列兵, 等. 低热脱脂乳粉的生产现状[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(3): 45-47.
Yu JH, Liu XH, Zhang LB, et al. Production of low-heat skim milk powder [J]. China Dairy Ind, 2010, 38(3): 45-47.

[2] 李静, 杜柏桥, 黄龙. 羧甲基纤维素钠溶液的流变性质及其在酸性乳饮料中的应用[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 56-59.
Li J, Du BQ, Huang L. Rheological properties of CMC aqueous solution and its application in stabilization on acidified milk drinks [J]. Food Sci, 2007, 28(11): 56-59.

[3] 张迪, 陆一敏. 果胶对酸性乳饮料稳定性的影响[J]. 饮料工业, 2011, 14(6): 14-16.
Zhang D, Lu YM. Effects of pectin on stability of acidified milk drinks [J]. Bever Ind, 2011, 14(6): 14-16.

[4] 张学兵. 水溶性大豆多糖的提取及其在酸性乳饮料中的应用研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009.
Zhang XB. Extraction of water soluble soybean polysaccharides and their application in acidic milk drinks [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2009.

[5] 朱丽娜, 张立永, 张敏, 等. 可溶性大豆多糖在酸性乳饮料中的应用[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(4): 33-35.
Zhu LN, Zhang LY, Zhang M, et al. Application of soybean polysaccharides to sour milk beverage [J]. China Dairy Ind, 2009, 37(4): 33-35.

[6] GB19644-2010 食品安全国家标准 乳粉[S].
GB19644-2010 National food safety standard Milk powder [S].

[7] 赵亭亭, 王媛媛, 李雪晴, 等. 不同热分级脱脂乳粉中乳清蛋白热变性聚合物分析[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(11): 4-6.
Zhao TT, Wang YY, Li XQ, et al. Analysis of aggregations in different heating degree skim milk powders [J]. China Dairy Ind, 2015, 43(11): 4-6.

[8] 詹世平, 刘华伟, 李卓, 等. 脱脂乳粉分散稳定性的实验研究[J]. 中国粉体技术, 2006, (2): 18-20.
Zhan SP, Liu HW, Li Z, et al. Experimental study on dispersing stability of

- skim milk powder [J]. Chin Powder Sci Technol, 2006, (2): 18–20.
- [9] GB5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
GB5009.3-2010 National food safety standard-Determination of moisture in foods [S].
- [10] GB5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB5009.5-2010 National food safety standard-Determination of protein in foods [S].
- [11] GB/T5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S].
GB/T5009.6-2003 Determination of fat in foods [S].
- [12] GB5413.5-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定[S].
GB5413.5-2010 National food safety standard-Determination of lactose and sucrose in foods for infants and young children, milk and milk products [S].
- [13] GB5009.4-2010 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].
GB5009.4-2010 National food safety standard, Determination of ash in foods [S].
- [14] GB5413.21-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中钙、铁、锌、钠、钾、镁、铜和锰的测定[S].
GB5413.21-2010 National food safety standard-Determination of calcium, iron, zinc, sodium, potassium, magnesium, copper and manganese in foods for infants and young children, milk and milk products [S].
- [15] GB5413.22-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中磷的测定[S].
GB5413.22-2010 National food safety standard-Determination of phosphorus in foods for infants and young children, milk and milk products [S].
- [16] 郭本恒, 骆承庠. 乳清蛋白变性的测定方法[J]. 中国乳品工业, 1994, 22(5): 221–224.
Guo BH, Luo CX. Determining methods of whey protein denaturation [J]. China Dairy Ind, 1994, 22(5): 221–224.
- [17] Davies, DT, White JCD. The stability of milk protein to heat: 1. Subjective measurement of heat stability of milk [J]. J Dairy Res, 1966, (33): 67–81.
- [18] 王银娟, 王晓君, 田芬, 等. 乳清浓缩蛋白改善脱脂发酵乳饮料的稳定性[J]. 乳业科学与技术, 2014, 37(6): 1–5.
Wang YJ, Wang XJ, Tian F, *et al.* Application of whey protein concentrate to improve the stability of fermented skim milk drink [J]. Dairy Sci Technol, 2014, 37(6): 1–5.
- [19] 陈文亮, 孙克杰, 何娟, 等. 乳清蛋白热稳定性的研究[J]. 乳业科学与技术, 2006, (6): 276–278.
Chen WL, Sun KJ, He J, *et al.* Study on heat stability of whey protein [J]. Dairy Sci Technol, 2006, (6): 276–278.
- [20] Esther DK, Marcel MA, Thom S, *et al.* Effect of calcium chelators on heat coagulation and heat-induced changes of concentrated micellar casein solutions: The role of calcium-ion activity and micellar integrity [J]. Int Dairy J, 2012, (26): 112–119.
- [21] Huppertz T, Kruif CG. Structure and stability of nanogel particles prepared by internal cross-linking of casein micelles [J]. Int Dairy J, 2008, (18): 556–565.
- [22] 杨与争, 李妍, 李海梅, 等. pH 值对浓缩乳清蛋白热稳定性的影响[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(9): 14–17.
Yang YZ, Li Y, Li HM, *et al.* Thermal stability of whey protein concentrates[J]. China Dairy Ind, 2013, 41(9): 14–17.
- [23] Fox PF. Heat induced changes in milk preceding coagulation [J]. J Dairy Sci, 1981, (64): 2127–2137.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



舒成亮, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品与生物技术。
E-mail: chengliang.shu@wahaha.com.cn



马海然, 博士, 主要研究方向为蛋白质化学。
E-mail: hairan.ma@wahaha.com.cn