

薄膜蒸发浓缩对乳蛋白浓缩物加工性质的影响

孙颜君¹, 李红娟², 吕加平²

(1. 乳业生物技术国家重点实验室, 光明乳业股份有限公司 乳业研究院, 上海 200436; 2. 中国农业科学院 农产品加工研究所, 北京 100193)

摘要: 乳蛋白浓缩物(Milk protein concentrate, MPC)是近年来新兴的牛乳蛋白制品,在食品加工中有着广泛的应用。本试验采用薄膜蒸发浓缩牛乳超滤截留液至固形物含量为 15.55%, 18.17% 和 26.12%, 研究了不同浓缩程度对 MPC 粉末的粒径, 溶解性, 流动性和喷流性指数等性质的影响。结果表明, 浓缩至超滤截留液固形物含量为 26.12% 时, MPC 具有较好的加工特性。

关键词: 截留液固形物含量; 乳蛋白浓缩物; 加工性质

Effect of Pre-concentration on the Functionality of Milk Protein Concentrate

SUN Yan-jun¹, LI Hong-juan², LÜ Jia-ping²

(1. State Key Laboratory of Dairy Biotechnology, Dairy Research Institute, Bright Dairy and Food Co., Ltd., Shanghai 200436, China; 2. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Milk protein concentrate was a newly developed dairy protein product. The solid content of the retentate was concentrated to 15.55%, 18.17% and 26.12% by thin film evaporation. The results showed that MPC presented better solubility, flowability and the flow resistance index for the 26.12% solid content of the retentate.

Key words: solid content of retentate; milk protein concentrate; processing functionality

Milk protein concentrates (MPC)是指利用膜分离方法生产的乳蛋白质含量在 50%~85%或超过 85%的产品,可以最大程度保持牛乳中蛋白质原有的结构和性质。MPC 具有较低的乳糖和较高的蛋白质(其酪蛋白/乳清蛋白的比例与脱脂粉相近)含量,特别适于再制干酪的生产,并且在干酪生产中不用排放乳清。

在 MPC 的生产过程中需要对膜分离后的牛乳截留液蒸发浓缩后再喷雾干燥,不仅提高了干燥效率降低了经济成本且会影响 MPC 颗粒的物理特性,从而影响其加工特性。

浓缩会使乳的许多性质发生变化。浓缩会影响牛乳的离子强度、pH 和盐类平衡,从而改变牛乳蛋白的构象。当乳高度浓缩时,酪蛋白分子趋于缔合形成致密的构象,酪蛋白胶粒的聚结作用会导致蛋白质颗粒增大。但是,当在浓缩前进行了比较严重的热处理时,那么 β -乳球蛋白以及其他乳清蛋白发生变性,会与酪

蛋白相互缔合,这样,在进行浓缩时胶粒之间的聚结作用会减少,蛋白质的颗粒的增加也不大^[1]。

Kim E H J 等研究发现了牛乳不同固形物百分含量(10%, 20% 和 30%)会影响脱脂乳粉颗粒的表面组成。随着固形物百分含量的增加,脱脂乳粉表面的脂肪含量降低,同时颗粒表面的蛋白和乳糖含量增加^[2]。

采用多效薄膜蒸发设备将膜分离的牛乳蛋白截留液进行浓缩至固形物百分含量分别为 15.55%, 18.17% 和 26.12%, 然后于 130/65 °C 进行喷雾干燥后测定 MPC 粉末的粒径, 溶解性, 流动性及喷流性指数等加工特性,这一研究为工业生产 MPC 提供了参考。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

原料乳:购于中国农业大学动物科技学院;MPC85 由新西兰恒天然集团提供。

FT15 乳脂分离机:UK Armfield 公司;DEA-BML-1 薄膜蒸发装置:上海德大天壹化工设备有限公司;

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划课题(2013BAD18B02)

作者简介:孙颜君(1988—),女(汉),硕士,研究方向:乳品科学。

Hyflux L400 膜过滤设备:新加坡 Hyflux FerroCep;喷雾干燥设备:德国 GEA Process Engineering Inc.;中试 UHT 生产线 POWERPOINT 杀菌机+沃迪:上海沃迪科技有限公司;Microtrac S3500 激光粒度分析仪:美国 Microtrac 有限公司;sigma 3K15 离心机:sigma 公司;DHP-9082 型电热恒温箱:上海恒科学仪器有限公司;BT-1000 粉体综合特性测试仪:丹东百特仪器有限公司;安东帕 (Anton Paar)MCR301 高级旋转流变仪 (Rheometer):德国安东帕公司。

1.2 试验方法

1.2.1 MPC 的生产工艺

从牛奶厂采集 65 kg 新鲜牛乳,预热至温度为 35 ℃~40 ℃后用乳脂分离机进行脱脂。取 60 kg 脱脂奶于 72 ℃,15 s 条件下巴氏杀菌,杀菌后置于 20 nm 不锈钢膜设备中进行过滤。膜过滤的条件为:温度 50 ℃~55 ℃,进口压力和出口压力分别为 1.7 bar 和 1.05 bar。超滤过程中记录渗透液的重量和过滤时间,待浓缩 3 倍后即渗透液质量为 40 kg,截留液质量为 20 kg 时停止过滤。将 40 kg 去离子水加入截留液中后重新开始过滤,过滤条件同上。加两次水后,最后一次浓缩至 6 倍,即渗透液质量为 50 kg,截留液为 10 kg 时停止过滤。此时截留液的固形物百分含量为 15.55 %,然后采用薄膜蒸发装置进行浓缩。蒸发通常采用减压蒸发,主要是为了降低沸点,减少过热产生的损害。不断浓缩至固形物百分含量分别为 18.17 %和 26.12 %,蒸发浓缩的温度应低于 70 ℃,防止蛋白变性。工艺流程见图 1。

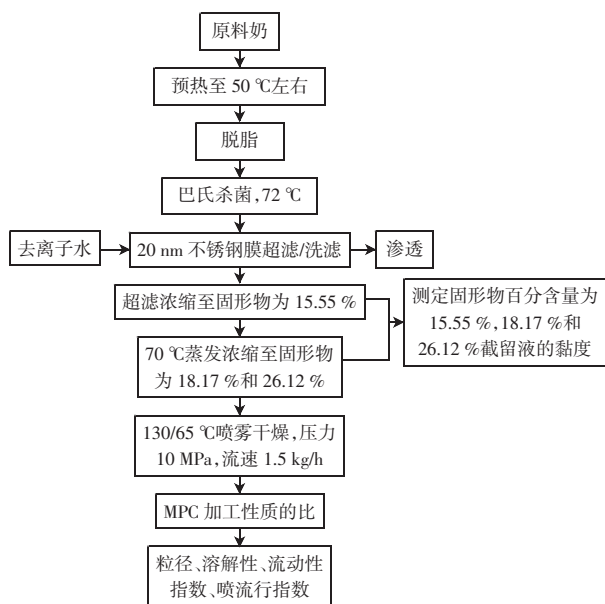


图 1 不同固形物含量浓缩液生产 MPC 加工工艺

Fig.1 The manufacturing process of MPC by different solid content of milk retentate

1.2.2 MPC 基本成分的测定

脂肪含量的测定参考 GB 5413.3-2010《食品安全国家标准婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定》^[9],蛋白质的测定参考 GB 5009.5-2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[4],灰分测定参考 GB 5009.4-2010《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[9],乳糖含量测定参考 GB 5413.5-2010《食品安全国家标准婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定》^[9]。

1.2.3 不同固形物百分含量浓缩液的流变性的测定

1.2.3.1 浓缩液剪切应力和黏度随剪切速率变化的测定

采用流变仪来测定浓缩液的剪切应力和黏度随着剪切速率的变化,将样品置于平板上,平板直径为 25 mm,样品厚度为 2 mm。测定温度为 50 ℃,剪切速率由 1 s⁻¹ 增加至 100 s⁻¹,记录剪切应力和黏度随剪切速率的变化。测定过程中仪器自带的保温装置可以保持样品的温度恒定,且应在平板的边沿涂布油脂,防止测定过程中水分挥发。

1.2.3.2 浓缩液黏度的测定

将样品置于流变仪的平板上,测定温度为 50 ℃,恒定剪切速率为 50 s⁻¹。等待样品的温度为 50 ℃时即可以开始测定。同样测定过程中应采用保温装置和涂布凡士林油防止样品中水分挥发。

1.2.4 粒径的测定

利用 Microtrac S3500 型激光粒径分析仪来测定 MPC 固体颗粒大小。该仪器测试范围:0.02 μm~2 800 μm,设定参数时,选择颗粒形状为“irregular”,折光系数选定 1.59。

1.2.5 水分的测定

测定方法参考 GB 5009.3-2010《食品中水分的测定》^[7]。

1.2.6 溶解度的测定

溶解度的测定参考文献[8]的方法略加改进。

干燥粉末溶于去离子水中配制成 5 % (质量分数) 溶液。取 10 g 溶液于 50 mL 的离心管中,在 24 ℃条件下 4 400 r/min 离心 10 min,取上清 5 g 于预先恒重的平板上,同时称取未离心的原样 5 g 于预先恒重的平板,将平板同时于 105 ℃的烘箱中烘干 2 h 至恒重。取出后于干燥器中冷却至室温。分别计算上清和原样的固形物含量,则溶解性即为

$$\text{溶解度}/\% = \frac{\text{上清中固形物质量}/\text{g}}{\text{溶液中总固形物质量}/\text{g}} \times 100$$

1.2.7 流动性指数

流动性指数:是休止角、压缩度,平板角,均齐度和

凝集度等项指数的加权和。各项指数采用 BT-1000 粉体综合特性测试仪进行测定。

1.2.8 喷流性指数测定

喷流性指数是指流动性指数,崩溃角,差角,分散度的加权和。各项指数采用 BT-1000 粉体综合特性测试仪进行测定。

2.2 结果与分析

2.2.1 MPC 基本成分的测定

根据国标方法分别测得的 MPC 基本成分如表 1。

表 1 MPC 基本成分

Table 1 The composition of milk protein concentrate 80 %				
样品	脂肪	蛋白质	乳糖	灰分
MPC	1.80	80	3.80	7.0

通常根据 MPC 中的蛋白含量来定义 MPC 的型号,本实验中生产出来的 MPC 蛋白含量为 80 %,因此为 MPC80。

2.2.2 浓缩液流变性的测定

在乳粉的生产中,喷雾干燥之前的浓缩乳黏度是一个重要参数;黏度会影响到乳粉颗粒的大小。

2.2.2.1 剪切应力和黏度随剪切速率的变化

研究物质的黏性,应通过剪切引起物质的稳态流,流动通过粒子的重排和变形,从而打破物质结构的结合力来实现。如果要研究物质的弹性(结构),应采用低振幅振荡剪切,这样不会损坏样品的结构。

可以采用 Ostwald ,Herschel-Bulkley, Steiger-Orry, Bingham, Euis 和 Eyring 等模型来描述非牛顿流体系统的流体特性。这些模型说明了流体剪切应力和剪切率的关系。剪切应力和剪切率,相当于物质变形量大小和变形速度。

最常采用的模型是 Herschel-Bulkley 即幂律方程,塑性流体的幂律方程是:

$$\delta = K \cdot \gamma^n$$

其中: δ 为剪切应力,Pa;K 为稠度系数,Pa; γ 为剪切速率, s^{-1} 。

分 $n < 1$ 和 $n > 1$ 两种情况。非牛顿流体的幂律方程为对数形式。

剪切速率对浓缩液剪切应力的影响见图 2。

由图 2 可知,随着剪切速率的增加,剪切应力呈对数形式增加,符合塑性流体的幂律方程规律。因此, MPC80 的浓缩液为非牛顿流体,且具备剪切稀化流体的特性。剪切稀化流体(有时也称为假塑性流体)的黏度随着剪切速率的增加而减小如图 3。可知,形成剪切稀化的原因是提高了剪切率,损坏和(或)重新调整了粒子,由此引起流体阻力低,最终使黏度降低。

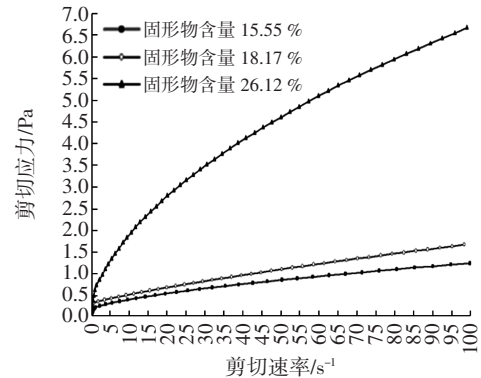


图 2 不同固形物含量的浓缩液的剪切应力随剪切速率的变化(测定温度为 50 °C)

Fig.2 Change trend of shear stress for different solid content of milk retentate as a function of shear rate (the determined temperature is 50 °C)

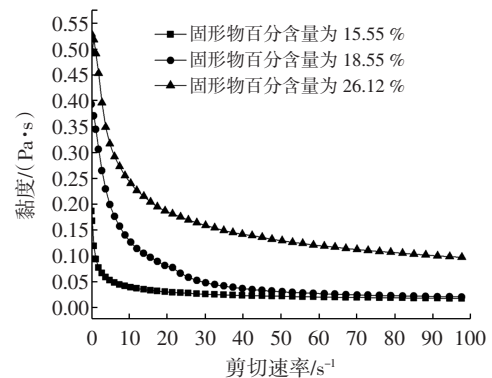


图 3 不同固形物百分含量的浓缩液黏度随剪切速率的变化

Fig.3 Change trend of retentate viscosity as a function of shear rate

2.2.2.2 不同固形物含量的浓缩液的黏度

非牛顿流体的黏度除了依赖于剪切速率外,它还可能依时间而变化。此时黏度不仅是剪切值大小的函数,而且也是剪切作用时间长短的函数。

不同固形物含量浓缩液的黏度见图 4。

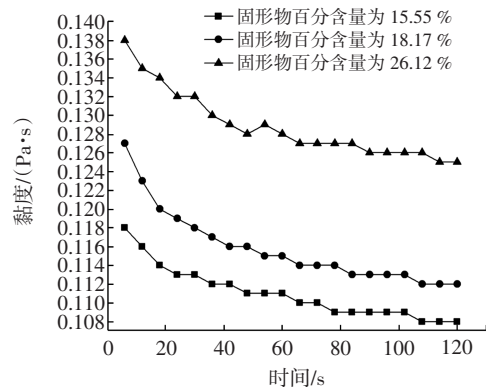


图 4 恒定剪切速率(50 s⁻¹)下不同固形物百分含量的浓缩液黏度随时间的变化

Fig.4 Viscosity at 50 s⁻¹ of different retentate solid content as a function of time

图4可以看出,MPC80的浓缩液50℃条件下为剪切变稀,喷雾干燥前浓缩液的预热温度通常为50℃。脱脂乳粉生产过程中浓缩液通常为剪切变稠,Buckingham^[9]发现固形物百分含量为44%的脱脂乳浓缩物在44℃条件下为剪切稠化流体。Baldwin et al^[9]也发现相似的现象。Snoeren and Klok^[11]在392 s⁻¹的剪切速率,50℃条件下测定固形物百分含量为46%的浓缩液,结果发现在2 h测定过程中黏度增加了154%。MPC80浓缩液与脱脂乳浓缩液流变性的差异性是由于矿物质含量的差异造成的。

MPC的生产过程中,采用了超滤和洗滤的工艺,这可以除去牛乳中大部分的矿物质,因此MPC浓缩液相对脱脂乳浓缩液来说矿物质含量很低。在脱脂乳的生产过程中,随着牛奶固形物含量的增加,很多可溶性的矿物质盐就会析出,例如磷酸钙等就会在酪蛋白胶束表面沉淀下来^[12]。这些不稳定的胶束结构在加热过程中会发生聚集从而使黏度增加。乳浓缩物的流变性会影响喷雾干燥工艺,并对最终MPC80的性质产生影响。为降低喷雾干燥过程中的能耗,应当使得浓缩液的固形物百分含量尽可能高。

2.2.3 粒径的测定

乳粉的颗粒直径大,则冲调性能及润湿性好。如果乳粉颗粒大小不一,而且有少量黄色胶粒,则乳粉的溶解度就会比较差,且杂质度高。

不同固形物含量浓缩液130℃喷雾干燥后MPC粒径见图5。

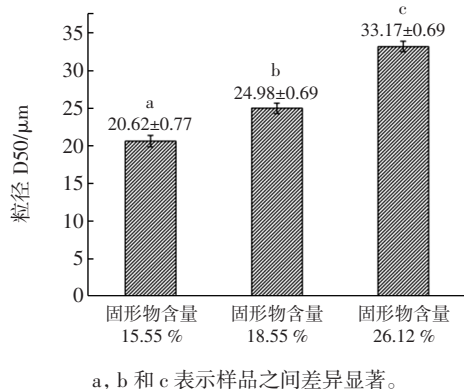


图5 不同固形物含量的浓缩液130℃喷雾干燥后MPC粒径变化
Fig.5 The particle size of milk retentate for different solid content after spray-drying at 130℃

由图5可以看出,随着浓缩液的固形物百分含量增加,粒径不断增加,固形物百分含量为15.55%的浓缩液经130℃喷雾干燥后,粒径为20.62 μm,浓缩液固形物百分含量增加至26.12%时,粒径相应的增加至33.17 μm,与前者相比,粒径增加了26.99%。MPC的

粒径主要是受喷雾干燥工艺的影响,喷雾干燥工艺中雾化参数的设定会对雾滴粒度产生影响,但是当雾化参数如喷嘴孔径和喷雾压力恒定时,雾滴的大小主要由浓缩乳的浓度决定。若浓乳浓度低、黏度小,则雾滴粒度小;反之,则雾滴粒度大。雾滴的大小和均匀度,直接影响乳粉颗粒的大小和均匀度。

乳粉在喷雾干燥过程中会发生如下的变化:高温处理颗粒迅速收缩从而使得粒径分布不均匀;颗粒内部并入气泡;粉体颗粒变得聚集。这些变化都会影响颗粒的粒径分布。

本实验中采用的为压力式喷雾干燥,平均粒径(d_{50})可由下公式进行粗略估计

$$d_{50} \approx k(Q\eta/p)^{0.33}$$

其中: Q 为进料速, ($m^3 \cdot s^{-1}$); η 为浓缩液的黏度; p 是雾化压力; k 为常数,与雾化喷嘴的结构有关。由公式可知,在一定的范围内提高浓缩液的黏度可以提高粒径的大小。据2.2.1可知,在相同的温度和剪切速率下,随着浓缩液固形物百分含量的增加,黏度也相应的增加。因此可以通过提高浓缩液固形物百分含量来提高MPC的粒径大小。

在实际生产中,为获得较小的颗粒,在喷雾干燥之前通常对浓缩乳加热处理,这样会降低浓缩液的黏度。浓缩乳的黏度在加热过程中会迅速的升高,因此热处理后应当立即进行雾化处理。一般情况下,雾滴的平均直径与浓乳的表面张力、黏度及喷嘴孔径成正比,与流量成反比。

2.2.4 水分含量测定

不同固形物含量的浓缩液130℃喷雾干燥后MPC水分百分含量变化见图6。

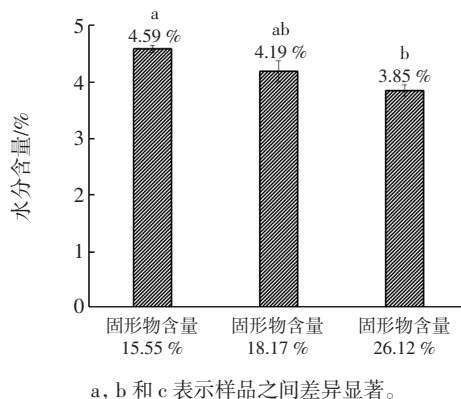


图6 不同固形物含量的浓缩液130℃喷雾干燥后MPC水分百分含量变化

Fig.6 The moisture content of MPC for different solid content after spray-drying at 130℃

由图6可以看出,随着浓缩液固形物百分含量的

增加, MPC80 的水分含量由 4.59 %降至 3.85 %。

随着浓缩乳的固形物含量的增加,单位时间内雾化的微小液滴数量增加,雾化的液滴进入干燥室后与干热空气直接、充分地接触。利用喷雾干燥进口和出口的温差使得水分迅速蒸发从而提高雾化效率。因此喷雾干燥前蒸发浓缩不仅可以提高干燥效率,而且可以提高干燥的效果。

2.2.5 溶解度的测定

通常来说,乳粉的粒径越大,其润湿性和冲调性就越好。由 2.2.2 虽然测得随着固形物百分含量的增加,粒径也增加。不同固形物含量的浓缩液 130 ℃喷雾干燥后 MPC 溶解度变化见图 7。

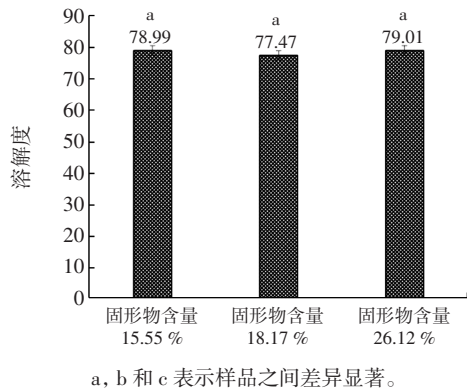


图 7 不同固形物含量的浓缩液 130 ℃喷雾干燥后 MPC 溶解度变化

Fig.7 The solubility of MPC for different solid content after spray-drying at 130 °C

由图 7 可以看出,不同固形物百分含量的浓缩液经 130 ℃干燥后 MPC80 的溶解性没有明显变化。溶解性是 MPC 的重要特性。浓缩乳中固形物的含量过高,导致蛋白质的热稳定性降低,黏度升高。黏度上升会导致喷雾干燥过程中产生大的液滴,从而要求提高排风温度以达到所需的水分含量。较高的排风温度会使乳固体过热,从而导致溶解性不良。

2.2.6 MPC 粉体性质的测定

2.2.6.1 流动性指数的测定

流动性是乳粉的一个重要性质,它关系到乳粉的运输、称重、包装和对乳粉及其随后应用中的处理。有较大颗粒和小颗粒含量极少的附聚颗粒组成的奶粉通常具有良好的流动性。然而较大的乳粉颗粒及附聚颗粒有可能会反过来影响乳粉的容积密度(BD)。降低“疏松容积密度”可提高流动性,但这种相关性远没有“振动溶剂密度”与流动性的关系那么强。颗粒大小均匀一致也可改善乳粉的流动性。

表 2 描述了 MPC 粉末的一些物理性质,包括休止角,松装密度,振实密度,压缩度,平板角和均齐度等。由表 2 可以看出随着浓缩乳固形物含量的增加,喷雾干燥后 MPC80 的松装密度、振实密度和压缩度均呈现增加趋势。根据 MPC 的松装密度、振实密度和压缩度等指标,从 BT-1000 粉体综合特性测试仪使用手册附表中查得各项指标所对应的指数,然后将各个指数加和即为 MPC80 粉体的流动性指数。所得结果见表 3。

表 2 不同 MPC 的各项物理指标的测定

Table 2 Physical index of different MPC samples

样品	休止角 $\theta_r/^\circ$	松装密度 $\rho/(g\cdot cm^{-3})$	振实密度 $\rho/(g\cdot cm^{-3})$	压缩度 $C_p/\%$	平板角 $\theta_s/^\circ$	均齐度
对照	41.11±1.07 ^a	0.55±0.01 ^a	0.75±0.01 ^a	26.48±2.33 ^a	39.84±1.23 ^a	2.78 ^a
质量分数 15.55 %截留液	54.00±0.00 ^b	0.26±0.03 ^b	0.41±0.01 ^b	35.68±1.14 ^b	65.50±2.21 ^b	3.01 ^b
质量分数 18.17 %截留液	54.00±0.00 ^b	0.33±0.02 ^c	0.53±0.03 ^c	30.77±3.19 ^c	64.60±1.10 ^c	3.40 ^c
质量分数 26.12 %截留液	53.50±0.00 ^b	0.42±0.00 ^d	0.59±0.02 ^d	29.15±0.12 ^d	64.30±2.50 ^c	4.71 ^d

注:对照组代表商品 MPC,对每列进行方差分析,其中相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同 MPC80 流动性指数的测定

Table 3 The flowability of different MPC samples

样品	休止角 $\theta_r/^\circ$	压缩度 $C_p/\%$	平板角 $\theta_s/^\circ$	均齐度	流动性指数
对照	17	14.5	19.5	23	74
质量分数 15.55 %截留液	12	7	12	23	54
质量分数 18.17 %截留液	12	10	12	23	57
质量分数 26.12 %截留液	12	12	12	22.5	58.5

注:对照组代表商品 MPC,对每列进行方差分析,其中相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 3 可以看出,3 种自制 MPC80 的松装密度、

振实密度和压缩度等指标显著低于商品 MPC80。商品 MPC80 的流动性指数为 74,代表着流动性相当良好,这可能是由于本次试验中所用的商品 MPC80 已经在 4 ℃条件下放置了 6 个月,贮藏时间的延长会影响其相应的一些性质,通常新鲜生产的 MPC 的流动性指数可以达到 90~100。随着牛乳截留液固形物百分含量的升高,MPC80 的流动性指数相应的增加,但是总体都是在 40~59 之间波动,这个范围代表流动性不太好。虽然 MPC80 的流动性随着牛乳截留液固形物百分含量的升高而有所改善,但是与商品 MPC80 相比,仍有一定的差距。

2.2.6.2 喷流性指数的测定

喷流性指数在乳粉的包装中具有重要的参考意义。通常喷流性指数为 80~100 时说明乳粉的的喷流性非常强,包装袋需要交叉密封;当喷流性指数为 25~39 时说明也许有喷流性,乳粉在包装过程中流动速度或投入状态时需要交叉密封;当喷流性指数为 0~24 时代表乳粉不具备喷流性,包装过程中不需要进行预防措施来防止乳粉的飞溅。

表 4 为不同 MPC 的喷流性测定结果。

表 4 不同 MPC80 喷流性指数的测定

Table 4 The flow resistance index different MPC samples

样品	流动性 指数	崩溃角 $\theta_i/^\circ$	差角 $\theta_d/^\circ$	分散度 $D_s/\%$	喷流性 指数
对照	74	16	14.5	17.5	122
质量分数 15.55 %截留液	54	9.5	3	12	78.5
质量分数 18.17 %截留液	57	10	6	12	85
质量分数 26.12 %截留液	58.5	12	9	12	91.5

注:对照组代表商品 MPC,对每列进行方差分析,其中相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4 可以看出,商品 MPC 具备很好的喷流性,超出了仪器的测定范围;不同固形物含量的浓缩物喷雾干燥后喷流性指数随着固形物的含量增加而升高,而且大概在 80~100 范围内波动,说明喷流性较强,包装过程中需要采取一定的防护措施防止乳粉的飞溅。

3 结论

本实验采用薄膜蒸发浓缩牛乳超滤截留液至固形物含量为 15.55 %,18.17 %和 26.12 %,研究了不同浓缩程度对 MPC 粉末的粒径,溶解性,流动性和喷流性指数等性质的影响。结果表明,浓缩至超滤截留液固形物含量为 26.12 %时,MPC 具有较好的溶解性和

流动性。

参考文献:

- [1] 张和平,张佳程. 乳品工艺学[M].北京:中国轻工业出版社, 2007: 135
- [2] Kim E H J, Chen X D, Pearce D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94 (12): 169-181
- [3] 中华人民共和国卫生部.GB 5413.3-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定.北京:中国标准出版社,2010:2-3
- [4] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定.北京:中国标准出版社,2010:2-3
- [5] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.4-2010 食品安全国家标准 食品中灰分的测定.北京:中国标准出版社,2010:1-2
- [6] 中华人民共和国卫生部.GB 5413.5-2010 食品安全国家标准婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定. 北京: 中国标准出版社, 2010:1-2
- [7] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定.北京:中国标准出版社, 2010:1-2
- [8] Carr A J. The Functional Properties of Milk Protein Concentrate: [D]. New Zealand: Massey University, 1999
- [9] Buckingham J H. Kinematic viscosities of New Zealand skim-milk [J]. Journal of Dairy Research, 1978, 45 (04): 25-35
- [10] Baldwin A J, Bauckek A G, Sanderson W B. The effect of concentrate viscosity on the properties of spray dried skim milk powder [J]. New Zealand journal of dairy science and technology, 1980, 15 (10): 289-297
- [11] Snoeren T H M, Klok H J. Effect of concentrate viscosity on the properties of skim milk powder[J]. Zuivelzichi, 1981, 73 (9): 1004-1007
- [12] Singh H, Newstead D F. Aspects of proteins in milk powder manufacture[M]. London: Elsevier Applied Science, 1992: 748-750

收稿日期:2015-09-22