



技术报告:

牛奶浓缩蛋白: 生产和应用

特约作者:

Hasmukh Patel, 助理教授,
南达科他州立大学

Sonia Patel, 应用工程师,
乳品原料加工研究中心

评审:

Shantanu Agarwal, 博士,
Dairy Research Institute® (乳品研究所) 产品研究和原料技术部总监

牛奶浓缩蛋白 (Milk Protein Concentrates, MPCs) 和牛奶分离蛋白 (Milk Protein Isolates, MPIs) 是牛奶中天然存在的优质蛋白质。这些高蛋白质的配料为全球食品和饮料工业提供了卓越的功能性和营养。U.S. Dairy Export Council® (美国乳品出口协会) 和 Dairy Research Institute® (乳品研究所) 制作了以下报告, 着重阐述生产和应用这些乳品配料的科技, 旨在通过介绍 MPCs 的通用特性、研究进展总结和实用技巧帮助食品制造商选择、储存并优化使用牛奶浓缩蛋白。报告的内容索引请见第12页。

什么是牛奶浓缩蛋白 (MPCs)

MPCs 是完全蛋白, 包含酪蛋白和乳清蛋白, 且二者之间的比例与在牛奶中的比例相同或相似。假设将加工过程中的热负荷控制到最小程度, 这些蛋白质仍会保持天然状态, 即酪蛋白还是原始的酪蛋白胶束状态, 与在牛奶里的状态非常接近, 绝大部分乳清蛋白也没有变性。¹与脱脂奶粉和全脂奶粉相比, MPCs 蛋白质含量高, 乳糖含量低。因此, 它们为终产品应用提供了具有高营养、感官和功能特性的浓缩蛋白质。

开发新颖配料往往需要新技术。分离技术是增加牛奶附加值的基础, 蛋白配料可以为食品配方提供普通奶粉产品不能提供的特殊功能和营养需求。²MPCs 一般通过过滤工艺生产 (微滤、超滤和渗析) ——膜分离技术去除了大部分的乳糖和水溶性矿物质而保留了牛奶蛋白, 然后对其进行喷雾干燥。

MPCs 的类型和组成

目前, MPCs 在美国还没有一个统一的标准。同样, 在美国和世界上许多其他国家也没有 MPCs 的组成标准 (如, 蛋白质含量最大值和最小值的标准)。2014 年美国乳制品协会 (American Dairy Products Institute, ADPI) 和美国乳品出口协会 (U.S. Dairy Export Council, USDEC) 递交了一个 “一般公认安全 (GRAS)” 的认证申请, 申请将 MPCs 和 MPIs 作为食品配料, 为除婴儿配方食品之外的各类食品提供功能和营养用途。

通常, MPCs 和脱脂奶粉 (Nonfat Dried Milk, NFDM) 是相近的产品, 二者的主要区别在于 MPCs 是通过去除乳糖和可溶性矿物质而得到的浓缩蛋白质。MPCs 的蛋白质范围是 42-85%, 常见的 MPCs 产品是 MPC42, MPC70, MPC80, MPC85 和 MPIs (通常蛋白质含量为 90% 或更高)。MPCs 通常由脱脂牛奶生产, 因此脂肪水平低于 3%。图 1 为不同 MPCs 和 MPIs 的组成比较。从图表中可以清楚地看到, 与 NFDM 相比, MPCs 富含蛋白质而相应的去除了乳糖, 除蛋白质之外, 灰分、脂肪和水分含量基本一样。

一般来说,随着MPCs中蛋白质含量的增加,乳糖含量下降。例如,NFDM约含有34-36%的蛋白质和52%的乳糖,而MPC42中含有42%的蛋白质和46%的乳糖,MPC80含有80%的蛋白质和5-6%的乳糖。蛋白质含量更高的MPCs被叫做MPIs,蛋白质含量为90%以上(通常为90-91%)。浓缩酪蛋白胶束的蛋白质含量可达到93-94%。

MPCs的生产和工艺流程图

图2是MPCs的典型工艺流程图,通常以脱脂牛奶为原料。第一步是脱脂牛奶热处理(如,70°C-75°C,10-20s)。热处理可以灭活不期望保留的微生物和酶类。然后进行超滤浓缩。超滤后,酪蛋白、乳清蛋白、胶束盐类和残留的脂肪被浓缩在截留物中,而乳糖、可溶性的盐类和非蛋白氮被渗透物带走。^{4,5,6}对于高蛋白质含量的MPCs例如MPC85,单一的超滤工艺不足以在截留物中获得需要的蛋白质与总固形物比值。通常通过渗滤去除额外的乳糖和可溶性矿物质。^{7,8}蛋白质的最高含量受到残留脂肪和截留的磷酸钙胶束的限制。⁹获得期望的蛋白质与总固形物比值后,对超滤的截留物进行蒸发和喷雾干燥。

与脱脂牛奶相比,超滤截留物中蛋白质与总固形物比值非常高,因此MPCs蒸发后并不能获得与脱脂乳固形物相近的固形物含量。喷雾干燥前,脱脂牛奶的固形物含量大约为50%,而MPC70的固形物含量只有约30%。而对于蛋白质含量更高的MPCs,固形物含量会更低。

MPCs的生产和全球贸易数据

在多种牛奶蛋白原料中,MPCs近来快速受到广泛关注。现今产品开发者在各类新产品中应用MPCs,以获得风味和功能性,得到高蛋白低乳糖的产品。

图3显示了主要的MPCs出口国。近些年市场对MPCs的需求增长迅速。在过去十年中,以MPCs作

图1: 不同蛋白质含量的NFDM和MPCs的组成对比³

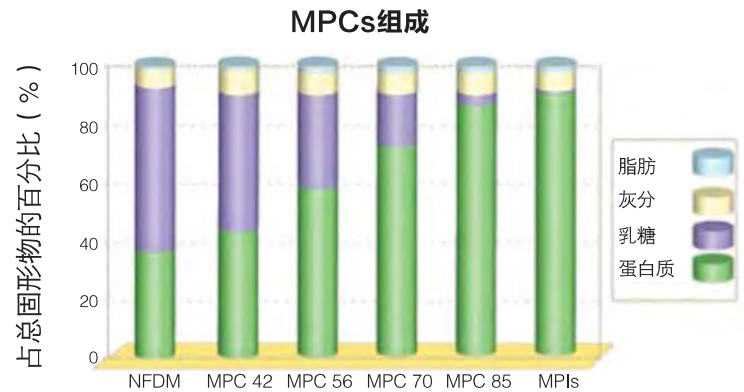
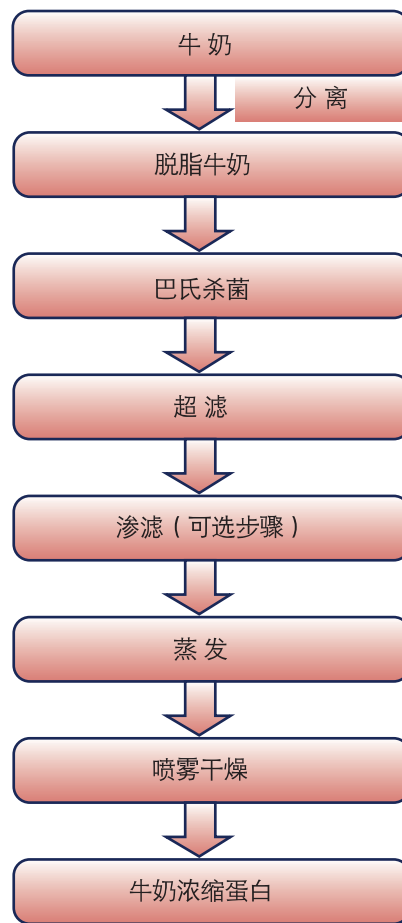


图2: 牛奶浓缩蛋白 (MPCs) 生产工艺流程图



为食品配料的市场和含有MPCs的产品都有所增长。举例来说，MPCs的全球产量从2000年的4万吨增长到了2012年的约27万吨。¹⁰

近年来，美国配料加工商越来越专业化。过去八年，美国国内的MPCs产品产量增长了一倍多，但是美国仍然进口大量的MPCs以满足激增的需求。例如，2006年美国的牛奶浓缩蛋白产量非常少，总需求量（约7.66万吨）的80-90%需要进口。到2013年，美国的MPCs产量达到约4.59万吨，但仍需进口5.5万吨MPCs（图4）。

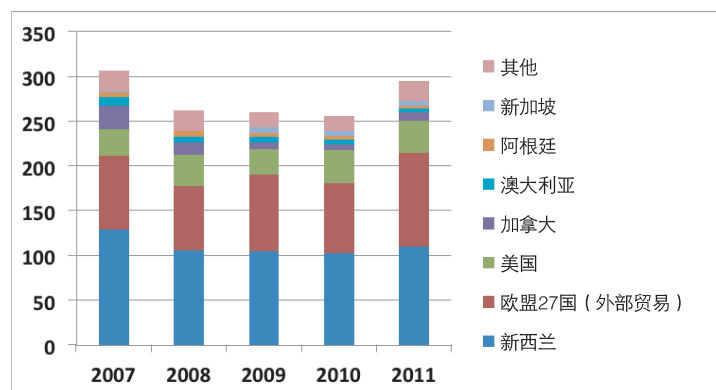
MPCs产量和需求增加的一个主要原因是越来越多的产品开始使用MPCs作为配料。图5列出了排名前15类的应用MPCs作为配料的产品。

总的来说，MPCs的增长主要归因于三个关键的用途：

- 1) 替代NFDMSMP (MPC42)；
- 2) 奶酪和酸奶生产（在允许的条件下，使用MPC42和一些MPC70）；
- 3) 在营养品或者膳食配方、高蛋白营养和临床配方、婴儿配方和蛋白棒中使用高蛋白MPC（80,85,90+）。

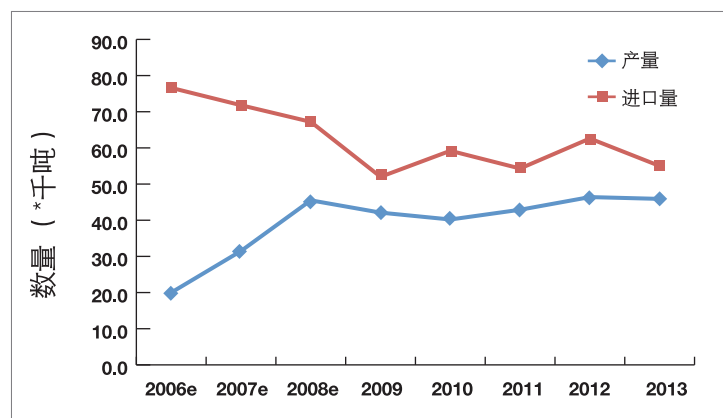
在一些国家，牛奶渗析产品可以用于奶粉产品的蛋白质标准化以生产符合CODEX产品。所以对于全球食品和饮料生产商来说，MPCs是非常重要的配料。

图3: MPCs和相关产品主要的出口国 (单位: 千吨)¹¹



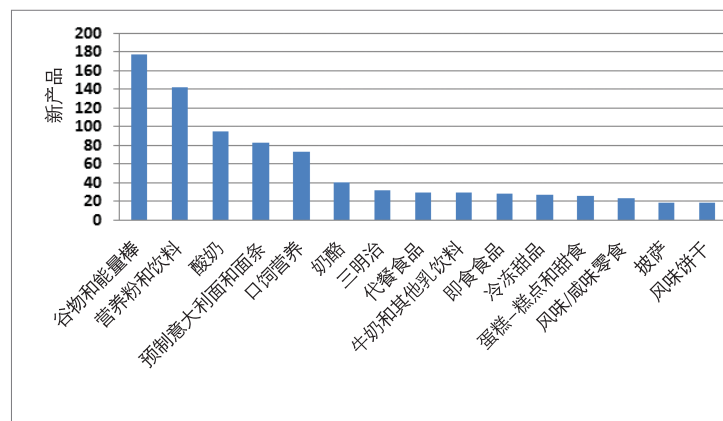
来源: GTIS全球贸易数据库, 包括HTS0404.90和3502.20的贸易分类

图4: 美国MPCs的产量和进口量 (2006-2013, 单位: 千吨)



来源: 美国乳品出口协会

图5: 使用MPCs作为配料的产品数量 (前15类)



来源: innova 2011

MPCs的应用和益处

MPCs在不同产品中的应用因蛋白质的含量而不同。一般低蛋白质含量的MPCs (42-50%蛋白质含量) 应用于奶酪、酸奶和汤的配料, 而高蛋白质含量的MPCs (70% 或者更高蛋白质含量) 应用于饮料、医疗食品, 肠内营养和能量棒等产品中。MPCs在奶酪产品中的应用包括用于非标准化奶酪如焙烤用奶酪、意大利乳清奶酪、飞达奶酪、西班牙奶酪、再制奶酪、涂抹奶酪和其他新鲜奶酪。然而, MPCs不能作为配料应用于有美国联邦标准法规限制的奶酪 (如切达奶酪)。MPCs的其他常见应用包括甜品、焙烤食品、糕点顶部配料、低脂涂抹食品和乳基干混配料、乳基饮料和酸奶质构改善等。¹²

MPCs可以作为等效蛋白或非脂乳固体替代全脂奶粉 (WMP) 和脱脂奶粉 (SMP)。MPCs还可以用于生产无乳糖发酵乳。¹³大型食品公司、大学和研究机构申请了许多MPCs应用于不同食品中的专利, 包括再制奶酪、奶油奶酪、天然奶酪、冰淇淋、饮料等。图6汇总了这些应用范围。

MPCs有多种优势, 包括:

- 配方功能优化
- 有利的关税分类
- 灵活的标签规则
- 聚焦产品质量, 货架期和酪蛋白比例调整

MPCs的营养和功能性益处

MPCs具有的特定益处和功能特性, 吸引产品开发者在他们的配方中应用MPCs。这些益处包括:

• **营养:** 在全球消费者市场中, 对新食品的需求驱动着新产品的开发。MPCs被应用于这些产品中提供营养和功能特性。MPCs是蛋白质的优质来源, 提供的能量约为360kcal/100g。MPCs同时也提供有益的矿物质, 如钙、镁和磷等, 从而减少额外强化的需要。MPCs被广泛用于许多蛋白强化食品尤其是代餐食品、营养饮料和能量棒等。高蛋白的MPCs被用于提高儿童、老年和医学营养品 (肠内营养)、体重管理产品、粉状膳食补充剂和运动营养产品的营养质量。将MPCs和乳清蛋白配料单独或一起与其他蛋白质应用是很常见的。

• **高蛋白/低乳糖产品:** 近些年来, 对高蛋白、低乳糖的饮料和食品的需求在快速增长。高蛋白含量的MPCs提高了食品和饮料中的蛋白质含量, 而不会增加可能引起褐变的乳糖, 这就为配方提供了纯净的乳风味。因此, 这些高蛋白MPCs应用

图6: 牛奶浓缩蛋白 (MPCs) 的应用

牛奶浓缩蛋白的应用

- 甜品、焙烤食品、糕点顶部配料、低脂涂抹食品和乳基干混配料
- 乳化剂, 如汤料、酱料、沙拉调味品
- 老年营养
- 冰淇淋
- 较大婴儿配方粉、幼儿牛奶
- 低乳糖产品和饮料
- 医学和临床营养产品
- 再制奶酪、奶油奶酪和新鲜奶酪
- 能量棒
- 各类食品中替代脱脂奶粉和非脂乳固体
- 运动和营养饮料、代餐饮料
- 生产奶酪用牛奶的蛋白质标准化
- 酸奶/发酵乳制品
- 体重管理食品和饮料

于低乳糖、高蛋白产品(如奶酪酱和超高温饮料)。MPCs也被用于提高冰淇淋蛋白质含量而不增加乳糖含量。¹⁴

- **卓越的功能特性:** MPCs是高功能性配料。在食品和饮料配方中加入MPCs可以提供一系列的益处包括增强水合能力、粘度、凝胶性、起泡性和搅打特性、乳化特性和热稳定性。此外,配方中添加MPCs可以提供不透明度和愉悦的牛奶风味,考虑到它们卓越的功能特性, MPCs在食品工业中适用于许多饮料和酸奶产品中(见表1)。

- **替代酪蛋白、酪蛋白酸钠和奶粉:** 习惯上,许多产品使用酪蛋白、酪蛋白酸钠和奶粉,而MPCs能够替代这些配料。MPCs目前广泛用于生产多种产品,包括仿制奶酪、再制奶酪、奶油奶酪、冰淇淋和冷冻甜品,酸奶/发酵乳制品、代餐食品、营养饮料、即饮和粉状饮料。

- **调整蛋白质含量和标准化牛奶:** MPCs保留了牛奶蛋白质的原始组成结构和功能(如应用于奶酪标准化、酸奶和冰淇淋混合物的蛋白质强化)。因为胶束磷酸钙在超滤过程中大部分保留在酪蛋白胶束中, MPCs含有大量以天然形式包埋的生物活性钙,这些进一步增加了其在婴儿和临床营养的普及应用。

表1: MPCs功能特性以及在终产品中的应用¹⁵

编号	功能特性	应用
1	水合、增稠	汤和酱料, 肉类产品, 焙烤食品, 糖果, 巧克力, 酸奶, 奶酪
2	乳化	汤和酱料, 冰淇淋, 糖果, 肉制品, 咖啡伴侣
3	起泡和搅打特性	冰淇淋, 甜品, 搅打浇盖
4	凝胶	奶酪, 酸奶, 烘焙食品, 糖果
5	热稳定性	复原乳, 汤和酱料, 肠内和临床营养
6	颜色/风味开发	巧克力, 糖果

MPCs的研究进展总结

数项研究报告论述了MPCs溶解性和MPCs在许多产品如酸奶、冰淇淋和奶酪中的成功应用。这些研究报告的内容总结如下。

不溶性机理的研究

通常,在室温或冷藏和低相对湿度的条件下(35-70°F), MPCs可以在6-8个月间保持良好的溶解性。但是高蛋白质含量的MPCs^{16,17}的溶解性较差,特别是储存在超过室温^{18,19,20,21}且高湿度和高水分活度的条件下。²²完全溶解是MPCs发挥其功能特性所必需的。因此MPCs的溶解性是生产者和用户最看重的特性。许多研究尝试着解释MPCs在储存过程中溶解性下降的机理,在文献中也报道过一些不同的理论来解释MPCs不溶性的机理。

不溶解性的机理

高蛋白MPCs溶解度下降受到奶粉颗粒表面过多的蛋白质-蛋白质相互作用影响,^{20,23}不溶解的蛋白质主要为酪蛋白—特别是 α -酪蛋白和 β -酪蛋白—还包括少量或不含乳清蛋白。^{20,23}这些物质通过蛋白质之间微弱的非共价(疏水性)键聚集,包括一些由二硫键连接而成的 κ -酪蛋白, β -乳球蛋白和 α_{s2} -酪蛋白。

一些研究表明,蛋白质构象的改变和蛋白质-水相互作用是两个主要的诱导因素,这些因素引起蛋白质的不稳定性从而最终影响MPCs的溶解性。²⁴在不同的水分活度 a_w (0.0-0.85)和温度(25°C和45°C)条件下进行12周的储存试验,结果显示,MPCs的溶解度随时效下降迅速,这个过程随着水分活度和储存温度的升高而加快。通过FTIR光谱仪观察蛋白质二级结构的微小变化,可以看到一些未折叠的蛋白质分子,这可能表明蛋白质-蛋白质相互作用可能由这些未折叠的蛋白质分子引起,并最终影响MPCs的溶解度。²⁴

研究人员观察发现,即使延长储存期,大约总蛋白的20%,即相当于MPCs中乳清蛋白的量依旧可溶。²⁰通过质谱分析,研究人员发现随着储存时间的延长酪蛋白被乳糖基化,因此推测MPC85的不溶性应该归因于粉末表面蛋白质之间的交联。²⁰进一步研究发现,MPCs的溶解度随着钙在矿物质中比例的增加而降低。⁵MPC85的复原乳中乳清蛋白和非胶束盐(如钠盐和钾盐)也得到相似的结果,它们易溶于水相中。²⁵反之,当矿物质(如钙,镁和磷)与酪蛋白胶束相连时,酪蛋白溶解缓慢,这表明这些矿物质可能影响蛋白质的溶解性。配料供应商希望通过技术手段控制和设计配料中的矿物质含量以满足特定食品和饮料的应用需要。

在其他一系列的研究中,²⁶研究者总结MPCs溶解度的降低主要由于复水动力变化而不是储存过程中不溶物质的形成。²⁷他们指出,牛奶浓缩蛋白85(MPC85)的复水过程由两步重叠的过程完成,聚集的粒子被打散成初级粉末粒子,与此同时,粉末粒子中的胶束物质释放到水相中。后者是MPC85溶解的一个限速步骤,这一步骤随着溶解温度的升高而增速。相反地,水渗透到粉末粒子中的过程不是一个限速因素,这是因为乳清蛋白和乳糖分子均大于水分子,无论是新鲜的还是储存一段时间的MPCs,这些成分都很容易溶解。²⁶

在随后的研究中,研究人员使用扫描电子显微镜观察MPCs粉末颗粒复原后的微观结构。²⁵他们发现酪蛋白胶束之间不同类型的相互作用(如桥接、直接接触)会产生多孔的类凝胶结构,这种结构可以约束单个胶束,避免胶束因为水分渗析和非胶束成分溶解而被分散到周围的液相中。在牛奶浓缩蛋白的储存过程中,胶束表面和胶束之间的相互作用增强导致胶束之间挤压,使其紧密地聚集在一起形成外膜,这种结构可能是引起储存中的MPCs粉溶解度降低的原因。因为酪蛋白胶束很难从粉末粒子尤其是粒子表面分离,使得MPCs类似中空外壳体的结构可以稳定存在(例如,内容物从内部分散,但中空外壳体仍然存在)。^{16,26}

MPCs溶解性改良的研究

一些研究报告指出,由于NaCl等具有吸湿性,添加一价盐(如NaCl和KCl)可增大高蛋白MPCs和酪蛋白胶束的溶解度。此外,复水性的改善归因于这些矿物质与改性的蛋白质-蛋白质相互作用²⁸或酪蛋白胶束结构的改变有关。²⁹另有研究报告称,与对照组相比,添加了一价盐的MPC85溶解度显著增大(超过60%)。³⁰在此之前,增大

MPC85溶解度相近结果也曾被报道,该项研究将部分钙替换为钠。³¹随着研究的进一步深入,研究人员发现,与对照组相比,添加钠和钾后的MPC80溶解度显著增大(100%)。³²在21°C或70°F储存条件下,超过90%添加钠和钾后的MPCs在1年后仍可以保持较好的溶解性。长期储存仍保持高溶解度主要归因于酪蛋白胶束间静电斥力的增强。²³另一个关于溶解度大幅增加的解释是酪蛋白胶束中钙和磷的释放。^{32,33}除了静电力之外,疏水作用力对高蛋白含量奶粉溶解度变化也起到重要作用,^{20,23,34}MPC80经一价盐(如NaCl和KCl)处理后溶解度增大可能是由于蛋白质疏水作用力大小的变化³³和二硫键形成的减少,这些变化可以改变蛋白质和蛋白质之间的相互作用,限制了蛋白质的聚合作用,从而增大溶解度。³⁴

MPCs在酸奶和冰淇淋中作为可替代配料应用的研究

MPCs已被作为传统脱脂奶配料有效的替代品,通常添加脱脂乳粉用于提高蛋白质水平和改善质构,此举可尽量避免乳清蛋白的分离并增强酸奶的稳定性。用MPCs替代脱脂奶粉对于酸奶良好的质构没有负面作用。^{35,36}关于MPCs的应用和标签要求请查阅当地法规和标准。

已有研究证明,MPCs可作为类似的蛋白质基料(4%)用于制作冰淇淋预混料,从而替代传统的脱脂牛奶配料。使用MPC56或MPC80可以在不影响冰淇淋预混料物理性质的基础上替代脱脂奶粉配料,在当地法规允许的前提下,MPCs可作为合适的配料用于制作低乳糖冰淇淋。

MPCs用于奶酪标准化的研究

MPCs已被用于生产非标准化奶酪,如披萨用奶酪,某些墨西哥风味奶酪和新鲜软质奶酪品种比如飞达奶酪。研究人员也研究了MPCs在马苏里拉奶酪^{38,39}、飞达奶酪^{38,40}和切达奶酪^{38,41}的标准化中的使用,MPCs或者超滤过的牛奶用于奶酪用乳标准化为奶酪加工者全年生产统一标准的奶酪提供了可能性。⁴¹

研究人员分别将脱脂牛奶和商业化生产的MPCs添加到全脂牛奶中,在生产墨西哥瓦哈卡奶酪时用以调整成分、提高产量和改善功能特性,研究发现在添加脱脂奶粉的产品中,实际干物质量和经调整水分奶酪的产量大幅下降,而这两项指标在添加MPCs的产品中均增多。⁴²另外有研究发现,使用经MPCs标准化的奶酪用乳生产的奶酪产量从13.8%增加到16.7%,这主要是因为经此处理的奶酪拥有较高的总乳固形物量和蛋白质水平以及略高的水分含量。³⁹也有报告认为牛奶蛋白含量的增加降低了脂肪与蛋白质的比率,因而排除了奶油分离的需要。脂肪和蛋白质比例的优化也改善了酪蛋白基质保持更多脂肪的能力和切达奶酪的脂肪回收率。⁴³



使用MPCs的酸凝胶剂或酶凝胶剂流变特性的研究

研究表明酶凝胶剂的凝胶时间不受MPCs类型(MPC70和MPC85)或者水合作用的影响。⁴⁴一些研究人员研究了蛋白

质含量为56%、70%和90%的MPCs和脱脂牛奶复原乳相比酶凝凝胶的流变特性，⁴⁵他们发现在蛋白质浓度相同的前提下，牛奶浓缩蛋白溶液的凝胶时间明显短于脱脂奶粉复原乳，而储能模量则高于脱脂奶粉复原乳。研究也对不同 α_s -酪蛋白： β -酪蛋白比例的MPCs的流变特性进行了评价，研究结论是 α_s -酪蛋白： β -酪蛋白比例是决定酶凝凝胶剂流变特性变形大小的重要因素。⁴⁶

研究人员在另一项研究中，观察了复原MPCs和脱脂牛奶的酶凝凝胶反应，⁴⁷他们发现复原的牛奶浓缩蛋白（MPCs）在加入约2mm的氯化钙的情况下才能形成凝胶。⁴⁷该研究和其他相关研究指出，高蛋白含量的MPCs（例如，MPC80）需要额外添加氯化钙来确保达到理想的凝胶效果，^{44, 45, 47}这可能表明离子平衡是MPCs功能性的关键。这种现象与生产MPCs过程中，超滤和纳滤除去了过多的可溶性钙有关。此外，补充充足的钙可以恢复复原牛奶浓缩蛋白的酶凝动力和凝胶力使其接近未加工脱脂乳水平。

MPCs的储存条件也能影响制备的MPCs溶液酸凝或酶凝凝胶的结合能力。当储存温度高于20°C时，酶凝凝胶脱脂牛奶/MPC85最终的复弹性模量（最终的 G^* ）和屈服应力随着MPC85储存时间的延长而以指数速度下降，高温储存的影响非常大。酶凝的初级阶段（ κ -酪蛋白的断裂）不受MPC85储存条件的影响。因此，储存条件的影响与酶凝的第二个阶段（酶引起酪蛋白胶束的聚集和凝结）相关。⁴⁸对MPCs复原乳进行热处理导致酶凝凝胶储能模量（ G^1 ）的增长率较慢，凝胶时间的减少和屈服应力的下降使凝胶被破坏。乳清蛋白变性（热处理的结果）程度与屈服应力均与凝胶 G^1 值下降相关。⁴⁹不论凝结时pH值是多少，牛奶蛋白质酶凝过程中的水解和聚集都依赖于蛋白质在MPC溶液预热时的变化。⁵⁰



MPCs在稳定水包油乳化液中作用的研究

一些研究建议MPCs可以用于稳定水包油乳化液，用以提高乳化特性（油/水界面）和起泡性（空气/水界面），如用于汤、调味汁、加工肉类、乳饮料、沙拉酱、油醋汁、焙烤食品等。

蛋白稳定乳化液的相行为受到聚合物粒度的影响。由MPC85和脱脂奶粉中天然存在的酪蛋白聚合物制得的乳化液比由酪蛋白酸钠制得的乳化液更稳定。这可能是由于MPCs和SMP中的蛋白质聚合物太大而造成了空缺絮凝，或者是它们引发了更高等级的空缺絮凝，因而形成更为粘稠的乳化液，而这样的乳化也减缓了乳液分层。⁵¹同一研究者进一步报告称聚合的蛋白质分散在分离的缓冲液中能改善其乳化能力。⁵²

研究人员研究了加工条件对MPCs稳定的水包油乳化液流变特性和物理化学特性的影响，发现乳化稳定性与流体一致

性指数具有很高的相关性。⁵³乳状液电导率不受加工条件的影响。在随后的研究中，他们发现蛋白质浓度增大导致MPCs稳定乳化液的乳化稳定性下降。他们也发表报告称加热的乳化液具有假塑性的特征（流体的粘度随剪应变率的增加而减小）。因此预热温度高可能引起最终乳化液呈现出显著的剪切稀化特性（即假塑性）；反之，当未预热乳化液表现为粘塑性，高蛋白含量改变他们的流变特性，使其由剪切稀化转为剪切稠化，导致其粘度增大。⁵⁴预热的连续相（MPCs溶液）或分散的油相都能影响流动特性和乳化液的稳定性。⁵⁵

根据最近的研究，对比不同钙含量的MPCs乳化液的稳定性，发现钙含量低的MPCs乳化液要比钙含量高的乳化液更精细，而且总表面蛋白浓度也更低。⁵⁶有报道称酪蛋白的聚合状态也是MPCs的乳化及吸收特性的影响因素。在低蛋白浓度环境下，低钙含量的MPCs稳定乳化液的稳定性随着乳化液液滴的增大而降低。乳化液的稳定性在蛋白质浓度超过最大水平后降低，这意味着低钙MPCs的蛋白质水平将可能导致乳化液的空缺絮凝。⁵⁶

另外也有报道称，一些非胶束酪蛋白片段的的存在有助于提高乳化效果，它可以对乳清蛋白聚集提供稳定性保护，这种保护作用对低钙MPCs的乳化液二次加热处理过程中存在的分散相和连续相都发挥作用。⁵⁷据报道，模拟乳化液的热稳定性、乳油分层特性及流体特性也受连续相乳化液类型及蛋白质种类影响。⁵⁸而且，研究人员发现，热处理前后对稳定的MPCs水包油乳化液的物理化学特性、微观结构及流变学特性将产生影响，报道称，预热的MPCs稳定乳化液，其液滴之间的相互作用比未预热的MPCs乳化液更小，这是因为乳清蛋白的变性导致液滴之间及液滴与蛋白质之间由热引起的反应减少。⁵⁷

MPCs的分析和测试方法

由于MPCs溶解性相对较差，传统的检测方法不能有效表达其功能特性。迄今为止，研究人员已采用各种不同的技术用以确定MPCs的不同特性。其中，大部分检测方法是离线操作，且大量样品的准备可能影响测量的再现性。现在很多MPCs溶解度检测方法的准确性取决于实验操作者，使得检测结果的误差可能较大。

现在也在尝试利用不同检测方法来测定MPCs的溶解度。研究人员最近报道了一种新的方法—用在线颗粒度分析仪（Focused Beam Reflectance Measurement，FBRM）来监测MPCs粉末的溶解过程，从而确定MPCs的溶解度。²¹FBRM能实时监控大范围悬浮物浓度变化导致的光波弦长变化，光波弦长直接反映了MPCs的溶解度。高弦长次数的减少意味着更高的溶解度。据报道，在一些相较于传统方法更全面的检测方案中，这种方法有可能被用于预测特定奶粉的溶解度。²¹

对含高蛋白MPCs产品的配方小贴士

- 通过小幅升高复原过程中的温度（理想在90-140°F）可增大MPCs的溶解度，溶解时间约30-40分钟，这样可以提高牛奶蛋白的水合能力。^{59, 16, 25, 21}
- 剪切的应用有助于加速MPCs的复原。¹⁶采用如三叶搅拌机或涡流搅拌机等高速搅拌设备将使MPCs溶解得更快更好。
- 如果配方需要调整pH值，应避免在MPCs完全水合前进行调整。
- MPCs溶解后，应减慢速度及进行间歇式搅拌来避免泡沫产生。泡沫对牛奶浓缩蛋白MPCs进一步加工而成的终产品将产生影响，为减少过多泡沫，建议在条件允许的情况下添加消泡剂。
- 建议对MPCs溶液进行均质（特别是在高蛋白质含量的溶液和/或超高温瞬时灭菌（UHT）前及回流过程中）。

目前MPCs被广泛应用在许多强化蛋白质的食品中，主要是代餐食品、营养饮料及能量棒。在食品和饮料中添加高蛋白MPCs一方面可以提高蛋白质含量，提供纯正的牛奶风味，另一方面也可避免增加乳糖含量。同时，MPCs能为产品提供有益的钙、镁、磷等矿物质，减少额外添加这些成分的必要性。MPCs也是多功能的配料，可以为产品提供持水性、胶凝性、起泡性、乳化性及热稳定性等特性。现今，乳品研究所、国家乳制品研究中心及美国乳品出口协会都在尽其所能来深入研究MPCs的相关科学，包括其加工工艺技术、基础性研究及应用等方面。

更多关于美国乳品配料的信息或应用美国乳品配料研发或改进产品的相关支持，请联系美国乳品出口协会中国联络处usdec@prcon.com或访问美国乳品出口协会官方网站www.usdec.org。



U.S. Dairy Export Council® (USDEC, 美国乳品出口协会) 是一个非营利性的独立的会员组织，代表美国乳品生产商、私营加工商和乳品合作社、原料供应商和出口贸易商的全球贸易利益。美国乳品出口协会的资金主要来自Dairy Management Inc.TM (乳品管理公司)管理的会费，其使命是提高美国乳品的全球竞争力并协助美国乳品行业提高全球乳品原料的销售和美国乳制品的出口。为达到这一目标，美国乳品出口协会通过市场发展项目，建立对美国乳品的全球需求，解决市场准入壁垒和推进行业贸易政策目标。除了在美国，美国乳品出口协会在墨西哥、南美、亚洲、中东和欧洲也有工作人员。

Dairy Research Institute® (乳品研究所) 是在美国奶农的领导下成立的，致力于营养、产品和可持续性的研究。乳品研究所是一家501(c)(3)非营利组织，旨在加强乳品行业的参与和技术研究所需的投资，以推动创新和全球对乳制品和乳原料的需求。研究所与乳品行业、学术、政府和商业合作伙伴共同工作，代表Innovation Center for U.S. Dairy® (美国乳品创新中心)、National Dairy Council® (国家乳品委员会)和其他合作伙伴，在营养、产品以及可持续发展方面，推动先期研究工作。乳品研究所的资金主要来自Dairy Management Inc.TM (乳品管理公司)管理的会费。

- [1] Martin GJO, Williams RPW, Dunstan DE. Effect of manufacture and reconstitution of milk protein concentrate powder on the size and rennet gelation behaviour of casein micelles. *Int Dairy J.* 2010;20:128-131.
- [2] Huffman L, Harper WJ. Maximizing the value of milk through separation technologies. *J Dairy Sci.* 1999;82(10):2238-2244.
- [3] Smith K. Dried dairy ingredients. Understanding Dairy Markets website. 2008. Available at: http://future.aae.wisc.edu/publications/dried_dairy_ingredients.pdf. Accessed December 17, 2013.
- [4] Green ML, Scott JK, Anderson M, Griffin MCA, Glover FA. Chemical characterization of milk concentrated by ultrafiltration. *J Dairy Res.* 1984;51(2):267-78.
- [5] Babella G. Scientific and practical results with use of ultrafiltration in Hungary. *Bull Int Dairy Fed.* 1989;244:7-25.
- [6] Bastian ED, Collinge SK, Ernstrom CA. Ultrafiltration: partitioning of milk constituents into permeate and retentate. *J Dairy Sci.* 1991;74(8):2423-2434.
- [7] Getter J, Nielsen A, Sprogo J. Drying technology: functional process for MPCs. *Dairy Ind Intl.* 1997;62(3):25-27.
- [8] Singh H. Interactions of milk proteins during the manufacture of milk powders. *Lait.* 2007;87:413-23.
- [9] Kelly PM. Milk protein concentrate. In: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH. *Encyclopedia of Dairy Science*, 2nd Edition. Amsterdam: Elsevier;2011:848-854.
- [10] USDEC Sourcebooks. 2011. Data presented at American Dairy Science Association conference. 2012.
- [11] U.S. Dairy Export Council. 2012.
- [12] Garde S. Dairy solutions to application challenges. *Prepared Foods.* 2008;177(10):77-78, 81-82, 85-86, 88.
- [13] Szigeti J, Krasz A, Varga L. A novel technology for production of lactose-free fermented milks. *Milchwissenschaft.* 2006;61(2):177-180.
- [14] Patel MR, Baer RJ, Acharya MR. Increasing the protein content of ice cream. *J Dairy Sci.* 2006;89(5):1400-1406.
- [15] Huppertz T, Patel H. Advances in milk protein ingredients. In: Ghosh D, Das S, Bagchi D, Smarta RB, ed. *Innovation in Healthy and Functional Foods*. Boca Raton, Fla: CRC;2012:363-386.
- [16] McKenna AB. Effect of processing and storage on the reconstitution properties of whole milk and ultrafiltered skim milk powders. Palmerston North, New Zealand: Ph.D. Dissertation, Massey University; 2000.
- [17] De Castro-Morel M, Harper WJ. Basic functionality of commercial milk protein concentrates. *Milchwissenschaft.* 2002;57:367-370.
- [18] Mistry VV, Pulgar JB. Physical and storage properties of high milk protein powder. *Int Dairy J.* 1996;6(2):195-203.
- [19] Mistry VV. Manufacture and application of high protein milk powder. *Lait.* 2002;82(4):515-522.
- [20] Anema SG, Pinder DN, Hunter RJ, Hemar Y. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). *Food Hydrocolloid.* 2006;20:386-393.
- [21] Fang Y, Selomulya C, Chen XD. Characterization of milk protein concentrate solubility using focused beam reflectance measurement. *Dairy Sci Technol.* 2010;90(2-3):253-270.
- [22] Baldwin AJ, Truong GNT. Development of insolubility in dehydration of dairy milk powders. *Food Bioprod Process.* 2007;85(3):202-208.
- [23] Havea P. Protein interactions in milk protein concentrate powders. *Int Dairy J.* 2006;16(5):415-422.
- [24] Haque E, Bhandari BR, Gidley MJ, Deeth HC, Moller SM, Whittaker AK. Protein conformational modifications and kinetics of water-protein interactions in milk protein concentrate powder upon aging: effect on solubility. *J Agr Food Chem.* 2010;58(13):7748-7755.
- [25] Mimouni A, Deeth HC, Whittaker AK, Gidley MJ, Bhandari BR. Rehydration of high-protein-containing dairy powder: slow- and fast-dissolving components and storage effects. *Dairy Sci Technol.* 2010;90(2-3):335-344.
- [26] Mimouni A, Deeth HC, Whittaker AK, Gidley MJ, Bhandari BR. Investigation of the microstructure of milk protein concentrate powders during rehydration: alterations during storage. *J Dairy Sci.* 2010;93(2):463-472.
- [27] Mimouni A, Deeth HC, Whittaker AK, Gidley MJ, Bhandari BR. Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Food Hydrocolloid.* 2009;23(7):1958-1965.
- [28] Schuck P, Briard V, Mejean S, Piot M, Famelart MH, Maubois JL. Dehydration by desorption and by spray drying of dairy proteins: influence of the mineral environment. *Dry Technol.* 1999;17(7-8):1347-1357.
- [29] Baldwin AJ. Insolubility of milk powder products — a mini review. *Dairy Sci. Technol.* 2010;90:169-179.
- [30] Carr AJ, Bhaskar GV, Ram S. Monovalent salt enhances solubility of milk protein concentrate. U.S. Patent 0208955.
- [31] Bhaskar GV, Singh H, Blazey ND. Milk protein concentrate products and process. International Patent Specification WO01/41578.
- [32] Sikand V, Tong PS, Vink S, Walker J. Effect of powder source and processing conditions on the solubility of milk protein concentrates 80. *Milchwissenschaft.* 2012;67(3):300-303.
- [33] Sikand V, Tong PS, Walker J. Effect of adding salt during the diafiltration step of milk protein concentrate powder manufacture on mineral and soluble protein composition. *Dairy Sci Technol.* 2013;93(4):401-413.
- [34] Mao X, Tong PS, Gualco S, Vink S. Effect of NaCl addition during diafiltration on the solubility, hydrophobicity, and disulfide bonds of 80% milk protein concentrate powder. *J Dairy Sci.* 2012;95(7):3481-3488.
- [35] Mistry VV, Hassan HN. Manufacture of nonfat yogurt from a high milk protein powder. *J Dairy Sci.* 1992;75(4):947-957.
- [36] Guzmán-González M, Morais F, Ramos M, Amigo L. Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low fat set-type yoghurt model system. I: use of whey protein concentrates, milk protein concentrates and skimmed milk powder. *J Sci Food Agr.* 1999;79(8):1117-1122.
- [37] Alvarez VB, Wolters CL, Vodovotz Y, Ji T. Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *J Dairy Sci.* 2005;88(3):862-871.
- [38] Harvey J. Protein fortification of cheese milk using milk protein concentrate: yield improvement and product quality. *Aust J Dairy Technol.* 2006;61(2):183-185.
- [39] Francolino S, Locci F, Ghiglietti R, Iezzi R, Mucchetti G. Use of milk protein concentrate to standardize milk composition in Italian citric mozzarella cheese making. *Lebensm-Wiss Technol.* 2010;43:310-314.
- [40] Kuo CJ, Harper WJ. Effect of hydration time of milk protein concentrate on cast Feta cheese texture. *Milchwissenschaft.* 2003;58:283-286.
- [41] Rehman SU, Farkye NY, Considine T, Schaffner A, Drake MA. Effects of standardization of whole milk with dry milk protein concentrate on the yield and ripening of reduced-fat cheddar cheese. *J Dairy Sci.* 2003;86(5):1608-1615.
- [42] Caro I, Soto S, Franco MJ, Meza-Nieto M, Alfaro-Rodriguez RH, Mateo J. Composition, yield, and functionality of reduced-fat Oaxaca cheese: effects of using skim milk or a dry milk protein concentrate. *J Dairy Sci.* 2011;94(2):580-588.
- [43] Guinee TP, O'Kennedy BT, Kelly PM. Effect of milk protein standardization using different methods on the composition and yields of Cheddar cheese. *J Dairy Sci.* 2006;89(2):468-482.
- [44] Kuo CJ, Harper WJ. Rennet gel properties of milk protein concentrates. *Milchwissenschaft.* 2003;58:181-184.
- [45] Ferrer MA, Hill AR, Corredig M. Rheological properties of rennet gels containing milk protein concentrates. *J Dairy Sci.* 2008;91(3):959-969.
- [46] O'Mahony JA, McSweeney PLH, Lucey JA. Rheological properties of rennet-induced skim milk gels made from milk protein concentrate solutions with different ratios of α_s - β -casein. *Milchwissenschaft.* 2009;64(2): 135-138.
- [47] Martin GJO, Williams RPW, Dunstan DE. Effect of manufacture and reconstitution of milk protein concentrate powder on the size and rennet gelation behaviour of casein micelles. *Int Dairy J.* 2010;20(2):128-131.
- [48] Hunter RJ, Hemar Y, Pinder DN, Anema SG. Effect of storage time and temperature of milk protein concentrate (MPC85) on the renneting properties of skim milk fortified with MPC85. *Food Chem.* 2011;125(3):944-952.
- [49] Pomprasit V, Singh H, Lucey JA. Effect of heat treatment on the rennet coagulation properties of recombined high total solids milk made from milk protein concentrate powder. *Int J Dairy Technol.* 1998;51(3):65-71.
- [50] Zbikowska A, Szerszunowicz I. Effect of heating milk protein concentrate on enzymatic coagulation phase. *Pol J Food Nutr Sci.* 2002;52(11):23-28.
- [51] Euston SR, Hirst RL. Comparison of the concentration-dependent emulsifying properties of protein products containing aggregated and non-aggregated milk protein. *Int Dairy J.* 1999;9(10):693-701.
- [52] Euston SR, Hirst RL. The emulsifying properties of commercial milk protein products in simple oil-in-water emulsions and in a model food system. *J Food Sci.* 2000;65(6):934-940.
- [53] Dybowska BE. The effects of processing conditions on the rheology and physicochemical properties of milk protein-stabilized O/W emulsions. *Milchwissenschaft.* 2001;56(2):63-66.
- [54] Dybowska BE. Influence of protein concentration and heating conditions on milk protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Milchwissenschaft.* 2007;62(2):139-142.
- [55] Dybowska BE. Properties of milk protein concentrate stabilized oil-in-water emulsions. *J Food Eng.* 2008;88(4):507-513.
- [56] Ye A. Functional properties of milk protein concentrates: emulsifying properties, adsorption and stability of emulsions. *Int Dairy J.* 2011;21(1):14-20.
- [57] Liang Y, Patel H, Matia-Merino L, Ye A, Golding M. Effect of pre- and post-heat treatments on the physicochemical, microstructural and rheological properties of milk protein concentrate-stabilised oil-in-water emulsions. *Int Dairy J.* 2013;32(2):184-191.
- [58] Liang Y, Patel H, Matia-Merino L, Ye A, Golding M. Structure and stability of heat-treated concentrated dairy-protein-stabilised oil-in-water emulsions: a stability map characterization approach. *Food Hydrocolloid.* 2013;33(2):297-308.
- [59] Schuck P, Piot M, Méjean S, Fauquant J, Brulé C, Maubois JL. Dehydration of an ultra-clean milk and micellar casein enriched milks. *Lait.* 1994;74:47-63.

目录

章节	页码
什么是牛奶浓缩蛋白 (MPCs)	1
MPCs的类型和组成	1
MPCs的生产和工艺流程图	2
MPCs的生产和全球贸易数据	2
MPCs的应用和益处	4
MPCs的营养和功能性益处	4
MPCs的研究进展总结	5
不溶性机理的研究	5
不溶解性的机理	6
MPCs溶解性改良的研究	6
MPCs在酸奶和冰淇淋中作为可替代配料应用的研究	7
MPCs用于奶酪标准化的研究	7
使用MPCs的酸凝胶剂或酶凝胶剂流变特性的研究	7
MPCs在稳定水包油乳化液中作用的研究	8
MPCs的分析和测试方法	9
对含高蛋白MPCs产品的配方小贴士	9