

文章编号:1673-1689(2005)06-0100-06

食品中乳蛋白的重要作用

夏文水, Sindyikengera Séverin

(江南大学 食品科学与安全教育部重点实验室,江苏 无锡 214036)

摘要: 乳蛋白具有许多令人关注的特性,包括营养、理化、功能、工艺、生理保健等特性. 被广泛地应用于乳制品、乳饮料和保健食品等. 作者首先介绍了乳蛋白的一些特性,然后描述了富含蛋白质的主要乳制品,包括产量较大的干酪、乳粉和产量较小的特殊制品如酪蛋白和乳清蛋白制品.

关键词: 酪蛋白;乳清;干酪;乳粉;液态乳;婴儿配方奶粉;酸奶

中图分类号: TS 252.1

文献标识码: A

Significance of Milk Proteins in Food

XIA Wen-shui, Sindyikengera S verin

(Key Laboratory of Food Science and Safety, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: Milk proteins have many attractive nutritional, physico-chemical, functional, technological, physiological and even nutraceutical properties. They are used in many different food products, ranging from dairy products to beverages, dietary and medical products. This paper introduced the characteristics of some milk proteins in the first and then described the principal protein-riched dairy products, ranging from large-volumed products such as cheese and milk powders to small-volumed and specialized products such as casein and whey protein products.

Key words: casein; whey; cheese; milk powders; liquid milk; infant formulae; yogurt

在过去的 30 年中,关于乳蛋白作为食品配料的实际和潜在应用一直是人们研究和讨论的热点. 相对而言,只有少部分乳作为饮料而被直接消费,大部分乳蛋白存在于液态乳、乳粉和乳清粉、干酪、分离乳蛋白(酪蛋白、酪蛋白酸盐,浓缩和分离乳清蛋白)等乳制品中.

乳和乳制品作为食品配料具有明显的优点,它们无色,风味柔和,在加工中相当稳定,不含毒素,以及其成分容易分离(如果必要)等. 乳制品作为食

品原料在食品中的应用最为广泛,它最主要的竞争者是豆制品和蛋类. 当乳制品作为食品成分被应用时,它的价值并未得到充分体现:即它被利用的主要是其理化特性,而在很多情况下,它的营养价值成为附带作用,同时它含有的很多微量蛋白的特殊生理作用也没有得到很好体现.

与植物来源的蛋白质相比,乳制品最主要的劣势是它的成本偏高. 按照每公顷土地生产蛋白质的数量计算,尽管乳的生产效率要比肉类高,但却大

收稿日期:2005-09-06; 修回日期:2005-10-15.

基金项目:国家“九五”技术创新项目计划(工业性试验)(编号 1997-17)资助课题.

作者简介:夏文水(1958-),男,江苏南京人,教授,博士生导师.

大低于大豆和谷物等植物^[1],然而乳蛋白的营养和功能特性优于大豆蛋白。

全世界的乳产量每年约为 560×10^6 t,其中 85%来自乳牛,11%来自水牛,2%来自绵羊,另外 2%的乳来自山羊^[2]。一般来说,骆驼、牦牛、马和驯鹿等产乳动物所产乳量较少,尽管在有些地区它们相当重要。假定奶牛、水牛、绵羊和山羊所产乳中分别含有 3.4%、4.5%、5.5%和 3.0%的蛋白质,那么每年全世界所产乳蛋白的量大约为 20×10^7 t。

关于世界乳制品产量的精确数据很难得到。水牛乳、山羊乳和绵羊乳以及由它们加工的乳制品可能用作食品配料,但最主要的乳源还是来自于乳牛。

在全球范围内,用于饮料、干酪、黄油、全脂乳粉和脱脂乳粉的牛乳分别占牛乳总产量的 39%、33%、32%、6%和 9%^[3],还有少量的乳用于生产炼乳(约 1.5×10^6 t 甜炼乳和约 3.0×10^6 t 蒸发乳,相当于约 11×10^6 t 乳,占总产量的 2%)、发酵乳、冰淇淋和婴儿食品^[2]。

全世界每年生产的酪蛋白约 25 万 t,相当于约 1 000 万 t 乳^[2]。乳清蛋白制品的总产量数据难以获得。乳清蛋白作为干酪生产中的副产物,具有加工、营养、生理甚至保健方面的多种利用和开发特性。

各个国家乳制品产量差异很大:一些主要国家和地区主要乳制品的近似产量可以从国际乳品联合会(IDF)公报中找到^[4]。最重要的乳制品是液态乳(包括饮料乳)、干酪和乳粉,三者占用了乳产量的 80%^[2]。作者将着重阐述这几种产品的蛋白质特性,此外还要描述一些利用乳蛋白某些特有性质而生产的比较新颖的产品。

1 乳蛋白

乳蛋白在营养和技术上的价值早已被人们所认识。就组成而言,乳是一种近乎全价的营养物,它为初生的哺乳动物提供了极其珍贵的蛋白质以及其他成分。此外,在乳蛋白质的种类和数量上,物种之间也有显著的差异。有人提出了在新生幼体的生长率与母乳中蛋白质的含量之间存在相关性的观点^[6],即乳中蛋白质的含量越高,幼儿的生长发育越快(见表 1)。

从营养和生理角度来说,乳蛋白质是乳中最重要的组分,它们特有的理化、功能和工艺上的特性已被食品工业所广泛利用。经常提到的乳蛋白的特性还包括耐高温性,在热杀菌、浓缩和脱水等处理

过程中,乳的物理和感官特性不发生变化。

介绍乳蛋白的最早的文章由 Braconett 发表于 1831 年,这早于同样研究乳蛋白的 Mulder,他于 1838 年提出了“蛋白质”这一术语。此后,特别是 20 世纪 30 年代以后,关于乳蛋白各种特性的文献层出不穷,间或还会出现综述形式的文章,包括不少教科书。

表 1 不同哺乳动物乳的成分含量及其后代的生长速度^[5]

Tab. 1 Composition of milks obtained from different mammals and growth rate of their offspring

种类	质量分数/%				体重达到出生体重 2 倍时所需天数/d
	总蛋白	脂肪	乳糖	灰分	
人类	0.9	3.8	7.0	0.2	180
山羊	2.9	4.5	4.1	0.8	12
乳牛	3.4	3.7	4.8	0.7	47
水牛	3.8	7.4	4.8	0.8	—
印度象	4.9	11.6	4.7	0.7	—
绵羊	5.5	7.4	4.8	1.0	10
老鼠	8.4	10.34	2.6	1.3	6
北方皮海豹	8.9	53.3	0.1	0.5	—
蓝鲸	10.9	42.3	1.3	1.4	10

酪蛋白和乳清蛋白是乳中的两种主要蛋白质(见表 2)。乳中 80%的蛋白质是酪蛋白,可用酸或酶从乳中沉淀出来。酸沉淀或等电点沉淀在 pH 4.6 下进行,此时酪蛋白沉淀,而乳清蛋白仍保持溶解状态。

酪蛋白含有 4 种基本蛋白质,即 α_{s1} 、 α_{s2} 、 β -和 κ -酪蛋白,它们各自都有相对分子质量和等电点不同的遗传变异体。酪蛋白是具有柔性和热稳定性的蛋白质,牛乳酪蛋白中,上述 4 种酪蛋白分别约占总酪蛋白质量的 38%、10%、36%和 12%^[2,7~14]。

乳清蛋白是酸或皱胃酶使酪蛋白沉淀后仍保持溶解的乳蛋白质。由酸沉淀方法得到的乳清蛋白称为酸乳清,皱胃酶沉淀得到的称为甜乳清或皱胃酸乳清。乳清蛋白是球蛋白,在很宽的 pH 值范围内可溶。乳清蛋白中最重要的蛋白质是 β -乳球蛋白和 α -乳白蛋白,它们占乳清中蛋白质质量的 70%~80%。同酪蛋白一样,这些乳清蛋白也存在不同的遗传变异体。其他的乳清蛋白主要包括免疫球蛋白、 β -乳白蛋白和牛血清蛋白。其中, β -乳球蛋白是一种含量丰富的乳清蛋白,对热处理相当敏感。 α -乳白蛋白是相对较小的球蛋白,被 4 个分子间二硫键所

稳定^[12]。乳清蛋白制品在蛋白组成和构象上的差异导致了其功能性质上的差异^[9]。

牛乳清蛋白中,主要的免疫球蛋白 IgG₁,还有少量的 IgG₂、IgA 和 IgM^[13]。母乳中主要的免疫球蛋白为 IgA。母乳在很多方面上有别于牛乳,特别是在蛋白组成上,母乳中乳清蛋白与酪蛋白的近似比例为 80:20,而在牛乳的比例为 20:80。牛乳和母乳之间存在的另一个显著差别是母乳中的 β -乳球蛋白含量极少,而牛乳中的含量却相当丰富^[14]。

乳中也含有大量的微量蛋白,主要存在于乳清中,但也有一些存在于乳脂肪球膜中(MFGM)。这些微量蛋白包括酶(大约 60 种)、酶抑制剂、金属结合蛋白(特别是乳铁蛋白和 osteopontin)、维生素结合蛋白和几种生长因子^[15]。尽管这些微量蛋白在几种主要的乳制品中的工艺学作用不大,但很多都具有生理功效,作为保健食品已受到人们的很大关注。

表 2 乳蛋白质及其特性

Tab. 2 Milk proteins and their characteristics

	占乳中总蛋白的 质量分数/%	相对分子 质量范围	估计平均 相对分子质量	等电点 pH
酪蛋白	79~83			
α_{s1} -酪蛋白	30~36	22 066~23 722	23 600	4.91~5.35
α_{s2} -酪蛋白	8~11	25 148~25 388	25 200	5.19~5.39
β -酪蛋白	25~28	23 939~24 089	24 000	5.11~5.85
κ -酪蛋白	9~10	19 005~19 037	19 000/19 550	5.37~6.07
γ -酪蛋白	2~4	11 600~20 500	20 500	5.8~6.0
乳清蛋白	17~21			
β -乳球蛋白	9~10	18 205~18 363	18 300	5.14~5.49
α -乳白蛋白	2~4	14 147~14 175	14 000/14 200	4.2~4.8
血清白蛋白	~1	66 267~69 000	66 300	4.71~5.13
免疫球蛋白	~2	153 000~901 000		5.5~8.3
- 豚-豚	2~4	4 100~40 800		3.3~3.7
- 其他	<2.5			

2 富含蛋白的乳制品

在全部乳蛋白中,只有少部分被食用或以纯品的形式出售。乳成分的实际价值取决于它所生产的产品价值、达到预期效果所需要的量、被取代的可能性以及经济因素等(见表 3)。^[2]

表 3 不同食品中蛋白质的价值

Tab. 3 Value of milk protein in various products

产品	蛋白质 质量分数/%	价格/ (IR£/t)*	价格/(IR£/kg) (以蛋白质计)
液态乳	3.2	500	15.6
酸乳	5.0	1 440	28.8
契达干酪	25	2 800	11.2
乳粉	26	2 250	8.7
脱脂乳	35	2 000	5.7
酪蛋白(酸)	80	4 500	5.6
酪蛋白(凝乳酶)	80	4 400	5.5
酪蛋白酸盐	84	5 000	6.0
浓缩乳清蛋白	35	1 450	4.1

注:IR£—爱尔兰英镑

一种配料的最终价值实际上取决于它所制成产品的价值,而且差别很大,例如全脂乳粉(WMP)可以用于酸奶中,也可以使用在面包中;而干酪可以在三明治中使用,也能在再制干酪中使用。

2.1 干酪

干酪的生产利用了酪蛋白体系在等电点 pH 4.6 酪蛋白会发生沉淀或聚集的特性,该特性在被广泛地应用于酸凝聚新鲜干酪(约占全部干酪产量的 25%)的生产以及利用专一性水解稳定胶束的 κ -酪蛋白的凝乳酶进行的有限水解中,在后一种情况下,当钙离子存在,且温度高于 20 °C(通常 30~35 °C)时能使被皱胃酶改变了的胶束发生交联聚集,所有成熟干酪中都要用到这种性质。酸或皱胃酶导致的凝胶主要受到蛋白质的影响,因此决定了最终干酪的特性。

传统的利用酸或皱胃酶生产干酪的方法只能将 70%~80%的乳蛋白质(即酪蛋白)转化成凝乳,剩余的蛋白质(主要是乳清蛋白)则留在乳清中。人们对于是否可以将乳清蛋白也合并到干酪凝乳中

以增加其产率曾经颇感兴趣。最初的方法主要是使乳清蛋白发生热变性,受热变性以后的乳清蛋白会通过其与 κ -酪蛋白之间的二硫键与酪蛋白胶束相互作用,酸化时则与酪蛋白一起沉淀下来。此法可将乳清蛋白用于夸克干酪的工业化生产中。另一种方法是加热使乳清中的蛋白质变性,并离心回收蛋白质,然后将浓缩的乳清蛋白添加到做干酪的牛乳中。当牛乳中蛋白质在酸或皱胃酶作用下凝聚时,乳清蛋白颗粒就会与之结合生成凝聚物,但不会影响凝聚物的品质。

干酪的质构主要取决于其中蛋白质的某些特性,比如功能特性,如可溶解性和流动性。干酪的风味在很大程度上受蛋白质降解产物的影响(甚至取决于它们),即多肽、氨基酸和氨基酸的代谢产物。因此,干酪的产率、品质和功能特性受其蛋白质的很大影响。

干酪是一种优质的方便食品:它可以不需任何加工而直接食用,可以填充三明治,还可以作为烹调菜肴的调味料或主料。大约 35% 的牛乳被用于生产干酪,而至少 50% 的干酪被用作其它食品的配料或原料^[2]。干酪是一种富含蛋白质的产品,它作为食品配料的用量在不断增长,而在这些应用中,衡量质量的主要标准就是蛋白质的功能性质。

2.2 乳粉

人类最迟从 14 世纪就开始生产乳粉(利用空气干燥)。Nicolas Appert 于 19 世纪初期生产出了干燥乳粉,但直到滚筒和喷雾干燥装置发展起来的 20 世纪初,乳粉才得到商业化的生产^[2]。

乳粉也是一种富含蛋白质的乳制品,表 4 总结了它的主要用途。对乳粉最有效的利用是生产再制的浓缩/非浓缩液态乳、发酵乳或干酪^[2]。

表 4 乳粉的基本用途^[2]

Tab. 4 General applications of milk powders

应用
再制乳制品
焙烤食品(包括蛋糕、混合蛋糕、面包和饼干等)
糖果食品(包括巧克力)
汤
肉制品发酵乳制品(包括酸乳)
点心(包括 mousse 和冰淇淋)
饮料
再制干酪和干酪产品
婴儿食品
动物饲料

不同程度的非变性乳清蛋白、热稳定乳粉和速溶乳粉等。膜技术的发展使得调整乳粉中的总蛋白含量和改变乳清蛋白与酪蛋白的比例成为可能,这也为乳粉提供了更多的发展空间。

2.3 液态乳

液态乳中蛋白质的基本功能是营养,但也有些理化特性会对产品的品质有重要影响,如色泽、粘度、口感和乳对常规热处理的耐受能力等。用超滤膜处理甜乳清或脱脂乳可将乳稀释 25%(即蛋白质质量分数从 3.44% 降至 2.4%),而且对乳的感官性质没有不利影响。即便这种方法已被广泛采用,但它仍未在商业上得到应用^[16]。显然,这种处理降低了乳的营养价值,对于大多成人富含蛋白质的膳食来说,这些营养成分也许不太重要,但对于儿童和青少年可能就是非常重要的。用超滤膜进行乳的稀释也降低了它的钙含量,这部分钙相当重要,因为乳是人类膳食中的一个主要钙源。

液态乳的消费量在各个国家之间有很大差异。事实上,相当部分的液态乳被用做配料,如作为茶或咖啡伴侣,作为热巧克力、早餐谷物和奶昔的介质,或作为香肠或甜点的基料。关于多大比例的乳被严格地作为饮料或配料使用的精确数据无法获得,但大多被成人消费的饮料乳应可看作食品配料,而对于婴儿和儿童来说则可作为饮料。

2.4 婴儿配方食品

可以说,乳蛋白最主要的营养功效体现在婴儿配方食品中,如作代母乳食品。根据 Mettler 的报道,早在 13 世纪有人就已开始用牛乳喂养婴儿,但直到 18 世纪人们才开始重视人工哺乳^[20]。在此之前,所有婴儿均由其生母或乳母喂养。由于一些社会和经济原因,在 19 世纪,母乳喂养明显地下降,随之而来的则是人工哺乳的增加。

1915 年,美国的 Gerstenberger 和他的同事推出了第一批适合婴儿营养需求的改性乳制品,他们试图模拟母乳的组成,这种产品被称作“SMA”(synthetic milk adapted)^[21]。SMA 商标至今依然存在,目前的很多婴儿配方食品皆源于该配方。在美国,杀菌液态乳仍是婴儿配方乳的主要形式,但喷雾干燥乳粉在其他地区则更为普遍。因此,以牛乳为基础的调配乳作为母乳替代物也是在近期才发展起来的。在 19 世纪和 20 世纪早期,人们喂养新生儿或稍大婴儿的牛乳可能是新鲜牛乳,一般是用水稀释并补充蔗糖(将牛乳中糖含量提高到近似母乳 7.0% 的水平)。

目前市场上已经出现了一大批特制的乳粉,如

目前市场上已经出现各种化学组成与物理状

态(浓缩或非浓缩的消毒液态乳和乳粉)不同的调配乳制品,按照主要成分的不同可将这些产品分为4种,即分别以乳、乳和乳清、大豆和蛋白水解物为主要成分^[18]。

随着人们对母乳中蛋白体系特性了解的不断深入,婴儿配方乳的生产商们把他们的产品做得更加接近母乳的组成。目前,人们经常将脱盐乳清添加到牛乳中,以提高乳中乳糖的含量和乳清蛋白与酪蛋白的比例,使其更接近母乳的组成。然而,正如前面已经提到的那样,牛乳和母乳的蛋白体系有很大的不同。除了总蛋白含量和酪蛋白含量都较低外,母乳中还不含 α_s -酪蛋白和 β -乳球蛋白,却含有更多的乳铁蛋白、溶菌酶和牛磺酸盐。母乳和人类婴儿配方乳中的蛋白质组成有很大不同,主要是后者含有较多的 α_s -酪蛋白和 β -乳球蛋白,而乳铁蛋白和溶菌酶的含量较低。在工业化规模上分离酪蛋白和乳清蛋白是可能的,因此非常近似地模拟母乳蛋白的组成是可能的,但限于成本,这尚未在商业规模上运作。

婴儿配方乳在某些地区是乳品工业的一个重要组成部分。例如,世界上三个主要的婴儿食品的生产公司(即新西兰的Weyth, Nutricia (Cow & Gate)和Abbot)生产出世界上40%的婴儿配方乳及类似产品^[2]。

还有一些为满足特殊婴儿需求而生产的婴儿配方乳,如乳糖不耐症患者、早产儿和对乳蛋白(特别是 β -乳球蛋白)过敏的婴儿等^[18]。有些配方食品要求对乳蛋白进行改性,如对于乳蛋白过敏的婴儿,可在产品中加入蛋白水解物。

2.5 发酵乳和乳蛋白制品

酸奶是一种常见的发酵乳制品,可通过添加脱脂乳粉或超滤截留物以增加蛋白质质量分数(达到约5%)的强化乳生产而成,这样可以改善其流变特性,因此它也可称为富含蛋白质的产品。酸奶也是一种高附加值的产品。在一些国家,尽管酸奶的产量很大,但仍比干酪产量低得多。在一些家常烹调菜肴中,酸奶和其他发酵乳制品也可作为调味品,但使用量有限。

乳蛋白中的酪蛋白从20世纪初期就开始有了商业化的生产。最初它仅被用于胶、塑料和纸质釉料等,基本上是一种经济效益较低的副产品。直到20世纪60年代,新西兰和澳大利亚才开始将其升级为食品配料来使用,从此,酪蛋白才成了更具价值的产品。酪蛋白现已成为一种主要的功能食品蛋白质。 万方数据

作为一种食品级的乳清蛋白制品,尽管乳蛋白已经生产很多年,但由于其在水中的不溶性而限制了它的应用,而且从未得到广泛应用^[19]。直到20世纪60年代末期膜分离技术的发展,功能性的乳清蛋白才有了大规模的生产。目前生产乳清蛋白所采用的最普遍的方法是使用超滤/渗析技术来生产浓缩乳清蛋白,其蛋白质质量分数约为35%~85%。使用离子交换树脂是生产高质量乳清蛋白制品(如分离乳清蛋白,其蛋白质质量分数约为95%)的有效方法^[20]。尽管在蛋白质质量分数上分离乳清蛋白优于浓缩乳清蛋白(分离乳清蛋白中脂肪、乳糖和盐的含量较低),但由于较高的生产成本而使其产量受到限制。

在20世纪60年代,功能性的食品级酪蛋白和乳清蛋白的生产适应了要求功能性蛋白质的配制食品的发展。最常使用酪蛋白的食品中包括有代干酪制品(特别是比萨干酪)、人造搅打奶油、奶酒、配制肉品、一些谷物制品、各种营养性食品以及在咖啡伴侣中作为乳化剂等。乳清蛋白产品的主要应用涉及到它的热凝胶性和泡沫稳定性。

另外,乳蛋白质目前还是生物活性肽的主要来源^[21]。目前已经发现了酪蛋白或乳清蛋白水解产生的几种生物活性肽,如酪蛋白磷酸肽、免疫调节肽、鸦片样肽、抗高血压肽、抗凝血肽和生物杀菌肽等^[22]。这些生物活性蛋白和多肽都是具有很高价值的蛋白产品,目前它们的产量很小且还多处在试验阶段。这些蛋白的价值更多地体现在它们的药用价值上,而不是它们在传统食品工业中的价值。

3 结 论

乳是人们从饮食中摄取高质量蛋白的传统来源。乳蛋白具有很多值得关注的性质,包括营养、理化功能、工艺、生理甚至在保健方面的特性。乳蛋白在乳制品、饮料和保健食品中都有应用。

在传统乳制品中,乳蛋白质的价值在发酵乳制品中最高。这些产品由于风味和人们对其保健功能的认识而受到普遍欢迎。最主要的高蛋白乳制品是各种乳粉和干酪,每种产品都有其自身的特殊应用。从技术角度和以其所加工产品的经济价值来说,酪蛋白、酪蛋白酸盐、浓缩乳清蛋白和分离乳清蛋白等都是很好的产品。

乳蛋白从产量较高的干酪和乳粉以及产量较小的特殊食品如酪蛋白和乳清蛋白,加工成不同食品时其价值会有很大差异。

参考文献:

- [1] Fox P F, McSweeney. Dairy Chemistry and Biochemistry[M]. London: Chapman & Hall, 1998.
- [2] Fox P F. Milk proteins as food ingredients[J]. **International Journal of Dairy Technology**, 2001, 54 (2): 41—55.
- [3] USDA. Dairy: World Market and Trade[M]. Washington DC: US Department of Agriculture, 2000.
- [4] IDF. World Dairy Situation; Bulletin 333[M]. Brussels: International Dairy Federation, 1998.
- [5] Hambraeus L. Developments in Dairy Chemistry- I: Proteins[M]. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1982.
- [6] Eigel W N, Butler J E, Farrell H M, *et al.* Nomenclature of proteins of cow's milk: fifth revision[J]. **Journal of Dairy Science**, 1984, 67: 1599—1631.
- [7] Belitz H D, Grosch W. Lehrbuch der Lebensmittelchemie[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- [8] Barth H G, Behnke U. Nutritional significance of whey and whey components[J]. **Nahrung**, 1997, 41: 2—12.
- [9] Walstra P, Geurts T J. Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes[M]. New York: Marcel Dekker, 1999.
- [10] Modler H W. Milk Processing[M]. New York: Wiley, 2000.
- [11] Van der Ven. A study on the correlations between biochemical and functional properties using multivariate data analysis [D]. Thesis: Wageningen Agricultural University, 2002.
- [12] de Wit J N, Klarenbeek G. Effects of various heat treatments on structure and solubility of whey protein[J]. **Journal of Dairy Science**, 1984, 67: 2701—2710.
- [13] Farrell H M Jr. Nomenclature of the proteins of cows' milk-Sixth Revision[J]. **Journal of Dairy Science**, 2004, 87: 1641—1674.
- [14] Walzem R L, Dillard C J, German J B. Whey components: Millennia of evolution create functionalities for mammalian nutrition: What we know and what we may be overlooking[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2002, 42: 353—375.
- [15] Wong D W S, Comirant W M, Pavlath A E. Structure and functionalities of milk proteins[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 1996, 36 (8): 807—844.
- [16] Rattray W, Jelen P. Freezing point and sensory quality of skim milk as affected by ultrafiltration permeates for protein standardization[J]. **International Dairy Journal**, 1996, 6: 569—579.
- [17] Mettler A E. Utilization of whey by-products for infant feeding[J]. **Journal of the Society of Dairy Technology**, 1980, 33: 67—72.
- [18] Anderson S A, Chinn H I, Fisher K D. History and current status of infant formulas[J]. **American Journal of Clinical Nutrition**, 1982, 35: 381—397.
- [19] Kilara A, Panyam D. Peptides from milk proteins and their properties[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2003, 43 (6): 607—633.
- [20] Mulvihill D M. Production, Functional Properties and Utilization of Milk Protein Products[M]. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1992.
- [21] Lindsay S, Paul N B. Milk protein structure what can it tell the dairy industry? [J]. **International Dairy Journal**, 2002, 12: 299—310.
- [22] Gobetti M, Stepaniak L. Latent bioactive peptides in milk proteins: Proteolytic activation and significance in dairy processing[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2002, 223—239.

(责任编辑:朱明)