



食品中蛋白质的功能(三)

Protein Functionality in Food Systems(III)



食品蛋白质的功能性质(一) ——乳清蛋白与酪蛋白

凌 静

(西南大学 食品科学学院, 400716)

摘 要: 乳清蛋白和酪蛋白磷酸肽是极好的营养强化剂, 其添加于食品中有利于人体健康。本文介绍了乳清蛋白和酪蛋白磷酸肽的功能特性及其在食品中的应用。由于其具有多种保健功能, 在食品行业中其应用前景十分广泛。

关键词: 乳清蛋白; 酪蛋白磷酸肽; 功能特性; 应用

Protein Functionality in Food Systems (I)

—Whey Protein and Casein Phosphopeptides

LING Jing

(Food Science College, Southwest University, Chongqing 400716)

Abstract: Whey protein and casein phosphopeptides is the extremely good nutrition reinforcement. They can improve the health of human when put them in food. This article introduced the function characteristic of whey protein and casein phosphopeptides and the application in food. The broad application prospect of whey protein and casein phosphopeptides in food profession because they have many kinds of health function.

Key words: whey protein; casein phosphopeptides; function characteristic; application

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-8123(2009)07-0060-05

主要论点:

- 1 乳清蛋白是利用现代生产工艺从牛奶中提取出来的一种蛋白质或是由于酪生产过程中所产生的副产品乳清经过特殊工艺浓缩精制而得的一类蛋白质。
- 2 酪蛋白磷酸肽(Casein Phosphopeptides, 简称CPPs)是从牛乳酪蛋白中分离提纯得到的富含磷酸丝氨酸(Serp)的天然活性多肽, 可在小肠内与钙、铁等矿物质形成可溶性络合物, 促进人体对钙、铁的吸收。

1 乳清蛋白

乳清蛋白是利用现代生产工艺从牛奶中提取出来的一种蛋白质或是由于酪生产过程中所产生的副产品乳清经过特殊工艺浓缩精制而得的一类蛋白质。它是由一些小而紧密的球状蛋白组成, 其广泛的功能特性是由它独特的氨基酸序列和三维结构赋予的, 其必需氨基酸组成完全符合或超出FAO/WHO的要求。它具有高蛋白、低胆固醇、低脂肪和低乳糖的特点, 且易消化吸收, 有很高的营养价值。同时与其它蛋白质相比, 乳清蛋白还含有很多生物活性物质, 因而具有较高的生物利用价值。^{[1][2]}

1.1 乳清蛋白的功能成分^{[1][2][3][4]}

β-乳球蛋白

乳清蛋白的主要组成部分是β-乳球蛋白, 其是必需氨基酸和支链氨基酸的极好来源, 且具有很强的

收稿日期: 2009-03-08

与松香油和脂肪酸结合的结合段,对促进蛋白质的合成和减少蛋白质的分解起着重要作用,并且 β -乳球蛋白的胶凝性优于卵白蛋白,再加上其持水特性,已成为众多食品系统中功能性高的配料。

α -乳白蛋白

α -乳白蛋白同样也是必需氨基酸和支链氨基酸的极好来源,并且也是唯一一种能结合钙的乳清蛋白成分。最近的研究发现,它可能具有抗癌功能。从牛奶中分离出来的乳白蛋白在氨基酸比例和结构方面,以及在功能特性上都与人乳非常相似,使其广泛应用于婴儿配方食品中。

乳铁蛋白

乳铁蛋白在牛奶中的平均质量浓度为0.1g/L,而在乳清蛋白产品中,其质量浓度可高达30-100mg/L。虽乳铁蛋白的含量较低,但其具有较高的生物活性,包括:抗菌性、抑制游离基形成、调节人体铁质转移、促进细胞生长并提高免疫能力、促进双歧杆菌增殖,并可作为抗氧化剂等。因此,乳铁蛋白是一种在乳制品和其它含有益生菌的营养药品中提供保健作用的功能性配料。

乳过氧化物酶

乳过氧化物酶是一种抗菌剂,能杀死微生物和细菌。其通过酶反应来杀死或使光谱微生物失活,抑制某些革兰氏阴性菌(包括大肠杆菌和某些沙门氏菌)和革兰氏阳性菌。这个酶反应还包括过氧化氢和硫酸盐离子这两个协同因子,它们与乳过氧化物酶一起组成乳过氧化物酶系统,具有较高的热稳定性。pH值、温度和细胞密度等因素影响乳过氧化物酶系统的功效。当过氧化氢和硫酸盐同时存在时,乳过氧化物酶系统对革兰氏阴性菌显示出抗菌作用,而当乳过氧化物酶单独存在时,其主要在牛奶中提供抗菌活性。乳过氧化物酶常常运用于酸奶中,是为了防止酸奶在贮存时所产生的后酸化作用,使得产品组织显得更软、更幼滑。

生长因子

生长因子是一组乳清成分的统称。这些生长因子能够在慢性、非治疗伤口如糖尿病、溃疡伤口修复时促进细胞生长。同时,乳清生长因子提取物也可应用于治疗肠道疾病和修补伤口。

1.2 乳清蛋白的功能特性^{[5][6]}

成胶性

乳清蛋白加热时可形成凝胶,并能保持大量水分。乳清蛋白在成胶过程中,会形成一种网络结构,将水分镶嵌在微小的空隙中。乳清蛋白加热到65℃左右开始成胶,其最佳的成胶条件是当蛋白质质量分数为10%-12%、温度为70-90℃、pH值为4.6-6.0时。

而在水溶液中蛋白质质量分数达到7%时,乳清蛋白便开始成胶。典型的凝胶只有蛋白质含量高的乳清浓缩蛋白(WPC)和乳清分离蛋白(WPI)才能形成。成胶性能使液态或可流动的产品变成固态,在调整食品特别是肉类、鱼产品以及蛋糕等的质地如硬度、粘结性和弹性中发挥重要作用。此外,还可以防止酸乳酪、酸性稀奶油等食品表面水分的损失从而改善食品的外观。

搅打起泡性

乳清蛋白具有向水和空气界面迁移、分子展开并稳定泡沫的趋势,且其表面活性对形成泡沫有着重要的作用。由于乳清蛋白的搅打性使其成为鸡蛋清的有效代用品。特别是低脂肪乳清浓缩蛋白,具有很高的泡沫膨胀性能,能延长起泡时间,并对剪切变性有一定的耐受性。搅打起泡性对于生产冷冻食品、蛋糕、饼干及奶糖等均有重要意义。

新型乳化性

乳清蛋白分子既有亲水基团,又有疏水基团。在水溶液中,亲水基团大多数分布于外侧,从而呈现较好的水溶性。这种结构赋予了乳清蛋白极佳的表面活性和乳化稳定性,能在脂肪球和水滴之间形成一层界面膜从而防止乳状液分层及凝聚沉淀。因此其广泛应用于人造黄油、海鲜食品、冰淇淋及蛋糕中。

成膜性

乳清蛋白是一种可食性膜,其可用于提高产品的稳定性、改善口感、优化外观以及保护产品的风味和香味。乳清蛋白可食膜具有良好的水分和氧气阻隔性,香味隔绝性和释放性。将其应用在花生类坚果为原料的食品中,可降低酸败速度,使坚果在食品体系中仍能保持脆性。

1.3 乳清蛋白的应用^[1]

1.3.1 酸奶

把乳清蛋白加入到酸奶配方中,可以缩短培养时间,改善风味和质地、增强持水性,减少乳清析出和脱水收缩现象,并能延长保质期,促进益生菌生长,增强酸奶的营养保健功能。据报道,采用超滤技术制得的乳清浓缩蛋白对发酵速度和嗜酸乳杆菌的生长具有促进作用。在酸奶中添加WPC,能最大程度地防止益生菌在胃中被破坏,另外在肠道中能提高酶的活性,从而有益于人体健康。

1.3.2 干酪

由于乳清蛋白的胶凝性质使其常常广泛应用于干酪生产中。WPC可强化乳蛋白质,加速乳的凝结,改善感官性能,缩短干酪的成熟期,增加干酪的出品率。作为生产干酪的配料WPC-60,能改善干酪风味和保持其良好的涂布性;WPC-80替代部分酪蛋白,

能赋予加工奶酪片和涂布型的加工奶酪爽滑的组织状态和柔和的风味。

1.3.3 冰淇淋

WPC广泛应用于冰淇淋的生产中,它作为廉价的蛋白质来源,可替代脱脂乳粉从而降低产品的成本,并可赋予冰淇淋清新的乳香味。WPC-80的良好的乳化和滞水作用,能使冰淇淋水分的分布更加均匀,防止由于冰晶的形成给产品带来不良的砂感,同时也能大大提高冰淇淋的抗融性^[7]。WPC和WPI的乳化能力不仅有益于产品的质感,亦可取代高达50%的脂肪,而不会使产品的品质发生明显的变化,这为生产低脂、低热量的冰淇淋创造了条件。此外,WPC还可应用于冷冻甜食以及裱花奶油的生产中。

1.3.4 焙烤食品^[8]

在面包、糕点、饼干等焙烤食品中,乳清蛋白可作为全部或部分替代品,或作为辅助成分,以增大焙烤食品的体积,提高水分含量,使其更加柔软,特别是添加了低含钙量的乳清浓缩蛋白,其效果尤为突出。在蛋糕生产中,利用WPC代替鸡蛋,可以提高蛋白糊的硬度和粘度,从而防止膨松剂产生的CO₂逸出。在曲奇和软质曲奇加工中,WPC不仅可代替鸡蛋,而且还能改善全脂和低脂曲奇的颜色和咀嚼性,是一种非常经济的乳固体原料。此外,乳清蛋白与乳糖混合后可带给食品极好的风味,所以,乳清蛋白作为蛋白替代原料有相当大的好处。随着人们健康意识愈来愈强,低脂类焙烤食品引起人们极大兴趣。低脂、低胆固醇的乳清蛋白可以全部或部分替代焙烤食品中的鸡蛋白、脂肪,同时保证产品的色泽、口感。

1.3.5 肉类制品^{[9][10]}

乳清蛋白特别是乳清浓缩蛋白和乳清分离蛋白能赋予火腿肠、鱼丸、肉丸等肉制品健康的形象和“绿色”标签,受到生产者和消费者的关注。其主要功能表现为:(1)提高肉制品的营养价值:乳清蛋白中含有健康食品所要求的氨基酸,能赋予肉制品卓越的营养价值;(2)含有较高的蛋白,且生产成本低;(3)有良好的黏着性,可提高产出率:乳清蛋白的黏着性是其具有结合能力的主要因素,其能使食品更加均匀,从而改善食品质地;(4)可作为肉制品的乳化剂:由于乳清蛋白具有亲水和疏水的双重性质,因而可作为肉制品中的乳化剂;(5)可用于加工低脂肉制品,增加产品弹性和液汁感;(6)可作为肉的添加物和替代品,生产出一种富含蛋白质的颗粒状食品,其口感就象吃小块肉,这种浓缩物的品质就象肉一样,适合作为肉的添加物和替代品;同时也可以考虑把该种食品开发成为便携食品,方便上班族用餐等。

Hayes, J. E等^[11]将乳清蛋白加入到法兰克福香肠中发现,β-乳球蛋白片断的矿物质成分能够影响嫩度、硬度,富含片断的β-乳球蛋白增加物不会影响它的感官质量。这一研究表明,新一代乳清蛋白片断的潜力及其在肉类产品上的应用前景非常大。

1.3.6 功能食品^[12]

乳清蛋白具有很好的运动营养价值,其主要表现在:含有易消化吸收的优质蛋白,能提供额外能量,节约体内蛋白质;亮氨酸、异亮氨酸等支链氨基酸含量丰富,这对运动员骨骼肌的能量供应、肌肉的合成以及延缓中枢疲劳等有极大的帮助;富含大量的含硫氨基酸,其能维持人体内抗氧化剂的水平,并在细胞分裂时稳定DNA;赖氨酸和精氨酸含量较高,会刺激合成代谢激素或肌肉生长刺激因子的分泌与释放,因而刺激肌肉生长和机体脂肪降低;含谷氨酸,有助于肌糖元更新并防止因过度训练导致的免疫功能下降;生物可利用钙的良好来源,减少运动期间发生骨折并防止雌性激素不足的女运动员发生骨质散失。

Morifuji等^[13]研究表明乳清蛋白能抑制肝脏FSN的活性,从而降低身体脂肪的积累,同时能刺激肌肉组织贮存脂肪等能量物质以适应耐力训练。

运动员对乳清蛋白的摄入量依据总热量、体重、训练时期而定。在剧烈运动和恢复期,可以把乳清蛋白摄入量提高到蛋白总摄入量的50%,作为基础营养补充,每天摄入20g左右的乳清蛋白就可以充分地表现出它的益处。

1.3.7 配方食品^[14]

乳清蛋白是一种多功能配料,在乳饮料中一般作为组织改良剂或作为益生菌或在其他营养疗效食品中作为载体。将乳清蛋白加入到以西洋参和茶叶开发的产品中,使其具有提神和抗疲劳功效的功能。

中国营养学专家一致认为,WPC中的氨基酸组成最接近母乳成份,是一种易消化、营养价值高的蛋白质,用于婴儿配方奶粉中有利于婴儿生长发育;再者,乳清蛋白适合于生产老年人食品。这是因为乳清蛋白中含有免疫球蛋白、乳球蛋白和牛血清白蛋白,具有促进免疫系统、阻碍化学致癌的发展、增加骨骼强度、减少低密度脂蛋白和胆固醇,能提高老年人的免疫力,延长其寿命。乳清蛋白作为全天然的膳食添加剂,已成为成年人及老年人健康食品的主要成分。

2 酪蛋白磷酸肽

酪蛋白磷酸肽(Casein Phosphopeptides,简称CPPs)是从牛乳酪蛋白中分离提纯得到的富含磷酸丝氨酸(Serp)的天然活性多肽,可在小肠内与钙、铁等矿物质形成可溶性络合物,促进人体对钙、铁的吸收。将

钙与CPPs应用于各类食品中,可提高食品的附加值,提高其应用价值,使其在国内外受到广泛的重视。^[15]

2.1 酪蛋白磷酸肽的结构^[16]

CPPs是由 α -酪蛋白和 β -酪蛋白经酶水解、分离纯化得到的一类富含磷酸丝氨酸和谷氨酸的活性肽。经酶分解所产生的CPPs 功能区结构主要有: α S1 (43-58) 2P、 α S1 (59-79) 5P、 α S2(46-70) 4P、 β (1-28) 4P、 β (33-48) 1P,但其产品分子量不均一。动物体内分离的CPPs 比体外水解产物短,却有相同的结构,其基本核心结构为-SerP3/SerP 3/SerP3/Glu3/Glu-Glu-,这一核心结构的磷酸肽分子中带有高度负电荷,能抵抗胃肠消化酶的攻击而阻止其分解,因而在体内仍能发挥生理功能。

2.2 酪蛋白磷酸肽的功能特性^{[16][17]}

2.2.1 促进矿物质的吸收

CPPs促进钙质吸收的方式有两种:一种是在十二指肠的上端,在VD的存在下,可促使钙以主动方式吸收;另外一种是在回肠及其末端,以被动方式吸收,它与前者不同,不直接受到机体功能、营养状况、年龄等影响。CPPs促进钙的吸收主要以被动方式为主。CPPs促进矿物质吸收的机理是:CPPs带有较多负电荷,既可以阻止消化道中各种酶的水解,又可以通过磷酸丝氨酸与钙、铁等离子螯合形成可溶物,从而有效地防止溶解的金属离子在小肠中性或偏碱环境中与磷酸根结合而形成磷酸盐沉淀,同时能有效地延长矿物质在体内的滞留时间,CPPs与金属离子的螯合物被肠黏膜吸收后再释放出CPPs。CPPs抑制磷酸盐沉淀的机理是:磷酸盐在初始形成时是无定形的,之后逐渐转变成晶体形式,CPPs黏附于晶体表面,从而阻止晶体增长,但CPPs不能使已形成的磷酸盐沉淀溶解。大量的实验研究从机理和效果方面证明了CPPs具有提高钙、铁、锌等矿物质吸收利用的作用。Hiroshi等研究表明CPPs能明显增强铁的溶解度和吸收率;牟光庆等研究表明CPPs可以在中性或碱性的小肠环境中使钙保持溶解状态,并促进肠壁对钙的吸收。

2.2.2 促进牙齿、骨骼中钙的沉积和钙化

CPPs 促进钙沉积和钙化的原因,一般认为是由于它在提高钙的吸收利用的同时,减少了破骨细胞的作用,从而抑制了骨的再吸收。据研究表明,酪蛋白磷酸肽-磷酸钙能防止牙细菌产生的酸对牙釉质的脱矿作用,从而具有抗龋齿功能,其原理为:CPPs磷酸丝氨酸簇结合钙后,以非结晶形式定位在牙蚀部位,磷酸丝氨酸钙盐提供自由的 Ca^{2+} 和 PO_4^{3-} 缓冲液,减少了釉质的脱矿,增强其再矿化,从而有效防止牙蚀细菌的侵蚀和造成脱矿物质的过程,从而达到

抗龋齿的效果。CPPs 在CPPs/Ca 比值为4 时能显著促进大鼠钙的吸收和利用,提高股骨骨钙含量,增加骨密度CPPs。Tbuehita等^[18]研究表明在没有VD参与的情况下可促进钙的吸收,这对于患有佝偻病的小孩服用含有酪蛋白的胰酶消化液,可以强化骨骼的钙化。

2.2.3 促进动物体外受精和增强机体免疫力

酪蛋白磷酸肽促进动物体外受精的作用机理尚不太明确,其可能与溶解状态的钙离子介导精卵细胞的融合有关,也可能与谷氨酸的游离羧基有关。通过牛、猪体外试验表明,CPPs可明显促进精子进入卵细胞和体外精卵细胞的融合,其原因是CPPs促进精子对钙离子的吸收,增强精子顶体的反应能力,提高精子对卵细胞的穿透能力^[19]。

CPPs还具有增强动物机体免疫力的功能。研究表明^[20],CPPs添加在大鼠饲料中能提高血清中IgG、IgA 等抗体的水平,从而显著提高肠道内的抗原特异性IgA和总IgA量,这表明CPPs 对黏膜免疫力的提高也有很大的促进作用。Hartmann等^[21]发现,用不同浓度的酪蛋白磷酸肽处理后,人淋巴细胞(PBL)的IgA水平极显著增加,甚至超过已知有丝分裂原诱导的反应。

2.2.4 促进细胞凋亡^[22]

研究发现,在人肠上皮腺瘤细胞HT-29细胞、Caco2细胞、白血病细胞HL-60以及神经胶质瘤细胞PC12等细胞模型中证明了酪蛋白磷酸肽具有促肿瘤细胞凋亡的作用,上述肿瘤细胞可以被 β -酪蛋白磷酸肽触发凋亡。值得注意的是,有研究表明酪蛋白磷酸肽对非肿瘤细胞CHO细胞和脾细胞的影响,但却未发现其诱导这两种细胞凋亡的作用。

酪蛋白磷酸肽诱导恶性肿瘤细胞凋亡却未对非恶性细胞(如CHO细胞和脾细胞)起到同样的作用,表明其具有潜在的药理学意义,因此,细胞凋亡诱导肽可能成为抗癌药物。

2.3 酪蛋白磷酸肽在食品中的应用^[23]

CPPs由于其能促进矿物质的吸收,因而是开发制造钙、铁功能食品的关键性原料,也是迄今为止唯一成功应用于功能食品的生理活性肽,其正是人类保健十分需要的,因此已被科学家视为非常理想的保健食品原料。目前在国外市场上已有含CPPs的许多适用于儿童、老人、孕妇等不同人群的各种保健食品,如糖果、饮料、饼干、奶酪制品、甜点、畜肉制品、各种乳制品等。在日本、东南亚、欧洲、澳大利亚等地,CPPs已广泛应用于钙强化乳制品、果汁饮料、蛋白饮料和速溶饮品、运动食品、糖果、营养补充剂以及防龋齿口香糖中。日本最早推出含有CPPs的铁骨饮料和饼干,使其极受大众欢迎。丹麦也于1991年实现了

CPPs的商品化。此外,美国、德国、法国等国家均进行了积极的研究,90年代,我国的广州轻化所开始进行CPPs的研究,现已通过技术鉴定,并实现工业化生产。

随着钙强化食品成为一种世界性的趋势,我国应用CPPs开发的产品日益增多,其趋势已从保健食品、营养素补充剂(片剂和胶囊)向钙强化食品发展,如高钙乳制品(液体奶、乳饮料、婴幼儿奶粉、老年奶粉)、饮料、饼干等。CPPs必须与钙一起配合运用于食品原料中,对于本来就含钙高的食品或者已强化钙的食品,则仅需添加CPPs即可。为了充分发挥CPPs的作用,应注意掌握钙和CPPs的配合比例。根据国外临床试验结果表明,如果使用CPP-III,使用量应为钙重量的0.35倍,而使用CPP-I或CPP-II,则使用量必需是钙重量的2.5倍。其中钙的重量指的是纯钙的重量。比如使用的碳酸钙,则其纯钙含量为40%,使用时应作换算。

CPPs在食品制成后添加为宜,由于其具有较好的稳定性,因此可经受热杀菌。CPP-I和CPP-II可用于一般固体食品,但CPP-I有苦味,通常不宜用于食品,而CPP-III则可用于包括饮料在内的各种食品中。

3 结 论

乳清蛋白和酪蛋白磷酸肽不仅是极好的营养强化剂,而且具有许多优良的功能特性。因此,将其应用于烘烤食品、甜点、饮料、乳制品、配方食品等食品中,对提高人民生活质量和健康水平有着广阔的市场前景和社会效益。

参考文献

- [1] 任雁,赵丹,张烨,等.乳清蛋白的功能成分及其主要功能[J].食品添加剂,2006:142-146.
- [2] 张旭晖,等.乳清蛋白的功能特性及其在酸奶中的应用[J].中国奶牛,2006,(6):46-48.
- [3] 宋立峰.乳清蛋白的功能特性及乳清制品在发酵乳制品中的应用[J].辽宁经济职业技术学院学报,2005,(4):67-68.
- [4] 乳清蛋白在保健食品中的功能应用[J].配料,1999,(6):28-31.
- [5] 张丹凤.乳清蛋白的特性及其在乳制品产品中的应用[J].食品添加剂,2007:27-28.
- [6] 谭斌.乳清蛋白及其在食品中的应用[J].四川食品与发酵,1998,(1-2):95-99.
- [7] 刘静,吴晓彤.乳清蛋白及其在乳品生产中的应用[J].内蒙古农业科技,2007,(2):92-93.
- [8] 贺家亮,李开雄.乳清蛋白在食品工业中的应用[J].中国食品添加剂,2008,(2):66-68.
- [9] 刘国信.乳清蛋白在肉类加工中的新应用[J].山东食品发酵,2005,(4):45-46.
- [10] 石秉荣,洪桂秋.添加乳清蛋白质的畜肉食品加工新技术[J].食品研究与开发,1998,(3):30-31.
- [11] Hayes, J. E, et al. The effect of whey protein-enriched fractions on the physical and sensory properties of frankfurters[J]. Meat Science, 2005, 71(2): 238-243.
- [12] 许瑞.乳清蛋白在运动营养中作用[J].粮食与油脂,2008,(6):44-46.
- [13] Morifuji M, Sakai K, Sanbongi C, et al. Dietary whey protein downregulates fatty acid synthesis in the liver, but upregulates it in skeletal muscle of exercise-trained rats. Nutrition, 2005, 21(10): 1052-1058.
- [14] 燕红,张兰威,朱永军.牛乳清蛋白的性质及其在食品工业中的应用[J].食品工业,2002,(3).
- [15] 于江虹.酪蛋白磷酸肽(CPP)的生理活性及其在功能食品中的应用[J].中国食品添加剂,1995,(1):14-20.
- [16] 刘文,陈有亮.酪蛋白磷酸肽的功能及其制备[J].科技通报,2008,(1):35-38.
- [17] 陈新风,郭荣富.酪蛋白磷酸肽及其营养作用[J].饲料工业,2005,(6):13-15.
- [18] Tbuehita H et al. Calcium and phosphorous availability from CPP in male growing rats[J]. Nutr. Res. 1995, 15(11): 1657-1667.
- [19] 冯凤琴,许时婴.酪蛋白磷酸肽功能性质的体外研究[J].食品与发酵工业,1997,23(6):1-5.
- [20] 江文德.机能性酪蛋白磷酸肽之特性及利用[J].食品工业月刊,1994,30(1):12-16.
- [21] Hartmann R, et al. Cytochemical assessment of phosphopeptides derivat from casein as potential ingredients for functional food[J]. Nahang Food, 2002, 46(6): 427-431.
- [22] 乔云芳,邹晓庭.酪蛋白磷酸肽及其在动物营养中的应用[J].中国饲料,2005,(13):18-20.
- [23] 范江平.酪蛋白磷酸肽(CPPs)在食品业的应用[J].食品工业,2004,(5):22-23.