

鸡蛋清蛋白肽与乳清蛋白肽生物活性研究进展

王玉¹, 阿提坎·吾斯曼¹, 黄卓² (1. 厚德食品股份有限公司上海分公司, 上海 201100; 2. 上海科技管理干部学院, 上海 201100)

摘要 乳清蛋白与鸡蛋清蛋白均为优质的蛋白质来源, 生物活性肽为蛋白质水解后得到的具有抗氧化、降血压、免疫调节等生理功能的活性片段。比较了乳清蛋白与鸡蛋清蛋白的营养成分以及其活性肽功能, 结果表明二者并无明显差异, 鸡蛋清在肠内营养制剂以及保健食品开发方面有很大的潜力。

关键词 乳清蛋白; 鸡蛋清蛋白; 生物活性肽; 免疫调节

中图分类号 TS253.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)13-0001-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.13.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study Progress on the Biological Peptides from Egg White and Whey Protein

WANG Yu¹, Atikan Wusiman¹, HUANG Zhuo² (1. Houde Foods Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai 201100; 2. Shanghai Institute of Science and Technology Management, Shanghai 201100)

Abstract Both whey protein and egg white protein are high-quality protein sources. Bioactive peptides are the active fragments obtained by hydrolysis, which showed biological functions such as antioxidant, antihypertensive and immune regulation etc. The nutrient composition and bioactive peptides of whey protein and egg white protein are overviewed. There was no significant difference between them. Egg white protein has great potential in enteral nutrition preparation and health food development.

Key words Whey protein; Egg white protein; Bioactive peptide; Immune regulation

鸡蛋和牛奶是两种优质蛋白质来源。2020年新冠肺炎疫情期间, 张文宏曾提出早餐食用充足的牛奶和鸡蛋来提高自身免疫力, 由此可见牛奶和鸡蛋在营养学上的重要地位。相较于中国, 欧洲等国家有更长的食用奶制品的历史, 欧洲考古学家发现了7000多年前有牛奶残痕的陶器。虽然我国北方一些少数民族也有制作各种奶制品的习俗, 但是总体来说, “乳类制品走进百姓家”是新中国成立之后的事情。相比于乳清蛋白等乳成分, 鸡蛋在食品学中的应用仍然停留在利用其物理性质如凝胶性、乳化性以及起泡性等(如利用鸡蛋清的起泡性制作戚风蛋糕), 鸡蛋的营养功效并没有得到足够的重视以及充分的应用开发。

肽作为介于氨基酸和蛋白质中间的特殊形式, 在机体新陈代谢和调节机制中起到很重要的作用^[1], 近年来关于蛋清以及乳清蛋白这两种优质蛋白质来源的活性肽功能性研究

也成为了关注焦点。该研究旨在比较鸡蛋清蛋白和乳清蛋白的营养及其活性肽功能, 以期扩大鸡蛋清蛋白质作为营养素来源的应用范围。

1 营养比较

1.1 营养成分 牛奶主要由酪蛋白及乳清蛋白等组成, 乳清蛋白为奶酪(酪蛋白)生产过程中的副产物, 主要由 α -乳白蛋白、 β -乳球蛋白、牛乳血清白蛋白以及免疫球蛋白等组成。鸡蛋是优质蛋白质和B族维生素的良好来源之一, 蛋清蛋白质主要由卵白蛋白、卵转铁球蛋白以及卵类黏蛋白等组成。牛奶^[2]和鸡蛋^[3]的营养素含量如表1所示, 牛奶中钙的含量高于鸡蛋, 鸡蛋中的蛋白质、脂肪以及维生素A的含量明显高于牛奶。结合100g牛奶和鸡蛋的价格而言, 鸡蛋显然是一种更为经济的蛋白质来源。

表1 牛奶和鸡蛋的营养成分

Table 1 Nutrients of milk and egg

来源 Source	能量 Energy//kJ	脂肪 Fat//g	蛋白质 Protein//g	铁 Iron//mg	钙 Calcium//mg	维生素A Vitamin A//ugRE
牛奶(100 g) Milk(100 g)	192	3.77	3.09	0.09	117.60	24.8
鸡蛋(100 g) Egg(100 g)	523	7.97	13.47	0.02	0.38	340.0

注: 能量的数值按蛋白质、脂肪的能量系数为17 kJ/g、37 kJ/g计算得出; 牛奶营养成分的数据来自文献[2]中纯牛乳的营养成分测试结果

Note: The value of energy is calculated according to the energy coefficients of proteins 17 kJ/g and fats 37 kJ/g. The data on the nutritional content of milk in this article are derived from the nutritional content test results of pure cow's milk in the literature [2]

1.2 氨基酸模式 营养学上评价各种食物蛋白质的差异常用到的一个指标为氨基酸模式, 即蛋白质中各种必需氨基酸的构成比例, 食物蛋白质氨基酸模式与人体蛋白质氨基酸模式越接近, 必需氨基酸被机体利用的程度就越高^[4]。张燕等^[5-7]对鸡蛋清以及乳清蛋白等不同来源的蛋白质氨基酸组成进行了分析, 其氨基酸模式如图1所示。由图1可知, 鸡

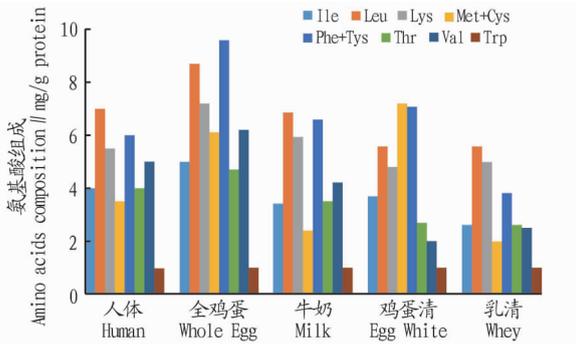
蛋清蛋白质的氨基酸模式与人体氨基酸模式较接近, 且鸡蛋清蛋白质必需氨基酸比值/模式(除赖氨酸与缬氨酸)均高于乳清蛋白必需氨基酸比值/模式。

2 活性肽功能比较

2.1 抗氧化活性 在生物体细胞内的氧化还原过程中产生的自由基可损害机体组织和细胞、促进机体衰老、引起机体产生慢性疾病。然而随着人工合成抗氧化剂的安全性受到质疑, 更多的食源性肽的抗氧化功能被研究与开发。活性肽的抗氧化性能是指具有清除各种自由基、提高细胞内的抗氧

作者简介 王玉(1990—), 女, 上海人, 副高级工程师, 博士, 从事鸡蛋生物活性成分与应用、功能性食品开发研究。

收稿日期 2021-08-20



注:全鸡蛋、鸡蛋清蛋白和乳清蛋白的氨基酸模式数据先从文献中获取必需氨基酸含量,再按照 FAO/WHO 的方法计算得出

Note: Amino acid pattern data for whole eggs, egg white protein and whey protein were obtained from the literature and then calculated according to the FAO/WHO method

图1 人体和不同食物的氨基酸模式

Fig. 1 Amino acids pattern of human and different food

化酶活性、抑制脂肪氧合酶活力和抑制脂质过氧化链式反应的能力。沈滢等^[8]采用不同蛋白酶酶解乳清浓缩蛋白,在优化后的酶解条件下,当水解度约为 19% 时,10 mg/mL 酶解产物的 DPPH 自由基清除率为 78.78%。彭新颜等^[9]测定了乳清分离蛋白经碱性蛋白酶水解后的产物在不同体系中的抗氧化活性。结果显示,浓度为 5% 的乳清蛋白水解 5 h 时,其 DPPH 自由基清除率为 45.7%。由此可见,乳清蛋白水解物的抗氧化能力与底物浓度、水解时间以及水解度有关。

蛋清蛋白肽的抗氧化活性同样受到了广泛关注,吴焯婷等^[10]研究发现,蛋清经碱性蛋白酶水解后,在体外对超氧阴离子、羟基自由基、DPPH 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力明显优于蛋清。余芬等^[11]发现,高水解度蛋清肽清除 DPPH 自由基的能力良好,高达 72.7%。张燕等^[12]对蛋清源五肽的抗氧化活性进行了评价,结果表明,经抗氧化肽预处理的保护组,随着肽浓度的升高,过氧化氢酶、超氧化物歧化酶以及谷胱甘肽过氧化物酶的活性均有所提高,呈浓度依赖型关系。尤其当肽浓度为 1.0 $\mu\text{mol/L}$ 时,过氧化氢酶活力为 (20.63 ± 0.51) U/mg 蛋白、总超氧化物歧化酶活力为 (179.39 ± 5.73) U/mg 蛋白,谷胱甘肽过氧化物酶为 (33.97 ± 5.02) 个活力单位,较对应损伤组的酶活性均有显著提高 ($P < 0.01$)。可见,乳清蛋白肽与蛋清蛋白肽均具有清除各种自由基,提高细胞内抗氧化酶活性等抗氧化功效,为两种肽的协同作用研究提供了理论基础。

2.2 降血压功效 血管紧张素转化酶 (angiotensin I-converting enzyme, ACE) 在人体血压调节中具有重要作用,它可催化降压物质舒缓激肽分解从而导致血压升高,因此通过抑制 ACE 的活性能够有效地抑制机体高血压的发生^[13]。来源于食物蛋白的 ACE 抑制肽无毒、无副作用,具有良好的应用前景,已成为当今世界研究的热点。徐思源^[14]利用纯化精制后的乳清蛋白水解肽饲喂原发性高血压鼠,结果表明,乳清蛋白水解肽能降低血压和 ACE 活性,与对照组相比有明显的效果。

食源性降血压肽的来源较广泛,除了乳蛋白来源外,还有发酵食品来源、鱼蛋白来源、植物蛋白来源以及蛋清蛋白来源。由于蛋清中除了蛋白质其他成分含量很少,酶解产生的降血压肽易于分离纯化。陈晨等^[15]利用高效液相色谱法测定蛋清蛋白酶解物及其超滤各组分的体外 ACE 抑制活性,结果表明,蛋清蛋白水解物的 ACE 抑制活性随着分子量的降低而增强 ($P < 0.05$),分子量小于 3 ku 的组分抑制效果最好,其 IC_{50} 值为 0.049 mg/mL (IC_{50} 值为半抑制浓度,是指抑制 50% 的 ACE 活性所需抑制剂的浓度,抑制活性越强其 IC_{50} 值越小)。

2.3 促进矿物质吸收 微量元素氨基酸 (小肽) 螯合物具有生物利用率高、吸收快、化学结构稳定、不易与其他物质产生拮抗等特性^[16]。赵立娜等^[17]制备乳清蛋白多肽-钙螯合物,并且利用红外光谱法对乳清蛋白多肽和乳清蛋白多肽-钙螯合物进行分析,结果表明,乳清蛋白多肽可与钙离子螯合,螯合钙无需解离成钙离子再与蛋白质结合后再被肠道吸收,而是钙及其整个分子完整的被肠道吸收,进入血液以螯合物的形式持续解离出钙离子供机体利用^[18]。玄依凡^[19]对肽锌螯合物和肽的氨基酸组成和分子量分布进行了分析,结果表明,与锌发生螯合反应的氨基酸主要是酸性氨基酸,螯合后的肽锌螯合物的平均分子量为 770 Da,其中分子量为 180~480 Da 的小肽占 52.99%。

金子琪^[20]以蛋清肽 (Asp-His-Thr-Lys-Glu, DHTKE) 为原料制备蛋清肽-钙螯合物 (DHTKE-calcium),并对 DHTKE 及其 DHTKE-calcium 进行结构表征。结果表明,DHTKE 具有较高的钙结合活性,并且 DHTKE-calcium 在肠道消化过程中具有一定的结构稳定性。此外,DHTKE-calcium 与其消化物在促钙吸收作用上无显著性差异 ($P > 0.05$),表明消化不影响 DHTKE-calcium 的促钙吸收作用。Sun 等^[21]研究发现,DHTKE 可与铁螯合,并且 DHTKE-iron 在人体胃肠道内具有良好的溶解性。可见,乳清蛋白肽和蛋清蛋白肽都能与钙、锌、铁等矿物质稳定地结合,并且在胃肠道内能够快速、持续地提供矿物质。

2.4 改善记忆力 记忆是大脑最基本最重要的高级神经活动之一,现代医学认为衰老会引发学习记忆和认知功能的减退。随着我国人口老龄化的加速,研究食物来源成分对人体记忆力的作用成为主流的趋势。卞辑^[22]通过酶法制备乳清蛋白肽,以血清、肝脏和脑中 SOD (超氧化物歧化酶)、MDA (丙二醛)、GSH-Px (谷胱氨酸过氧化物酶)、蛋白质羰基和 AchE (乙酰胆碱酯酶) 为指标,考察乳清蛋白抗氧化肽对衰老小鼠的保护作用。试验结果表明,乳清蛋白肽灌胃之后,衰老小鼠的 SOD 和 GSH-Px 活性明显增加,MDA 和蛋白质羰基含量明显降低,高剂量组与脑复康对照组结果相近。许海丽^[23]就蛋清蛋白肽对小鼠记忆和神经兴奋性的影响进行了研究,结果显示 9 mg/(g·d) 和 18 mg/(g·d) 剂量的蛋清蛋白肽可以显著改善小鼠的记忆水平,并且不同剂量的蛋清蛋白肽可以降低小鼠大脑中 AchE 的活力。由此可见,乳清蛋白肽与蛋清蛋白肽均能够调节中枢神经系统的活动,从而改

善衰老小鼠的学习记忆能力。

2.5 其他特性 除具有以上功能特性外,乳清蛋白肽还具有抗菌、促进乳酸菌增殖、免疫调节等作用。柯德森等^[24]利用不同方式水解乳清蛋白,证明了适当水解(酶法水解时控制水解程度为 10~12 mg/mL)能够显著提高乳清蛋白的抗菌能力。高海燕^[25]以乳清蛋白水解物作替代氮源(全替代)研究其在乳酸菌培养基中的应用,结果表明,对于嗜热链球菌、植物乳杆菌、干酪乳杆菌以及双歧杆菌,全替代培养基的菌密度、活菌数以及生长趋势优于或接近于市售乳酸菌培养基(MRS 培养基)。

蛋清蛋白肽除具有以上功能特性外,还具有抗菌、减肥、降脂、抗疲劳等作用。鸡蛋溶菌酶本身作为一种蛋白质而具有免疫原性,但在非酸性条件下的热稳定性极差。朱伶俐^[26]以鸡蛋溶菌酶为原料制备了溶菌酶抗菌肽,结果显示,当水解度为 5.46%时,经 115 ℃、20 min 热处理后的抑菌率为 53.6%。王璐^[27]以鸡蛋清为原料,通过酶解制备生物活性肽并对其进行减肥功能评价。结果表明,蛋清蛋白肽具有一定的减肥、降脂作用,且随着多肽含量的增多,减肥、降脂作用增强。王玉等^[28]研究了鸡蛋清水解物(HEpep)对斑马鱼的疲劳改善作用,结果表明,HEpep 对亚硫酸钠诱发的疲劳斑马鱼运动能力有明显的改善作用,可以显著性降低斑马鱼体内乳酸含量。

2.6 鸡蛋清蛋白肽与乳清蛋白肽的协同作用 协同作用是活性物质之间的一种常见反应,尤其是食品,其成分复杂、体系多样,不同成分之间可能存在一定的协同作用。饶胜其等^[29]将乳清蛋白酶解液 MWPH 和鸡蛋清蛋白酶解液 EWPH 以及相应粗分离组分 M_{Fs} 和 E_{Fs} 分别进行两两复配,结合联合指数 CI 值分析,结果表明酶解液 MWPH 和 EWPH 具有显著的协同还原能力,而粗分离组分 M_{Fs} 和 E_{Fs} 具有显著的协同还原能力以及协同清除 DPPH 自由基和羟自由基的能力。此外,胡晓赞^[30]利用纯肽研究小肽与其他抗氧化成分之间的协同作用,结果发现,V_C 与 7 种小肽发生协同增效作用,使 ABTS 自由基清除能力提高。

3 展望

综上所述,乳清蛋白与鸡蛋清蛋白以及其水解物(肽)都兼具营养与功能,其营养价值以及生物活性功能相近。但是,从产业应用角度分析,乳清蛋白作为优质蛋白质来源应用产品数量远超蛋清蛋白,截止到 2021 年 7 月,相关部门公示的已获批的特殊医学用途配方食品中,接近 100%的厂家选择以乳清蛋白为优质蛋白质来源,蛋清蛋白质在营养治疗方面的应用暂未开启,鸡蛋清在肠内营养制剂以及保健食品开发方面有很大的潜力。随着肽及其功效机制研究的深入,食源性肽以及复合物的应用内范围会越来越广泛,活性肽的提取工艺、纯度、适口性等是多肽类食品开发中不可回避的技术要点。

参考文献

- [1] SINGH B P, VIJ S, HATI S. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean[J]. *Peptides*, 2014, 54: 171-179.
- [2] 王磊, 崔亚娟, 王鑫, 等. 北京市售 15 种液态乳品的营养成分分析和比较[J]. *食品工业*, 2019, 40(3): 276-279.
- [3] 尚柯, 米思, 李侠, 等. 泰和乌鸡蛋品质及营养成分分析[J]. *食品工业*, 2018, 39(6): 223-226.
- [4] FAO/WHO. Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. FAO Nutritional Meeting Report Series No. 52, Technical Report Series No. 522[R]. 1973.
- [5] 张燕, 吴锦波, 何世明, 等. 阿坝藏鸡蛋品质及氨基酸组成分析与营养评价[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(11): 91-93, 108.
- [6] 姜丹, 蓝亿阳, 王金娥. 不同品牌柴鸡蛋的氨基酸分析与评价[J]. *生物资源*, 2018, 40(6): 548-553.
- [7] 陈智仙, 张海波, 张双庆, 等. 3 种不同来源蛋白质的氨基酸组成及体外动态消化研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(2): 62-68.
- [8] 沈滢, 卢蓉蓉, 陈卫, 等. 乳清蛋白抗氧化肽的制备及酶解产物特性[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(7): 68-73.
- [9] 彭新颜, 孔保华, 熊幼翎. 乳清蛋白水解物抗氧化活性的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(3): 167-172.
- [10] 吴焯婷, 黄慧娜, 施宝珠, 等. 蛋清酶解多肽的制备及其清除自由基活性[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(11): 90-98.
- [11] 余芬. 蛋清肽的制备及其性质的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.
- [12] 张燕, 陈志飞, 赵颂宇, 等. 蛋清源抗氧化肽对 HEK293 细胞氧化应激损伤的抑制作用及机制[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(10): 11-22.
- [13] FUJITA H, YOKOYAMA K, YOSHIKAWA M. Classification and antihypertensive activity of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins [J]. *Journal of food science*, 2000, 65(4): 564-569.
- [14] 徐思源. 乳清蛋白降压肽的制备及其功能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [15] 陈晨, 迟玉杰, 赵明阳, 等. 蛋清蛋白肽体外血管紧张素转化酶抑制活性及其消化稳定性[J]. *营养学报*, 2012, 34(3): 274-277, 281.
- [16] 苏纯阳, 董中华, 香红星. 微量元素氨基酸(小肽)螯合物的研究应用进展[J]. *饲料工业*, 2002, 23(1): 15-18.
- [17] 赵立娜, 汪少芸, 郭琳凯, 等. 乳清蛋白肽-钙螯合物的制备及性质研究[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(7): 160-167.
- [18] 曾敏莉, 周远大. 钙制剂的现状与发展趋势[J]. *儿科药理学杂志*, 2004, 10(3): 16-18.
- [19] 玄依凡. 乳清蛋白肽-锌离子螯合物的制备及特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [20] 金子琪. 蛋清肽螯合物的结构表征及其促钙吸收途径的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2019.
- [21] SUN N, CUI P B, LI D M, et al. Formation of crystalline nanoparticles by iron binding to pentapeptide (Asp-His-Thr-Lys-Glu) from egg white hydrolysates[J]. *Food & function*, 2017, 8(9): 3297-3305.
- [22] 卞辑. 酶法制备乳清蛋白肽及其对衰老小鼠学习记忆能力的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [23] 许海丽. 蛋清蛋白肽对小鼠记忆和神经兴奋性影响的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [24] 柯德森, 王红星, 巫锦雄, 等. 乳清蛋白水解程度与抗菌能力的相关性[J]. *食品科学*, 2013, 34(9): 61-65.
- [25] 高海燕. 乳清蛋白水解物在乳酸菌培养基中的应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [26] 朱伶俐. 溶菌酶抗菌肽的制备、分离与鉴定[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [27] 王璐. 鸡蛋清蛋白肽的制备及减肥功能研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [28] 王玉, 刘采云. 鸡蛋清水解物对亚硫酸钠诱发的疲劳斑马鱼的改善作用[J]. *农产品加工*, 2020(19): 10-13, 20.
- [29] 饶胜其, 方维明. 乳清蛋白酶解肽与鸡蛋清蛋白酶解肽联合作用下的抗氧化效应[J]. *食品工业*, 2014, 35(12): 172-176.
- [30] 胡晓赞. 小肽抗氧化性及协同作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.