

乳清蛋白在运动营养中的应用

刘利锋*

(西安培华学院, 西安 710000)

摘 要: 乳清蛋白作为一类高质量蛋白, 为运动员或健身人群快速补充蛋白质的运动产品的首选成分。乳清蛋白含有丰富的生物活性成分和丰富支链氨基酸决定了其在运动营养方面的功效, 乳清蛋白具有提高免疫力、抗氧化、缓解疲劳、增强肌肉运动能力、增强骨质等作用。从运动营养方面的产品开发上看, 目前以乳清蛋白为主要原料的产品主要为运动饮料和乳清蛋白粉。本文从乳清蛋白组成成分、乳清蛋白在运动营养方面的功效、乳清蛋白在运动营养方面的产品开发 3 个方面来全面介绍了乳清蛋白在运动营养中的应用。为乳清蛋白的进一步功能研究、产品开发提供理论基础。

关键词: 乳清蛋白; 组成成分; 功效; 产品开发

Application of whey protein in sports nutrition

LIU Li-Feng*

(Xi'an Peihua University, Xi'an 710000, China)

ABSTRACT: As a kind of high-quality protein, whey protein is the preferred ingredient of sports products for athletes or fitness people to quickly replenish protein. Whey protein is rich in biologically active ingredients and abundant branched-chain amino acids determines its efficacy in sports nutrition. Whey protein has the functions of improving immunity, anti-oxidation, alleviating fatigue, enhancing muscle exercise capacity, and strengthening bone quality. From the perspective of product development in sports nutrition, the current products which use whey protein as the main raw material are mainly sports drinks and whey protein powder. This article comprehensively introduced the application of whey protein in sports nutrition from 3 aspects: the composition of whey protein, the efficacy of whey protein in sports nutrition, and the product development of whey protein in sports nutrition. It provided theoretical basis for further functional research and product development of whey protein.

KEY WORDS: whey protein; composition; effect; product development

1 引 言

乳清蛋白(whey protein)是一类利用现代生产工艺技术从牛奶中提取出来的蛋白质, 乳清蛋白具有高蛋白、低脂肪、易于消化吸收、含有丰富必需氨基酸、营养价值高等优点, 被称作为“蛋白之王”^[1]。如今竞技体育不仅对运动员的体能要求越来越高, 并且还要求运动员有着高度灵敏性和强大的耐力。运动员在激烈运动后蛋白质分解增加,

对肌肉的合成需求增加, 维持体重要求体内肌肉蛋白增加, 耐力项目也会使氨基酸供能需求增加, 因此运动员对于蛋白质的需求远远高于一般人群^[2], 普通膳食蛋白质的质量难以满足运动员的营养需求, 乳清蛋白不仅在生物利用价值方面比许多其他高质量的膳食蛋白如蛋、牛肉和大豆都要高, 而且在补充速度和恢复能力上, 都是很突出的, 已经成为运动员或健美健身人群用来快速补充蛋白质的运动产品的首选成分, 在运动饮料、食品、保健品等诸多产

*通讯作者: 刘利锋, 硕士, 主要研究方向为体育教学。E-mail: jiezhuang015047@163.com

*Corresponding author: LIU Li-Feng, Master, Xi'an Peihua University, Xi'an 710000, China. E-mail: jiezhuang015047@163.com

品的生产过程中充当着蛋白质供给“主力军”的角色,使运动营养食品的发展搭上了“快车”。本文从乳清蛋白组成成分、乳清蛋白在运动营养方面的功效、乳清蛋白为原料的运动营养产品开发现状等方面介绍乳清蛋白在运动营养中应用的研究进展,可为提升运动员的运动能力提供一定的科学参考。

2 乳清蛋白的组成成分

2.1 乳清蛋白的生物活性成分

乳清蛋白中含有丰富的生物活性成分,其中以 α -乳白蛋白和 β -乳球蛋白^[3]为主, α -乳白蛋白对机体的抗氧化、细胞免疫和增强运动能力有着功不可没的作用, β -乳球蛋白有助于增强机体中枢抗疲劳能力^[4];乳清蛋白中还包括乳铁转移蛋白、免疫球蛋白、牛乳血清白蛋白、磷脂蛋白、凝乳乳清、大量生长因子和生物活性肽^[5]。乳铁转移蛋白可以刺激人体免疫系统细胞^[6],免疫球蛋白具有保护小肠粘膜的活性^[4],生长因子可以在伤口修复中促进细胞生长^[7]。

2.2 乳清蛋白的氨基酸组成

乳清蛋白含有 20 种必需氨基酸^[8],也有亮氨酸^[9-12]、异亮氨酸^[13]和缬氨酸^[14-16]等支链氨基酸,为谷氨酸盐的前体物质之一,可以为机体提供能量;半胱氨酸^[17-19]和蛋氨酸^[20-22]等含硫氨基酸具有抗氧化等功能;富含的苏氨酸^[23]可以维持肠道健康;其中含有的赖氨酸^[24,25]和精氨酸^[26,27]可以刺激代谢激素的分泌,促进肌肉生长。

3 乳清蛋白在运动营养方面的功效

3.1 提高免疫力

长时间高强度的运动训练会使运动员的免疫力下降,进而容易患各种感染性疾病,最终耽误运动员正常训练、影响比赛成绩,因此如何提高运动员的免疫力,促进运动员在训练后免疫功能的恢复成为了目前运动免疫学研究的热点之一。谷氨酰胺是一种在免疫反应中起重要作用的条件性必需氨基酸,是淋巴细胞和巨噬细胞免疫反应中极为重要的底物。骨骼肌是合成谷氨酰胺的主要场所^[28],运动员在激烈运动后,容易造成肌肉损伤和免疫防卫能力降低和谷氨酰胺的缺乏,单次强力训练可使机体免疫机能产生数小时的暂时性抑制。因此对于运动员来说,及时补充谷氨酰胺极为重要。乳清蛋白富含谷氨酸等谷氨酰胺前体物质,因此乳清蛋白具有维持谷氨酰胺水平,提高免疫力等功能性质。 β -乳球蛋白本身不具有免疫调节活性,内毒素是某些商业 β -乳球蛋白制剂中主要的免疫刺激成分, Brix 等^[29]用不同的 β -乳球蛋白制剂在体外培养无乳饮食的 BALB/c 小鼠的脾脏免疫细胞,研究了天然免疫细胞对不同的 β -乳球蛋白制剂的反应,结果表明,一些 β -乳球蛋白制

剂可诱导脾细胞和肠系膜淋巴结细胞的增殖,产生肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor alpha, TNF- α),白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6),白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β)和白细胞介素-10 (interleukin-10, IL-10),以及脾细胞培养物中细胞内谷胱甘肽水平的升高。官凌菊等^[30]将赛艇运动员划分为实验组和对照组分别每天进行水上长划训练,训练时间为 30 d,实验组每天早晚服用乳清蛋白 25 g,对照组每天早晚服用等量安慰剂,在第 1 d 和第 31 d,对照组和实验组分别抽取肘静脉血 5 mL,肝素抗凝后待检,检测淋巴细胞亚型、血清免疫球蛋白 A(immunoglobulin A, IgA)、血清免疫球蛋白 G(immunoglobulin G, IgG)、血清免疫球蛋白 M(immunoglobulin M, IgM)。结果表明补充乳清蛋白对赛艇运动员细胞免疫功能有很大改善。此外,乳清蛋白中的乳铁蛋白和球蛋白均具有抗菌和抗病毒活性,可以充分发挥它的功效,为人类身体健康提供一定的保障。

3.2 抗氧化

运动员在剧烈运动时,耗氧量会大大增加,内源性自由基增多,脂质过氧化反应增强,造成组织氧化损伤,从而影响到细胞正常功能,影响运动员的耐力,引起运动疲劳。因此运动员可以通过科学合理地补充适合自身的抗氧化补充剂来提高自身的抗氧化能力,防止过度的氧化应激反应所造成的机体损伤以及疲劳感。由于乳清蛋白中的生物活性成分中含有丰富的胱氨酸残基,胱氨酸残基可以顺利通过消化道和血流,从而进入细胞膜,经过还原反应还原成 2 个半胱氨酸,合成还原型谷胱甘肽(glutathione, GSH),体内 GSH 的水平影响了机体的抗氧化能力^[31-34]。GSH 的抗氧化能力在于其分子上的巯基,自由基从巯基中获得电子后形成稳定结构。Elia 等^[32]研究了乳清蛋白和大豆蛋白对游泳训练和非训练动物的肌肉中氧化还原参数、体重和身体组成的影响,结果表明含有乳清蛋白的饮食可以防止剧烈运动引起的肌肉氧化应激,并且由动物的肌肉组织中还原型谷胱甘肽(GSH)与氧化型谷胱甘肽(glutathione oxidized, GSSG)的比值降低可以推测,在补充乳清蛋白的未经训练的动物中,以减少谷胱甘肽为代价,可以防止由于力竭运动引起肌肉组织的氧化损伤。Hill 等^[34]以成年男性为研究对象,研究了大豆蛋白和乳清蛋白对血清中脂质过氧化物浓度的影响,训练前每天摄入 40 g 蛋白,结果表明,大豆蛋白组和乳清蛋白组的白介素-8 均上升,并且大豆蛋白组在运动 5 min、3 h、24 h 后可降低血清脂质过氧化物。Paul^[35]的实验结果表明在一项快速循环跑试验中,每天给运动员补充 20 g 乳清蛋白,持续 12 周,结果可明显增加血液淋巴细胞谷胱甘肽水平,并提高运动能力。

3.3 缓解疲劳

运动员在进行运动消耗时,体内肌糖原和肝糖原大

量消耗, 血液中支链氨基酸含量也随之降低, 与此同时, 游离色氨酸水平升高, 色氨酸进一步转化为 5-羟色氨, 5-羟色氨会产生嗜睡和疲劳感^[31]。如何帮助运动员在体育训练中缓解疲劳感成为了业内比较关注的话题。由上述归纳可以看出, 乳清蛋白中含有丰富的支链氨基酸, 丰富的支链氨基酸便可以阻断色氨酸的转运, 抑制 5-羟色氨的生成, 防止中枢兴奋性受到抑制, 缓解中枢疲劳。并且研究表明在剧烈运动时更好的利用有氧代谢途径, 也可以很好的缓解疲劳感。马彬^[36]在篮球运动员的食物中补充乳清蛋白对运动员的运动能力的影响, 初步实验表明, 在训练时进行乳清蛋白的补充, 不仅可以预防运动性贫血, 而且还能减缓疲劳感。胡芳豪^[37]选择 2 组同地区运动员, 分为实验组和对照组, 实验组的运动员在运动前后和睡前 50 min 均饮用 700 mL 乳清蛋白饮料, 对照组运动员在相同时间段补充等量的水, 进行耗氧量测试、血乳酸浓度测定、血常规检测、肌酸激酶和尿素氮的含量测定, 结果表明, 运动员在比赛期间补充乳清蛋白, 可以保护血红细胞的功能, 同时还可以缓解机体疲劳, 恢复机体体能。任广旭等^[38]将 wistar 雄性大鼠随机分为 3 组, 分别为大豆蛋白组、乳清蛋白组和双蛋白组, 通过大鼠尾部负重静水游泳的方式, 构建力竭运动模型, 每周训练 5 d, 训练 6 周, 记录力竭时间, 采集尾静脉血, 检测其测肌酸激酶和乳酸脱氢酶活性, 结果表明, 双蛋白组比乳清蛋白组和大豆蛋白组的力竭时间明显加强, 具有较好的抗疲劳作用。

3.4 增强肌肉运动能力

运动员在比赛训练压力和应激条件下, 不仅仅会消耗大量的能量, 也需要大量的蛋白质来维持身体所需的代谢情况, 运动员的肌肉多于常人, 乳清蛋白的补充对增加肌肉力量有着很重要的作用。乳清蛋白可以参与肌肉能量物质代谢, 增强肌肉运动能力, 提供肌肉组织能量物质代谢, 被公认为是肌肉理想的来源。处于高强度的耐力训练时, 乳清蛋白的补充可以有助于肌肉复原, 乳清蛋白中的亮氨酸与其氧化代谢物能够抑制蛋白水解酶活性, 从而进一步降低肌肉蛋白的分解, 并且乳清蛋白中的赖氨酸与精氨酸可以刺激合成代谢激素与肌肉生长因子从而刺激肌肉生长与脂肪的降低, 从而促进运动能力提高^[39,40]。Børsheim 等^[41]将 8 名受试者参加了 2 次实验, 在 1 次抗阻运动中摄入 17.5 g 乳清蛋白、4.9 g 氨基酸和 77.4 g 碳水化合物的混合物。在另 1 次抗阻运动中摄入单独的 100 g 碳水化合物。他们接受了 L-[2H]-苯丙氨酸的恒定灌注, 并从股动脉和静脉取样, 并从股外侧肌获得活检, 结果表明, 在抵阻运动后, 乳清蛋白、氨基酸和碳水化合物的混合物比单独的等量碳水化合物更大程度地刺激了肌肉蛋白的合成。Morifuji 等^[42]研究酪蛋白和乳清蛋白对运动训练大鼠

肝脏和骨骼肌糖原含量的影响, 结果表明, 运动训练导致骨骼肌糖原含量增加。此外, 与酪蛋白组相比, 乳清蛋白组显著增加了骨骼肌糖原含量, 饲喂乳清蛋白饮食的大鼠与摄取酪蛋白饮食的大鼠相比, 肝脏中糖原含量明显增加。与酪蛋白饮食相比, 乳清蛋白饮食增加了肝脏葡萄糖激酶的活性, 乳清蛋白组骨骼肌的总糖原合酶活性明显高于酪蛋白组。

3.5 增强骨质

钙对于骨骼生长、神经传导、肌肉收缩、人体循环等生理学功能所必需, 钙是生命之本。良好的钙源可以为儿童益智助长、为青少年生长发育提供营养、防止老年人骨质疏松。补钙对于高品质健康生活的深远意义已经为人们所熟知。对于运动员来说, 良好的钙营养是必不可少的, 我国运动员钙的平均摄入量不足 800 mg/d, 低于运动员钙的推荐摄入量 1200 mg/d^[43]。在高强度的体育训练中, 较弱的骨质很有可能会发生骨折, 最终耽误训练进程影响训练结果。因此, 优质的钙源对于运动的能量补充、增加骨骼强壮方面尤为重要。乳清蛋白产品含有 500~2000 rag 的乳钙。乳钙是最佳的生物可利用钙来源。研究表明, 乳强化豆奶的钙的吸收率比乳钙低 25%。因此, 乳清蛋白是一种不仅易吸收又经济实惠的优质钙源。王大维等^[44]将 65 例颌面部骨折内固定术后病人分为实验组、对照组, 其中试验组病人给予乳清蛋白粉, 对照组病人给予大豆复合蛋白粉, 2 组病人的营养支持从术后第 1 d 持续到第 10 d, 在第 1 d 和第 10 d 清晨空腹抽取外周静脉血测定血清前清蛋白、转铁蛋白、清蛋白、血红蛋白、IgA 等生长因子, 并测定其骨骼肌、蛋白质、无机盐、体脂肪含量, 结果显示, 术后第 10 d 的血清转铁蛋白、前清蛋白、血红蛋白、骨骼肌、IgA、IgM 含量均显著高于术后第 1 d, 表明乳清蛋白可以帮助颌面部骨折内固定术后病人恢复, 改善骨骼性能。除此之外, 乳清蛋白中的骨桥蛋白、酪蛋白磷酸肽、糖巨肽属活性蛋白等乳清酸性蛋白、表皮细胞生长因子(epidermal growth factor, EGF)等通过改变钙离子溶解状态、参与破骨细胞介导的骨吸收和成骨细胞介导的骨形成等方式影响骨代谢, 来延缓由于年龄增长等原因引起的骨丢失、增强骨骼生物力度^[45-47]; 乳清蛋白肽对于增强骨质也有着不可忽视的作用, 乳清蛋白水解后得到的乳清蛋白肽具有抗高血压、缓解疲劳、抗衰老等生理作用, 近年来很多学者研究了乳清蛋白肽对于骨质疏松动物体防骨质流失作用, 李祥^[46]将 40 只 6 月龄的骨质疏松 SD 大鼠, 随机平均分为 4 组, 分别为去卵巢对照组、乳清蛋白肽低剂量组、乳清蛋白肽中剂量组、乳清蛋白肽高剂量组, 在 10 周后处死, 快速取各组大鼠双侧股骨, 并测量其干重、长度、骨密度、骨强度等指标, 结果表明, 乳清蛋白肽的干预增加了大鼠的股骨干重、长度, 但是结果差异不显著, 除此之外, 乳清

蛋白肽的干预使实验大鼠的结构力学指标和材料力学指标较对照组显著增加, 这表明乳清蛋白肽对于增加骨密度、骨骼承受能力和骨矿物质含量、提高抗骨折能力有着显著作用。

4 乳清蛋白在运动营养方面的产品开发

4.1 运动饮料

运动饮料是营养素及其含量适应运动或体力活动人群的生理特点的一类饮品, 运动饮料可以及时的为运动员补充水分、能量和电解质, 防止运动员在剧烈运动后脱水, 维持体液平衡, 缓解疲劳感, 快速恢复体能。运动饮料按照是否含有二氧化碳分为含有二氧化碳和不含有二氧化碳的饮料, 按照渗透压浓度分为高渗透压、等渗透压和低渗透压浓度的饮料, 按照个体需求和功能分为普通运动饮料和功能性运动饮料, 按照受众不同分为大众运动饮料、健身运动饮料和专业运动饮料^[48]。由于乳清蛋白在运动营养方面卓越的功效, 很多以乳清蛋白为原料的运动饮料上市, 除此之外, 也有很多学者进行了乳清蛋白运动饮料方面的研究, 发明了一系列适合运动员身体的运动饮料。如胡芳豪^[48]利用单因素实验确定了乳清蛋白运动保健饮料的最佳配方, 该配方为 3% 的乳清蛋白、蔗糖和低聚糖按照 1:1.5 的比例混合物 3.5%、2% 酸味剂、0.15% 增稠剂和 1.2% 食盐, 该产品具有良好的市场开发前景。杜芳芳等^[49]发明了一种中链甘油三酯(medium chain triglycerides, MCT)强化的乳清蛋白运动饮料, 可以更全面的补充能量, 增强运动后期的免疫力。此外, 适合高强度训练的专业或职业耐力型运动员和体育爱好者的浓缩型乳清蛋白饮料也被研发出来, 该产品可以快速恢复体能, 修复受损肌肉, 促进体内细胞合成, 提高运动员的身体素质^[50]。陈楚明等^[51]研发了以乳清蛋白、亮氨酸为主要原料的运动饮料, 并确定了合适的生产工艺, 最终利用小鼠游泳耐力试验验证了该产品的提高机体免疫力的功能特性, 该饮料口感柔滑、保健功能明显。

4.2 乳清蛋白粉

蛋白质作为一种十分重要的营养素, 在运动营养中发挥着不可替代的作用, 健身和运动员等长期有较大运动量的人可以通过适量的食用蛋白粉补充体能。目前有很多以乳清蛋白为原料的蛋白粉, 此外也有很多学者对此进行了研究和发明。有学者在乳清蛋白粉中添加单糖、益生元、膳食纤维、维生素、矿物质等营养物质, 使其非常适合健身运动人群初期, 补充运动时流失的营养物质, 也可以达到快速增肌的效果^[52]。也有学者在乳清蛋白粉中加入人参、燕麦 β -葡聚糖、益生菌、药食同源混合粉、海藻糖、雨生红球藻源虾青素粉等营养成分, 使乳清蛋白粉营养更加全面, 作为一种运动食品可以快速补充体能、缓解疲

劳^[53]。谭新锋^[54]发明的乳清蛋白粉中添加了膳食纤维、饱和脂肪、碳水化合物等营养物质, 具有延缓人体衰老, 调节体内电解质、水分平衡、改善肠胃功能、加快机体修复、补充营养、缓解疲劳等功效。

5 结 语

综上所述, 乳清蛋白的丰富的生物活性物质组成决定了其优越的功能特性, 是运动员快速补充大量运动消耗、科学合理补充体能, 提高运动能力, 快速缓解运动带来的疲劳感和身体消耗, 增强骨质的有效物质。作为体育强国, 我国运动员数量和质量都是世界前列, 并且随着国民生活质量的提高, 国民也越来越注重运动健身, 因此我国乳清蛋白运动营养产品有广阔的发展前景和充分的市场需求, 未来可以以技术开发、产品创新、临床实验等方面为着力点着重进行探究, 开发出更多更新更好更安全的产品。

参考文献

- [1] 韩婷, 蔡东联. 乳清蛋白的营养特点和作用[J]. 肠外与肠内营养, 2005, 12(4): 243-246.
Han T, Cai DL. The nutrition behavior and function of whey protein [J]. Parent Enter Nutrit, 2005, 12(4): 243-246.
- [2] 王利. 运动员对蛋白质的需求[J]. 牡丹江师范学院学报, 2006, (3): 27-28.
Wang L. Athletes' demand for protein [J]. J Mudanjiang Teach Coll (Nat Sci Ed), 2006, (3): 27-28.
- [3] Smithers GW, Ballard FJ, Copeland AD, *et al.* Symposium: Advances in dairy foods processing and engineering: new opportunities from the isolation and utilization of whey proteins [J]. J Dairy Sci, 1996, 79: 1454-1459.
- [4] 关璐, 李跃敏. 乳清蛋白与运动营养[J]. 四川体育科学, 2003, (4): 17-19.
Guan L, Li YM. Whey protein and sports nutrition [J]. Sichuan Sport Sci, 2003, (4): 17-19.
- [5] 刘晶, 韩清波. 乳清蛋白的特性及应用[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 535-537.
Liu J, Han QB. Characteristics and application of whey protein [J]. Food Sci, 2007, 28(7): 535-537.
- [6] 陈翠芳, 常立文. 乳铁蛋白在新生儿中的研究进展[J]. 中华医学杂志, 2008, (2): 156-157.
Chen CF, Chang LW. Research progress of lactoferrin in newborns [J]. Orthopaedics, 2008, (2): 156-157.
- [7] 王军. 乳清蛋白水解产物中细胞生长因子的分离及其性质的研究[J]. 新疆农业大学学报, 1985, 4: 18-21.
Wang J. Study on the separation and properties of cell growth factors from whey protein hydrolysate [J]. J Xinjiang Agric Univ, 1985, 4: 18-21.
- [8] 陈伟, 李强, 杨茂区. 乳清蛋白在运动营养中应用的研究进展[J]. 中国初级卫生保健, 2006, 20(9): 71-72.
Chen W, Li Q, Yang MQ. The development of whey protein in sports nutrition [J]. Chin Prim Health Care, 2006, 20(9): 71-72.

- [9] 王丽. 限制蛋白质和能量的饲料补充亮氨酸可激活新生仔猪 mTOR 信号通路但不能促进肌肉蛋白质合成[J]. 广东饲料, 2017, 26(3): 52.
Wang L. Leucine supplementation in diets that limit protein and energy can activate the mTOR signaling pathway in newborn piglets but cannot promote muscle protein synthesis [J]. Guangdong Feed, 2017, 26(3): 52.
- [10] 吕子全, 郭非凡. 内源性代谢分子—亮氨酸调节机体生理功能[J]. 生理科学进展, 2012, 43(5): 337–340.
Lv ZQ, Guo FF. The endogenous metabolic molecule—leucine regulates the body's physiological functions [J]. Prog Physiol Sci, 2012, 43(5): 337–340.
- [11] 刘辉, 徐庆阳, 谢希贤, 等. 不同碳源生物转化合成 L-亮氨酸的代谢计量分析[J]. 生物技术通讯, 2008, 19(2): 251–254.
Liu H, Xu QY, Xie XX, *et al.* Stoichiometric analysis of L-Leucine biosynthesis by using different carbon sources [J]. Lett Biotechnol, 2008, 19(2): 251–254.
- [12] 毛湘冰, 黄志清, 陈小玲, 等. 亮氨酸调节哺乳动物骨骼肌蛋白质合成的研究进展[J]. 动物营养学报, 2011, 23(5): 709–714.
Mao XB, Huang ZQ, Chen XL, *et al.* Leucine: Regulation on protein synthesis of skeletal muscles in mammals [J]. Acta Zoonutr Sin, 2011, 23(5): 709–714.
- [13] 胡立新, 陈晓耘. 异亮氨酸热分解机理的 PM3 研究[J]. 湖北工学院学报, 2000, 15(2): 8–9, 12.
Hu LX, Chen XY. Studies on Thermolytic Mechanism of Isoleucine by PM3 [J]. J Hubei Polytech Univ, 2000, 15(2): 8–9, 12.
- [14] 黎新, 胡立新, 沈雪松, 等. 缬氨酸热分解机理的 AM1 研究[J]. 化学与生物工程, 1999, 16(5): 14–15.
Li X, Hu LX, Shen XS, *et al.* Studies on thermolytic mechanism of valine by AM1 [J]. Chem Bioeng, 1999, 16(5): 14–15.
- [15] 刘桂华, 师春生, 贾冰怀, 等. “副油箱”运动营养制剂对提高运动能力的研究—提高运动员运动能力[J]. 北京体育大学学报, 1992, 4: 41–45.
Liu GH, Shi CS, Jia BH, *et al.* Research on *Sub-tank* sports nutrition preparation for improving sports ability—improving sports ability [J]. J Beijing Sport Univ, 1992, 4: 41–45.
- [16] 贺洪, 刘建红, 黄金丽, 等. 运动中补充支链氨基酸对肌肉代谢的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2004, 23(4): 461–464.
He H, Liu JH, Huang JL, *et al.* Effects of supplementing branched chain amino acids during exercise on muscle metabolism [J]. Chin J Sport Med, 2004, 23(4): 461–464.
- [17] 雷玲, 钟小宁. N-乙酰半胱氨酸的抗氧化特性及对慢性阻塞性肺疾病的治疗作用[J]. 国际呼吸杂志, 2006, 26(5): 388–391.
Lei L, Zhong XN. Antioxidant properties of N-acetylcysteine and their therapeutic action to chronic obstructive pulmonary disease [J]. Int J Respir, 2006, 26(5): 388–391.
- [18] 王沁. N-乙酰半胱氨酸抗氧化作用在慢性阻塞性肺疾病治疗的进展[J]. 临床肺科杂志, 2008, 13(10): 1313–1314.
Wang Q. The anti-oxidant effect of N-acetylcysteine in the treatment of chronic obstructive pulmonary disease [J]. J Clin Pulm Med, 2008, 13(10): 1313–1314.
- [19] 彭向永, 宋敏. 外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响[J]. 生态学报, 2011, (12): 3504–3511.
Peng XY, Song M. Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress [J]. Acta Ecol Sin, 2011, (12): 3504–3511.
- [20] 刘文斐, 刘伟龙, 占秀安, 等. 不同形式蛋氨酸对肉种鸡生产性能、免疫指标及抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 9: 2118–2125.
Liu WF, Liu WL, Zhan XA, *et al.* Effects of different methionine sources on performance, immune indices and antioxidant function of broiler breeders [J]. Acta Zoonutr Sin, 2013, 9: 2118–2125.
- [21] 叶慧, 冯凯玲, 邓远帆, 等. 不同饲料蛋氨酸水平对 21 日龄狮头鹅血清生化指标及抗氧化功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2013, (13): 43–46.
Ye H, Feng KL, Deng YF, *et al.* Effects of different dietary methionine levels on serum biochemical indexes and antioxidant function of 21-day-old lion head goose [J]. Chin J Anim Sci, 2013, (13): 43–46.
- [22] 唐炳荣. 蛋氨酸对生长中期草鱼消化吸收能力和抗氧化能力影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
Tang BR. Study on the effect of methionine on the digestion and absorption and antioxidant capacity of grass carp [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [23] 张丽, 杨琳, 侯水生. 苏氨酸对畜禽肠道健康影响的研究进展[J]. 饲料广角, 2010, 12: 26–27, 40.
Zhang L, Yang L, Hou SS. Research advance on effects of Threonine on animal intestinal health [J]. Feed Wide Angle, 2010, 12: 26–27, 40.
- [24] 林谦, 蒋桂韬, 张旭, 等. 日粮不同赖氨酸水平对 70 日龄临武鸭腿肌、胸肌常规养分及氨基酸含量的影响研究[J]. 饲料工业, 2016, 37(20): 8–11.
Lin Q, Jiang GT, Zhang X, *et al.* Effects of dietary Lys with different level on the composition of muscle and amino acid content for Linwu duck at 70 days of age [J]. Feed Ind, 2016, 37(20): 8–11.
- [25] Liu YJ, Tian LX, Liu DH. Influence of practical diet supplementation with free or coated lysine on the growth, plasma free amino acids and protein synthesis rates in the muscle of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. J Fish Chin, 2002, 26(3): 252–258.
- [26] 杨发民, 曾炳芳, 张长青. L-精氨酸对缺血再灌注骨骼肌的影响[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2003, 18(7): 471–473.
Yang FM, Zeng BF, Zhang CQ. The effect of L-arginine on ischemia-reperfusion skeletal muscle [J]. Chin J Bone Joint Injury, 2003, 18(7): 471–473.
- [27] 吴斌, 魏亮, 冯冰玉, 等. L-精氨酸联合多西紫杉醇抗肺癌的研究[J]. 临床医学进展, 2020, 10(5): 749–754.
Wu B, Wei L, Feng BY, *et al.* L-Arginine combined with docetaxel inhibiting lung cancer [J]. Adv Clin Med, 2020, 10(5): 749–754.
- [28] 杨波, 林建康. 谷氨酰胺与运动免疫[J]. 军事体育学报, 2003, (2): 80–83.
Yang B, Lin JL. Glutamine and exercise immunity [J]. J Milit Phy Edu Sport, 2003, (2): 80–83.
- [29] Brix S, Bovetto L, Rodolphe F, *et al.* Immunostimulatory potential of β -lactoglobulin preparations: Effects caused by endotoxin contamination [J]. J Allergy Clin Immunol, 2003, 112(6): 1216–1222.
- [30] 官凌菊, 黄园, 邱卓君, 等. 补充乳清蛋白对赛艇运动员免疫功能的影响[J]. 国际医药卫生导报, 2007, 13(3): 113–116.
Guan LJ, Huang Y, Qiu ZJ, *et al.* Effects of whey proteins supplementation on immune function in rowing athletes [J]. Int Med Health Guid, 2007, 13(3): 113–116.
- [31] 杨若愚. 乳清蛋白与运动营养[J]. 中国科技信息, 2008, (23): 272, 274.
Yang RY. Whey protein and sports nutrition [J]. Chin Sci Technol Inform, 2008, (23): 272, 274.

- [32] Elia D, Krisztián S, Viktória H, *et al.* Effect of soy-and whey protein-isolate supplemented diet on the redox parameters of trained mice [J]. *Eur J Nutr*, 2006, 45(5): 259.
- [33] Middleton N, Jelen P, Bell G. Whole blood and mononuclear cell glutathione response to dietary whey protein supplementation in sedentary and trained male human subjects [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2009, 55(2): 131.
- [34] Hill S, Box W, Disilvestro RA. Moderate intensity resistance exercise, plus or minus soy intake: effects on serum lipid peroxides in young adult males [J]. *Int J Sport Nutr Exercise Metab*, 2004, 14(2): 125–132.
- [35] Paul JC. 美国乳清蛋白在运动营养方面的作用[J]. *中国食品工业*, 2007, (12): 1–3.
- Paul JC. The role of American whey protein in sports nutrition [J]. *Chin Food Ind*, 2007, (12): 1–3.
- [36] 马彬. 食物中乳清蛋白对高强度运动能力的促进作用分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(24): 8424–8431.
- Ma B. Analysis of the promoting effect of whey protein in food on high strength exercise ability [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(24): 8424–8431.
- [37] 胡芳豪. 运动群体补充乳清蛋白运动的方式对体能恢复、延缓疲劳的实证研究[J]. *求知导刊*, 2017, (10): 69–70.
- Hu FH. An empirical study of the ways of supplementing whey protein exercise for sports groups on physical recovery and delaying fatigue [J]. *Knowl Guide*, 2017, (10): 69–70.
- [38] 任广旭, 伊素芹, 张鸿儒, 等. 动植物蛋白源协同增强 wistar 大鼠抗疲劳能力[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 1–7.
- Ren GX, Yin SQ, Zhang HR, *et al.* Effects of dual protein on anti-fatigue capacity during endurance excise of wister rats [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 1–7.
- [39] 美中健康产品协会. 添加 HMB 的乳清更有助于肌肉损伤恢复[J]. *食品安全导刊*, 2015, (34): 49.
- USA-China Health Products Association. Whey with HMB is more helpful for muscle damage recovery [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2015, (34): 49.
- [40] Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, *et al.* Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2004, 36(12): 2073.
- [41] Børsheim E, Aarsland A, Wolfe RR. Effect of an amino acid, protein and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise [J]. *Int J Sport Nutr Exercise Metab*, 2004, 14(3): 255–271.
- [42] Morifuji M, Sakai K, Sanbongi C, *et al.* Dietary whey protein increases liver and skeletal muscle glycogen levels in exercise-trained rats [J]. *Brit J Nutr*, 2005, 93(4): 439–445.
- [43] 常翠青. 乳清蛋白在运动营养方面的作用[J]. *中国食物与营养*, 2008, 3: 2–5.
- Chang CQ. The functions of whey protein in exercise nutrition [J]. *Food Nutr Chin*, 2008, 3: 2–5.
- [44] 王大维, 于春艳, 薛苏娟, 等. 乳清蛋白粉对颌面部骨折内固定术后病人营养状况和临床结局的影响[J]. *肠外与肠内营养*, 2016, 23(4): 209–211.
- Wang DW, Yu CY, Xue SJ, *et al.* The effects of whey protein powder on postoperative nutritional status and clinical outcome in patients with maxillofacial fracture fixation [J]. *J Parent Enter Nutr*, 2016, 23(4): 209–211.
- [45] 李莹, 林晓明. 乳清蛋白组分及其对骨代谢的影响[J]. *中国食物与营养*, 2008, (11): 52–54.
- Li Y, Lin XM. Whey protein composition and its effect on bone metabolism [J]. *Food Nutr Chin*, 2008, (11): 52–54.
- [46] 李祥. 乳清蛋白肽对去卵巢大鼠骨生物力学的影响[J]. *食品科技*, 2018, (7): 12–15.
- Li X. Effect of whey protein peptides on bone mineral density and bone strength in ovariectomized rats [J]. *Food Technol*, 2018, (7): 12–15.
- [47] 潘道东, 陆皓茜. 乳清蛋白肽对骨密度和骨钙含量的影响[J]. *营养学报*, 2010, 32(4): 350–353.
- Pan DD, Lu HQ. Effects of whey protein peptide on bone mineral density and bone calcium content [J]. *Acta Nutr Sin*, 2010, 32(4): 350–353.
- [48] 胡芳豪. 乳清蛋白在运动饮料中的应用研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- Hu FH. Research on the application of whey protein in sports drinks [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.
- [49] 杜芳芳, 杨军, 张颖. 一种 MCT 强化的乳清蛋白运动饮料及生产工艺: 中国, CN108497250A[P]. 2018–09–07.
- Du FF, Yang J, Zhang J. An MCT-enhanced whey protein sports drink and its production process: China, CN108497250A [P]. 2018–09–07.
- [50] 王乾. 一种浓缩型乳清蛋白饮料配方及其生产流程: 中国, CN106942394A[P]. 2017–07–14.
- Wang Q. Formula of concentrated whey protein beverage and its production process: China, CN106942394A [P]. 2017–07–14.
- [51] 陈楚明, 王燕儿, 郭大捷. 乳清蛋白复合运动饮料的研制[J]. *轻工科技*, 2014, 30(10): 1–2.
- Chen CM, Wang YE, Guo DJ. Development of whey protein compound sports drink [J]. *Guangxi J Light Ind*, 2014, 30(10): 1–2.
- [52] 徐庆海, 陈晓宇, 廖良君. 一种具有增肌功能的乳清蛋白粉产品及其制备方法: 中国, CN107114800A[P]. 2017-09-01.
- Xu QH, Chen XY, Liao LJ. Whey protein powder product with muscle-increasing function and preparation method: China, CN107114800A [P]. 2017-09-01.
- [53] 王艳, 王水晶, 雷娇, 等. 一种具有缓解疲劳功能的乳清蛋白粉及其制备方法: 中国, CN108651998A[P]. 2018-10-16.
- Wang Y, Wang SJ, Lei J, *et al.* Whey protein powder with fatigue relief function and preparation method: China, CN108651998A [P]. 2018-10-16.
- [54] 谭新锋. 一种乳清蛋白粉: 中国, CN105249483A[P]. 2016-01-20.
- Tan XF. A kind of whey protein powder: China, CN105249483A [P]. 2016-01-20.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介

刘利锋, 硕士, 主要研究方向为体育教学。

E-mail: jiezhuan015047@163.com