

肌酸类运动营养补充剂的发展现状

李 逊*

(成都理工大学工程技术学院, 乐山 614000)

摘 要: 肌酸(creatine)是脊椎动物体内自然存在的一种含氮类有机酸。补充肌酸能够通过调节体内磷酸肌酸水解、糖代谢和蛋白表达等方式来增加糖原的储存、提高 ATP 的生成、增强肌细胞的酸碱缓冲能力以及刺激肌细胞增殖,从而能够预防运动损伤、改善运动表现、提升训练适应性和加快运动后康复。对于从事剧烈运动训练的高水平运动员而言,需要每天摄入 5~10 g 肌酸以维持最佳的全身肌酸储备量,从而保持最佳的运动和训练效果。本文详细综述了肌酸的作用机制、补充肌酸对运动能力的影响、补充肌酸的安全性以及肌酸类运动营养补充剂的使用人群、产品种类、补充策略和相关标准法规等,并对我国未来肌酸类运动营养补充剂的发展方向进行展望。

关键词: 肌酸; 肌酸补充; 运动营养; 运动能力

Development status of creatine sports nutrition supplement

LI Xun*

(The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan 614000, China)

ABSTRACT: Creatine is a nitrogen-containing organic acid that naturally occurs in vertebrates. Creatine supplementation can increase glycogen storage and ATP production, enhance muscle cell acid-base buffering capacity, and stimulate muscle cell proliferation by regulating phosphocreatine phosphate hydrolysis, sugar metabolism, and protein expression. Therefore, creatine supplementation can prevent sports injuries, improve sports performance, improve training adaptability and speed up rehabilitation after sports. For high-level athletes engaged in vigorous sports training, it is necessary to ingest 5–10 g of creatine per day in order to maintain the best total body creatine reserves and thus maintain the best exercise and training results. This article reviewed in detail the mechanism of creatine, the effect of creatine supplementation on exercise performance, the safety of supplementation of creatine, the user population of creatine sports nutrition supplements, product types, supplementation strategies, and relevant standards and regulations, and prospected the development direction of creatine sports nutritional supplements in China in the future.

KEY WORDS: creatine; creatine supplement; sports nutrition; exercise capacity

基金项目: 普通独立学院学生参加体育锻炼的现状调查与分析

Fund: Supported by Investigation and Analysis of the Current Situation of Ordinary Independent College Students Participating in Physical Exercise

***通讯作者:** 李逊, 主要研究方向为高校体育教学、运动训练、篮球裁判等。E-mail: daopa15248@163.com

***Corresponding author:** LI Xun, The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology(Physical Education Department), No.222 Xiaoba Road, Shizhong District, Leshan614000,China.E-mail: daopa15248@163.com

1 引言

肌酸(creatine), 简称 Cr, 又名 α -甲基胍酸, 是脊椎动物体内自然存在的一种含氮类有机酸, 肌酸在人体中也可由精氨酸、甘氨酸和甲硫氨酸这 3 种人体必需氨基酸合成, 其中甘氨酸为骨架, 精氨酸提供胍基, 甲硫氨酸提供甲基^[1]。早在 1832 年, 法国著名化学家、自然科学家 Michel 首次在骨骼肌中发现了能为肌肉和神经细胞提供能量的肌酸^[2]。肌酸的理化性质如表 1 所示。

在人体中, 大约 95%的肌酸存在于骨骼肌中, 其余少量的肌酸还存在于大脑和睾丸中。肌酸在人体中的存在形式主要分为 2 种, 大约三分之二的肌肉肌酸以磷酸肌酸的形式存在, 而其余三分之一为游离肌酸^[3,4]。研究表明, 补充肌酸能够增加肌肉肌酸的浓度和糖原补给率, 从而改善运动表现并提升训练适应性; 此外补充肌酸可以加快运动后康复, 预防损伤, 调节体温, 同时对脊髓神经提供保护^[5-8]。一般情况下, 正常人的身体每天需要补充大约 1~3 g 的肌酸, 以维持正常的肌酸储备。人体内的肌酸有 2 种主要来源, 其中一部分来自于正常饮食, 另一部分来自于肝脏、肾脏和胰腺中的精氨酸、甘氨酸和甲硫氨酸在体内的自行合成^[9,10]。对于从事激烈运动训练的高水平运动员而言, 需要每天摄入 5~10 g 肌酸以维持最佳的全身肌酸储备量。因此, 肌酸作为一种运动营养补充剂备受运动员及教练的青睐。本文主要从肌酸的作用机制、补充肌酸对运动能力的影响、补充肌酸的安全性以及肌酸类运动营养补充剂的使用人群、产品种类、补充策略和相关标准法规等方面对肌酸类运动营养补充剂的发展现状进行综述, 同时对我国未来肌酸类运动营养补充剂的发展方向进行展望, 为日常肌酸类运动营养补充剂的合理补充提供参考。

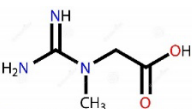
2 肌酸的作用机制

肌酸在机体内与磷酸基团(Pi)结合, 通过肌酸激酶(creatine kinase, CK)的酶促反应形成磷酸肌酸(creatine phosphate, PCr), 使人体肌肉内磷酸肌酸的浓度增加, 加快三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)的合成。Wallimann 等^[11-13]在多年的研究中认为肌酸的作用机制主要与肌酸激酶和磷酸肌酸的功能有关(即 CK/PCr 系统)。在机体运动时, 主要通过降解体内的 ATP 以提供用于代谢活性的能量, 而磷酸肌酸可以水解成肌酸和 Pi, 所释放的能量可以用与重新合成 ATP。这有助于在运动时维持体内 ATP 的总量, 进而增强运动能力, 表现出更强的训练适应性, 尤其是进行高强度的无氧运动。

肌酸补充会通过增加肌糖原的储存和上调葡萄糖转运蛋白(up-regulate glucose transporter, GLUT-4)的表达来影响人体肌肉中葡萄糖的代谢过程。补充肌酸能够提高糖酵解限速酶的活性, 限制乳酸生产, 同时肌酸的补充能够通过增加肌酸激酶等氧化酶的活性调节糖酵解过程, 生成大量 ATP, 进而改善糖酵解过程中供能不足的状况, 减少机体对糖原的利用, 增加糖原储存^[14]。Eijnde 等^[15]的研究表明, 长期补充肌酸可抵消肌肉中 GLUT-4 蛋白含量的下降, 并且在健康受试者的康复训练中 GLUT-4 蛋白含量会有显著增加, 这有助于机体对葡萄糖的摄取和利用, 调节糖酵解过程, 提升机体运动能力和恢复能力。

肌酸还可以提高肌细胞的酸碱缓冲能力。高强度的无氧运动使得糖酵解过程产生大量丙酮酸, 丙酮酸转化为乳酸, 乳酸的积累使得肌肉 pH 值降低, 肌肉疲劳。而肌肉中的磷酸肌酸可以在肌酸激酶的作用下被分解成 ATP 和肌酸, 提高肌细胞的酸碱缓冲能力, 延缓肌肉 pH 值的下降^[16-18]。

表 1 肌酸的理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of creatine

结构式	理化性质	具体数据
	别名	α -甲基胍乙酸
	英文名	creatine
	分子式	C ₄ H ₉ N ₃ O ₂
	密度	1.38 g/cm ³
	沸点	271.6 °C
	状态	白色粉末/棱柱形晶体(一水合物)
	刺激性	刺激皮肤和黏膜
	溶解性	易溶于水
	储存条件	室温储存

此外,肌酸能够通过刺激肌细胞增殖,从而促进蛋白质合成。相关动物实验表明,补充肌酸能够通过促进肌卫星细胞的有丝分裂,进而刺激肌细胞增殖^[19];同时肌酸的补充可能通过改变肌源性转录因子的表达,影响肌细胞内蛋白稳态,抑制肌源性蛋白表达,促进 MRF4 蛋白的表达,由于 MRF4 蛋白的含量与肌纤维的大小成正相关^[20,21],因此增加了肌肉体积和力量。

3 补充肌酸对运动能力的影响

大量的动物实验和临床实验都表明,补充肌酸能够显著增加肌肉力量、增大最大输出功率,从而整体改善运动能力。

金宏等^[22]研究了补充肌酸对游泳大鼠骨骼肌代谢的影响,通过监控大鼠在游泳训练后血液中乳酸、尿素氮、骨骼肌乳酸、糖原、线粒体脂质过氧化物水平、线粒体膜的流动性以及线粒体矿物元素钙、镁、钾含量等指标,发现补充肌酸对小鼠运动后的骨骼肌线粒体功能有一定的改善作用。Izquierdo 等^[23]将 19 名男性运动员随机分配至肌酸组($n=9$)和安慰剂组($n=10$)进行双盲试验,在卧推、深蹲及冲刺跑等重复训练实验中,发现肌酸组受试者在每天补充 20 g 肌酸后(连续 5 d),其下肢最大力量和最大功率输出都得到了显著的增强($P<0.05$)。Mielgo 等^[24]的双盲随机实验表明,当持续 6~7 d 补充肌酸的剂量为每天 20~30 g,且随后 9 周中持续每天 5 g 或连续 14 d 低剂量(3 mg/kg)补充肌酸时,对改善足球运动员在无氧运动中的身体表现和运动能力有积极作用。Crisafulli 等^[25]用 Velotron 测功机测量了 23 名男性自行车手(肌酸组: $n=12$, 安慰剂组: $n=11$)在完成 5 次 15 秒单车冲刺后产生的峰值功率和平均功率,通过混合模型方差分析发现当短时单车冲刺之间穿插有足够的恢复时间时,肌酸补充剂可改善整体运动能力。王仁纲等^[26]应用 Palier 测试法对 19 名足球队员在使用外源性磷酸肌酸 20 d 前后进行运动能力和最大有氧能力测试,结果表明,外源性磷酸肌酸可能通过向供给肌肉细胞代谢所需的能量、加强膜稳定作用及促进肌肉组织的微循环稳定等作用,以提高受试者的最大有氧能力。

4 补充肌酸的安全性

自 20 世纪 90 年代补充肌酸在运动人群中流行以来,国内外大量的动物实验和临床研究均证明长期补充肌酸的安全性,即合理的进行肌酸补充,不会对机体带来负面影响,同时还能提高运动能力和训练效果^[27]。但是,也有一部分动物实验的研究提出了肌酸对机体的副作用。一些动物实验表明大剂量补充肌酸会对动物机体的肝肾造成一定的损害^[28-31],同时肌酸的补充不当可能会对机体内源性肌酸的合成产生反馈性抑制^[32-37]。但是也有许多文章表明长

期的肌酸摄入并不会引起肝肾的器官损伤和内源性肌酸合成的抑制,同时肌酸的补充也不会增加其他临床疾病的发生率^[38-42]。

在国内外众多研究中,长期摄入肌酸被唯一持续报道的副作用是机体体重的增加,而许多研究通过监测受试者肾脏、肝脏、心脏、肌肉、血液、尿液、胃肠道人体体温和体液平衡等多项指标,并未发现短期或长期补充肌酸会对机体产生副作用,而且大量研究表明,补充肌酸对健康有益^[43-48]。

5 肌酸类运动营养补充剂的现状

5.1 肌酸类运动营养补充剂的使用人群

由于全球范围内绝大多数运动组织都没有禁止运动员服用肌酸类运动营养补充剂,所以肌酸的补充在运动员群体中十分常见。国际上首次公开报道运动员使用肌酸是在 1992 年的巴塞罗那奥运会,英国短跑运动员克利斯提在备赛期间持续使用肌酸类膳食补充剂,并在 100 米短跑项目上夺得金牌,同时在当届奥运会上也有其他项目金牌选手被报道使用肌酸。自此,补充肌酸在运动员群体中广为流行,1996 年的亚特兰大奥运会上,60%以上的短跑运动员在日常训练和备赛阶段有持续补充肌酸的习惯^[49]。

有研究数据表明,美国每年消耗的肌酸质量超过 4000 万吨,有 30%左右的运动人群中会使用肌酸类运动营养补充剂,在运动员和军人人群中,使用肌酸类运动营养补充剂的比例约为 15%~40%,其中男性和力量型运动员更为普遍^[50,51]。据 2014 年美国全国大学体育协会的数据统计^[52],肌酸是美国男性运动员服用的膳食补充剂中最受欢迎产品,在众多运动类比赛中,从事冰球、摔跤和棒球这三项运动的运动员使用比例最高,分别为 29.4%、28.5%和 28.1%;而肌酸在女性运动员中的使用率则较低,仅有 0.2%~3.8%^[53]。自肌酸类运动营养补充剂进入中国市场以来,虽然未见统计数据,但其在我国运动员和健身人群中的使用也越来越普遍。

5.2 肌酸类运动营养补充剂的产品种类

肌酸类运动营养补充剂的种类丰富,常见的种类有一水肌酸,复合肌酸,肌酸盐和酯化肌酸等^[54]。一水肌酸是最早的肌酸类运动营养补充剂,也是市面上最常见的肌酸类营养补充剂,其在水溶性和生物利用度上都有良好的表现。复合肌酸是将一水肌酸、D-松醇、4-羟基异亮氨酸、丙酮酸钙及磷酸盐等多种营养强化剂进行复配而成,其目的在于确保肌酸被人体快速吸收利用,从而迅速高效地为机体提供能量。近年来市面上出现了一些新型肌酸类运动营养补充剂,如肌酸盐和酯化肌酸,常见的肌酸盐主要有柠檬酸肌酸盐、丙酮酸肌酸盐、苹果酸肌酸盐以及肌酸盐酸盐等,这些肌酸盐和酯化肌酸相较于一水肌酸其在人体

内的吸收率较高,但是该类产品中肌酸在人体内的实际利用率是否更由于一水肌酸,还有待进一步研究。

5.3 肌酸类运动营养补充剂的补充策略

人体摄入肌酸的方式主要有 2 种, (1)通过日常饮食中摄入肌酸,如鲱鱼、三文鱼、金枪鱼、猪肉和牛肉等肉类食品,虽然日常饮食摄入肌酸量较少,但是足以满足人体的正常需求^[55]。在每天含有 1~2 g 肌酸的正常饮食中,肌肉肌酸储备饱和度约为 60%~80%。而对于运动员和健身人群而言,为了保持较高水平的运动和训练能力,需要每天 5~10 g 外源肌酸的补充^[56],因此通过直接摄入肌酸类运动营养补充剂是大多数运动人群进行肌酸补充的方式。

对于运动人群而言,常规的肌酸补充策略包括 2 个阶段,分别为负荷期(又名冲击期)和维持期。在负荷期阶段,每天补充 4 次肌酸,每次摄入量为 0.3 g/kg 体重,持续补充 5~7 d;在维持期阶段,每天补充量为 0.3 g/kg 体重,持续补充 30 d^[57]。另一种补充策略为每天维持 3~5 g 的肌酸摄入量,持续补充 28 d。肌酸的最佳摄入时间为运动前 0.5~1 h 和运动后。同时有研究表明^[58,59],在补充肌酸的同时补充碳水化合物和蛋白质,能够促进肌酸的利用效率。

5.4 国内外肌酸类运动营养补充剂的相关标准法规

肌酸作为一类较为常见的运动营养补充剂,在世界各国运动人群被广泛使用。许多欧美国家将运动营养补充剂列入特殊营养目的食品或者膳食补充剂,2004 年,欧盟食品科学委员会的食品添加剂研究小组认为纯度大于 99% 的高纯度肌酸可以用于特殊营养目的食品,同时规定,为保证机体对肌酸的正常代谢,且不产生使用风险,肌酸的补充剂量为每天 3 g^[60,61]。澳大利亚和新西兰针对运动营养补充剂大的现行标准为《处方补充运动食品标准 2.9.4》(F2013C00104)^[62],该标准中同样也规定了每人每天的补充剂量为 3 g。

虽然自 90 年代肌酸进入中国市场以来,其在我国运动人群中的使用频率较高,但是我国食品管理和卫生健康部门一直以来对肌酸类运动营养补充剂表现出较为谨慎的态度。根据 2006 年颁布的轻工行业标准 QB/T 2834-2006 《运动营养食品食用肌酸》^[63]和 2015 年颁布的食品安全国家标准 GB 24154-2015《食品安全国家标准 运动营养食品通则》^[64]这两部标准,肌酸可以作为原料添加到特定的运动营养食品中的。但是由于自 2001 年起,我国对于以肌酸为原料的普通食品和保健食品不予审批^[65],这就使得目前市场销售的食用肌酸均为按照 QB/T2834-2006 和 GB 24154-2015 这两部标准从国外进口的产品,而国内品牌发展则较为困难。

6 小 结

肌酸类运动营养补充剂主要通过维持体内 ATP 总量、

增加糖原储备、调节糖代谢、维持肌细胞酸碱稳定和刺激肌细胞增殖分化等作用机制来提高机体运动能力和恢复能力。虽然一部分研究认为大剂量外源肌酸的补充会使得机体出现肥胖等副作用,但是大量的研究表明,适量的补充肌酸对于从事高强度运动的人群而言,能够增强其肌肉力量和最大输出功率,进而获得更高水平的运动能力和运动效果,因此肌酸类运动营养补充剂在国内外运动人群中广泛使用。

许多国家针对肌酸类运动营养补充剂出台了相关标准于法规,我国尽管也颁布了相关标准,但是对以肌酸为原料的食品的审批和管理相较于国外更为谨慎,这也在一定程度上限制了我国肌酸类运动营养补充剂的本土化发展,因此,我国相关科研和管理部门应当加快和深入对于肌酸类产品的安全性和适用性研究,制定出适用于我国该类产品生产和食用安全的标准和法规。

参考文献

- [1] 邓化林, 陈玥莹. 肌酸补充与运动能力[J]. 饮食保健, 2017, (12): 286.
Deng HL, Chen YY. Creatine supplement and exercise ability [J]. Dietary Health, 2017, (12): 286.
- [2] Kalugai I. Michel-eugènechevreul, 1786-1889 [J]. Korot, 1980, 7(11-12): 796-802.
- [3] Walker JB. Role for pancreas in biosynthesis of creatine [J]. Exp Biol Med, 1958, 98(1): 7-9.
- [4] 冯连世, 冯炜权. 肌酸和肌酸的补充与运动能力(综述)[J]. 体育科学, 1997, (1): 67-71.
Feng LS, Feng WQ. Creatine and creatine supplement and exercise ability (review) [J]. Sports Sci, 1997, (1): 67-71.
- [5] 练艺影, 曹建民, 邓艳香, 等. 肌酸代谢动力学研究进展[J]. 北京体育大学学报, 2006, (12): 93-95.
Lian YY, Cao JM, Deng YX, *et al.* Advances in kinetics of creatine metabolism [J]. J Beijing Sport Univ, 2006, (12): 93-95.
- [6] 吕志辉. 肌酸补剂对运动中体温和肌氧饱和度的影响[J]. 辽宁体育科技, 2017, 39(4): 28-30, 34.
Lv ZG. The effect of creatine supplements on body temperature and muscle oxygen saturation during exercise [J]. Liaoning Sports Sci Technol, 2017, 39(4): 28-30, 34.
- [7] Johnston AW, Burke DG, Macneil LG. The effects of creatine on cast immobilization induced muscle atrophy and detraining [J]. Med Sci Sports Exercise, 2003, 35(S1): 427-431.
- [8] Ryan DS, Darryn W, Mike G. The regulation and expression of the creatine transporter: A brief review of creatine supplementation in humans and animal [J]. J Inter Soc Sports Nutr Vol, 2006, 3(1): 60-66.
- [9] James BW. Creatine: Biosynthesis, regulation, and function [J]. Adv Enzymol Relat Areas Molecul Biol, 1979, (1): 178-242.
- [10] Nissen SL, Sharp RL. Effect of dietary supplements on lean mass and strength gains with resistance exercise: A meta-analysis [J]. Scand J Med Sci Sports, 2003, 13(4): 272-272.
- [11] Wallimann T, Schlosser T, Eppenberger HM. Function of M-line-bound creatine kinase as intramyofibrillar ATP regenerator at the receiving end of the phosphoryl creatine shuttle in muscle [J]. J Biol Chem, 1984, 259(8): 5000-5004.

- 5238–5246.
- [12] Wallimann T, Tokarska SM, Schlattner U. The creatine kinase system and pleiotropic effects of creatine [J]. *Amino Acids*, 2011, 40(5): 1271–96.
- [13] Wallimann T, Dolder M, Schlattner U, *et al.* Some new aspects of creatine kinase (CK): Compartmentation, structure, function and regulation for cellular and mitochondrial bioenergetics and physiology [J]. *BioFactors*, 1998, 8(3-4): 229–234.
- [14] Francaux M, Demeure R, Goudemant JF, *et al.* Effect of exogenous creatine supplementation on muscle PCR metabolism [J]. *Int J Sports Med*, 2000, 21(2): 139–145.
- [15] Eijnde BO, Urso B, Richter EA, *et al.* Effect of oral creatine supplementation on human muscle GLUT4 protein content after immobilization [J]. *Diabetes*, 2001, 50(1): 18–23.
- [16] 金宏. 肌酸提高运动能力的作用[J]. 氨基酸和生物资源, 2001, (4): 34–38.
- Jin H. The role of creatine in improving exercise ability [J]. *Amino Acids Biol Res*, 2001, (4): 34–38.
- [17] Greenhaff PL, Bodin K, Soderlund K, *et al.* Effect of oral Creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis [J]. *Am J Physiol*, 1994, 266(5): E725–E730.
- [18] Persky AM, Brazeau GA. Clinical pharmacology of the dietary supplement creatine monohydrate [J]. *Pharmacol Rev*, 2001, 53(2): 161–176.
- [19] Olsen S, Aagaard P, Kadi F, *et al.* Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle induced by strength training [J]. *J Physiol*, 2006, 573(2): 525–534.
- [20] Hespel P, Eijnde BO, Van LM, *et al.* Oral creatine supplementation facilitates the rehabilitation of disuse atrophy and alters the expression of muscle myogenic factors in humans [J]. *J Physiol*, 2001, 536(2): 625–633.
- [21] Safdar A, Yardley NJ, Snow R, *et al.* Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation [J]. *Physiol Genom*, 2007, 32(2): 219–228.
- [22] 金宏, 许志勤, 王先远, 等. 补充肌酸对游泳大鼠骨骼肌代谢的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2002, 21(1): 95–97.
- Jin H, Xu ZQ, Wang XY, *et al.* Effects of creatine supplementation on skeletal muscle metabolism in swimming rats [J]. *Chin J Sports Med*, 2002, 21(1): 95–97.
- [23] Izquierdo M, IbaEz J, GonzLez-Badillo JJ, *et al.* Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(2): 332–343.
- [24] Mielgo AJ, Calleja GJ, Diego MJ, *et al.* Effects of creatine supplementation on athletic performance in soccer players: A systematic review and meta-analysis [J]. *Nutrients*, 2019, 11(4): 14–17.
- [25] Crisafulli DL, Buddhadev HH, Brilla LR, *et al.* Creatine-electrolyte supplementation improves repeated sprint cycling performance: A double blind randomized control study [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2018, 15(1): 21.
- [26] 王仁纲, 宋高晴, 王妹玉. 外源性磷酸肌酸对足球运动员最大有氧能力的影响及在 PALIER 测试过程中的作用[J]. 广州体育学院学报, 2006, 26(1): 52–56, 62.
- Wang RG, Song GQ, Wang SY. The effect of exogenous creatine phosphate on the maximum aerobic capacity of football players and its role in the PALIER test process [J]. *J Guangzhou Inst Phys Educ*, 2006, 26(1): 52–56, 62.
- [27] Post A, Tsikas D, Bakker SJ. Creatine is a conditionally essential nutrient in chronic kidney disease: A hypothesis and narrative literature review [J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 1044.
- [28] Renato A, Souza H, Miranda M, *et al.* Effects of high-dose creatine supplementation on kidney and liver responses in sedentary and exercised rats [J]. *J Sports Sci Med*, 2009, 8(4): 672–81.
- [29] Waldron JE, Pendlay GW, Kilgore TG, *et al.* Concurrent creatine monohydrate supplementation and resistance training does not affect markers of hepatic function in trained weightlifters [J]. *J Exerc Physiol*, 2002, 5(1): 57–64.
- [30] Larissa G, Ferreira C, De TB, *et al.* Effects of creatine supplementation on body composition and renal function in rats [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2005, 37(9): 1525–9.
- [31] Tarnopolsky MA, Bourgeois JM, Snow R, *et al.* Histological assessment of intermediate- and long-term creatine monohydrate supplementation in mice and rats [J]. *Am J Physiol Regulat Integrat Comparat Physiol*, 2003, 285(4): R762–R769.
- [32] 李斌, 艾华, 李显. 补充大剂量肌酸抑制运动训练大鼠内源性肌酸的合成[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24(3): 297–301.
- Li B, Ai H, Li X. High-dose creatine supplementation inhibits the synthesis of endogenous creatine in exercise training rats [J]. *Chin J Sports Med*, 2005, 24(3): 297–301.
- [33] 李显, 裴晓萌, 艾华. 常规维持量补充肌酸对大鼠内源性肌酸合成的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2006, 25(1): 21–25, 30.
- Li X, Pei XM, Ai H. Effect of regular maintenance supplementation of creatine on endogenous creatine synthesis in rats [J]. *Chin J Sports Med*, 2006, 25(1): 21–25, 30.
- [34] Benton D, Donohoe R. The influence of creatine supplementation on the cognitive functioning of vegetarians and omnivores [J]. *Br J Nutr*, 2011, 105(7): 1100–1105.
- [35] Jolanta CM. Effect of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training [J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metabol*, 2003, 13(2): 173.
- [36] 李显, 肖海涛, 艾华. 长期(8 个月)补充肌酸对大鼠内源性肌酸合成的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2007, 26(6): 700–703.
- Li X, Xiao HT, Ai H. Effect of long-term (8 months) creatine supplementation on endogenous creatine synthesis in rats [J]. *Chin J Sports Med*, 2007, 26(6): 700–703.
- [37] Greenwood M, Kreider RB, Melton C, *et al.* Creatine supplementation during college football training does not increase the incidence of cramping or injury [J]. *Mol Cell Biochem*, 2003, 244(1-2): 83–88.
- [38] Domingues WJ, Ritti-Dias RM, Cucato GG, *et al.* Does creatine supplementation affect renal function in patients with peripheral artery disease? a randomized, double blind, placebo-controlled, clinical trial [J]. *Annals Vasc Surg*, 2020, 63: 45–52.
- [39] Stares A, Bains M. The additive effects of creatine supplementation and exercise training in an aging population: A systematic review of randomized controlled trials [J]. *J Geriatr Phys Therapy*, 2020, publish ahead of print. DOI: 10.1519/JPT.0000000000000222
- [40] Sieroń A, Kołodyńska G, Paulina R. Potential advantages and disadvantages of using creatine supplements by professional volleyball players [Z]. 2018.

- [41] Dalbo VJ, Roberts MD, Stout JR, *et al.* Putting to rest the myth of creatine supplementation leading to muscle cramps and dehydration [J]. *Brit J Sports Med*, 2008, 42(7): 567–573.
- [42] Nancy RR, Nancy MD, Susie L. Position of the American dietetic association, dietitians of Canada, and the American college of sports medicine [J]. *J Am Dietet Assoc*, 2000, 100(12): 1543–1556.
- [43] Thomas, DT. Position of the academy of nutrition and dietetics, dietitians of Canada, and the American college of sports medicine: Nutrition and athletic performance [J]. *J Academy Nutr Dietet*, 2016, 116(3): 501–528.
- [44] Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, *et al.* International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2017, 14(1): 18.
- [45] Maurizio, Balestrino, Enrico, *et al.* Beyond sports: Efficacy and safety of creatine supplementation in pathological or parapsychological conditions of brain and muscle [Z]. 2019.
- [46] 吴昊, 冯美云. 补充肌酸对糖尿病大鼠代谢的影响[J]. 北京体育大学学报, 2001, 24(3): 323–326.
- Wu H, Feng MY. The effect of creatine supplementation on metabolism in diabetic rats [J]. *J Beijing Sport Univ*, 2001, 24(3): 323–326.
- [47] 刘兵. 补充肌酸对运动能力和健康的影响[J]. 贵州体育科技, 2006, (4): 39–42, 52.
- Liu B. The effect of creatine supplementation on sports ability and health [J]. *Guizhou Sports Sci Technol*, 2006, (4): 39–42, 52.
- [48] Andreo FA. Long-term creatine supplementation improves muscular performance during resistance training in older women [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2013, 113(4): 987–996.
- [49] Huang SH, Johnson K, Pipe AL. The use of dietary supplements and medications by Canadian athletes at the Atlanta and Sydney Olympic games [J]. *Clin J Sport Med*, 2006, 16(1): 27–33.
- [50] Kreider RB, Wilborn C, Taylor L, *et al.* ISSN exercise & sport nutrition review: Research & recommendations [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2004, 7(1): 1–44.
- [51] Huang S, Johnson K, Pipe AL, *et al.* The use of dietary supplements and medications by Canadian athletes at the Atlanta and Sydney Olympic games [J]. *Clin J Sport Med*, 2006, 16(1): 27–33.
- [52] Green GA, Uryasz FD, Petr TA, *et al.* NCAA study of substance use and abuse habits of college student-athletes [J]. *Clin J Sport Med*, 2001, 11(1): 51–56.
- [53] NCAA national study of substance use habits of college student-athletes. 2014 [EB/OL]. [2017-03-05]. http://www.ncaa.org/sites/default/files/Substance%20Use%20Final%20Report_FINAL.pdf. Accessed 22 Apr 2015.
- [54] Yang ZY, Mi MM. Research and application of creatine as sports nutrition product [Z]. 2013.
- [55] 廖艳琴, 张春晓. 水产动物肌酸营养的研究进展[J]. 水产学报, 2019, 43(10): 2084–2092.
- Liao YQ, Zhang CX. Research progress of creatine nutrition in aquatic animals [J]. *J Fisher*, 2019, 43(10): 2084–2092.
- [56] 李文博. 肌酸补充在大众健美运动中的应用[J]. 拳击与格斗, 2020, (5): 88.
- Li WB. Application of creatine supplement in mass bodybuilding [J]. *Boxing Fight*, 2020, (5): 88.
- [57] 郭可雷. 对肌酸补充时间和量的研究[J]. 长沙大学学报: 自然科学版, 2006, 20(2): 1112–114.
- Guo KL. Research on the time and amount of creatine supplementation [J]. *J Changsha Univ: Nat Sci Ed*, 2006, 20(2): 1112–114.
- [58] 张华, 杜芳. 足球运动员补充碳水化合物、肌酸后生化指标变化的研究[J]. 体育科技(广西), 2004, (2): 38–39.
- Zhang H, Du F. Study on the changes of biochemical indexes after supplementing carbohydrate and creatine by football players [J]. *Sports Sci Technol (Guangxi)*, 2004, (2): 38–39.
- [59] Cribb PJ, Williams AD, Hayes A. A creatine- protein- carbohydrate supplement enhances responses to resistance training [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2007, 39(11): 1960–1968.
- [60] Scientific Committee on Food (SCF). Opinion of the scientific committee on food on safety aspects of creatine supplementation [Z]. 2000.
- [61] Creatine monohydrate for use in foods for particular nutritional uses Question number EFSA-Q-2003-125 [J]. *EFSA J*, 2004, 36: 1–6.
- [62] Australia New Zealand food standards code - standard 2.9.4 - formulated supplementary sports foods - F2013C00104 [Z]. 2013.
- [63] QB/T 2834-2006 运动营养食品食用肌酸[S].
- QB/T 2834-2006 Sports nutrition food-Edible creatine [S].
- [64] GB 24154-2015 食品安全国家标准运动营养食品通则[S].
- GB 24154-2015 National food safety standard-General rules for sports nutrition food [S].
- [65] 卫生部. 关于不再审批以熊胆粉和肌酸为原料生产的保健食品的通告(卫法监发[2001]267号)[Z].
- Ministry of Public Health. Notice regarding no longer approving health food produced with bear bile powder and creatine as raw materials ([2001] No. 267 [Z].

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

李 逊, 主要研究方向为高校体育教学、运动训练、篮球裁判等。
E-mail: daopa15248@163.com