

运动营养对身体机能改善的研究进展

张婷婷, 孟佳珩*

(黑龙江中医药大学, 哈尔滨 150040)

摘要: 随着人们对健康越来越重视, 越来越多的民众开始注重体育锻炼, 而如何提高人体的运动机能, 成为国内外学者日益关注的焦点。运动营养是指运动食品中所含的对运动能力有所提高的一类营养物质。运动食品中的营养成分通常可以分为 2 类: 基本营养物质类, 活性或功能因子类。本文对当前国内外关于运动营养的研究进行了综述, 讨论了基本营养物质类如糖、蛋白质、脂肪等在运动机体中的代谢情况, 以及活性或功能因子类如咖啡因、牛磺酸、碳酸氢钠、植物活性物质等对人体运动机能的影响, 以期运动营养产品的开发提供一定的理论指导依据。

关键词: 运动; 基本营养; 活性功能因子

Research progress on the improvement of physical function of sports nutrition

ZHANG Ping-Ting, Meng Jia-Heng*

(Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: As people pay more and more attention to health, more and more people are paying attention to physical exercise, and how to improve physical function of human body has become the focus of scholars at home and abroad. Sports nutrition refers to a kind of nutrients contained in sports foods that can improved exercise ability. The nutrients in sports foods can usually be divided into 2 categories: basic nutrients and active or functional factors. This paper reviewed the current research on sports nutrition at home and abroad, and discusses the metabolism of basic nutrients such as sugar, protein and fat in the exercise organism, and the effects of active or functional factors such as caffeine, taurine, sodium bicarbonate, plant active substances on physical function, in order to provide a certain theoretical guidance for the development of sports nutrition products.

KEY WORDS: sports; basic nutrition; active functional factor

1 引言

随着人们对健康的愈发重视, 越来越多的民众开始注重体育锻炼, 而如何提高人们的运动能力, 成为国内外学者日益关注的焦点, 运动营养是其焦点之一^[1]。运动营养是指与运动相关食品中所含的对运动能力有所提高的一类营养物质, 该营养物质虽然不能完全的取代训练, 但其

是保证运动员或者经常参加体育锻炼的普通健身者的生理、身体机能代谢需求, 以及拥有良好健康状态和运动能力的基础^[2]。运动营养食品中的营养成分通常可以分为 2 类: 基本营养物质类^[3], 活性或功能因子类^[4]。基本营养物质类指的是机体所需的营养素或其代谢产物, 包括糖、蛋白质、脂肪等; 活性或功能因子是指动植物中的活性或功能成分, 其属于功能性营养成分, 对于人体机能改善具有

*通讯作者: 孟佳珩, 副教授, 主要研究方向为运动生理学, 运动养生。E-mail: z18906@163.com

*Corresponding author: MENG Jia-Heng, Assistant Professor, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China. E-mail: z18906@163.com@163.com

潜在作用。

本文对近几年国内外关于运动营养的研究进行综述, 讨论了营养物质类如糖、蛋白质、脂肪等在人体中的代谢情况, 以及动植物活性或功能成分对人体机能的影响, 以期对运动营养产品的开发提供一定的理论指导依据。

2 运动中基本营养物质的代谢

人体在运动时, 营养物质的代谢和消耗会增加, 因此机体对某些营养素的需求也会增加^[5]。通常, 基本的营养物质为糖、蛋白质、脂肪, 同时水、钠、钾等无机物代谢和调节过程对机体调控也具有重要的作用^[6]。

2.1 糖代谢

糖代谢主要是指葡萄糖在体内的复杂代谢过程, 包括分解代谢与合成代谢^[7], 其是哺乳动物细胞重要的能量来源^[8]。糖代谢一直是运动营养领域的研究热点, 目前的研究不仅仅是对运动员以及普通健身者的糖补充, 而且注重通过运动改善糖代谢以达到防治代谢综合征的目的^[9]。人体在运动时, 骨骼肌从血液中摄取葡萄糖, 以维持碳水化合物作为能量来源的需求。这种摄取涉及复杂的分子信号传导过程, 通过同时刺激 3 个关键步骤: 传递、跨肌膜转运和通过代谢过程(糖酵解和葡萄糖氧化)的细胞内流动, 运动可使葡萄糖摄取增加 50 倍。运动刺激的葡萄糖摄取被保存在胰岛素抵抗的肌肉中, 证明了运动是糖尿病等代谢性疾病患者的治疗基础^[10]。糖的来源可以是液体、半固体或固体, 并且当绝对运动强度低, 糖氧化率也低时, 可能需要减少糖摄入量^[11]。

2.2 蛋白质代谢

蛋白质不仅参与运动引起的骨骼肌损伤性修复和组织适应性增生, 还在运动中提供机体所需能量, 因此运动员以及普通健身者需要增加蛋白质的补充^[12]。在基本营养物质中, 蛋白质属于一大类, 其主要包括氨基酸营养和肽营养^[13]。蛋白质是增肌的主要产品, 市场上最多见的为乳清蛋白^[14]。乳清蛋白在人体中容易吸收, 有利于氨基酸被输送到所需要的组织, 加速肌肉纤维的合成, 使受损肌肉快速恢复, 从而提高运动能力^[15]。West 等^[16]采用双盲交叉实验, 让 12 名受过训练的男子进行全身抵抗运动后的夜间(10 和 24 h)恢复期间服用乳清蛋白或能量匹配的安慰剂, 并进行对比, 结果发现乳清蛋白的补充可以增强机体的合成代谢, 并可改善剧烈抵抗运动后运行性能的急性恢复。

2.3 脂类代谢

一般在运动营养食品中需要避免或减少脂肪添加, 但 Chang 等^[17]在研究中发现, 低碳水化合物高脂肪(low carbohydrate and high fat, LCHF)饮食可以作为减轻体重的一种手段。与食用高碳水化合物低脂肪(high carbohydrate

and low fat, HCLF)饮食的运动员相比, LCHF 适应性耐力运动员可以达到约 1.5 g/min 的最大脂肪氧化率, 并保持较低的碳水化合物氧化率和相似的肌肉糖原含量再合成率。内源性甘油三酯脂肪酸是耐力运动的重要能量来源^[18], 在运动中补充甘油三酯脂肪酸, 会使人体中脂肪分解加快, 这证明了甘油三酯脂肪酸在人体脂肪代谢中起着重要的作用^[19], 但长链或中链甘油三酯脂肪酸对运动过程中底物代谢的影响不明显^[20]。另外, 磷脂酸(phosphatidic acid, PA)作为脂类的一种可以激活哺乳动物骨骼肌雷帕霉素靶标(mammalian target of rapamycin, mTOR), 以刺激骨骼肌蛋白质的代谢, 增强肌肉蛋白质含量^[21]。

2.4 无机物的代谢

机体在运动时, 除了三大基本营养物质的代谢消耗外, 往往还受到水、钠、钾等无机物代谢过程的影响^[22]。研究发现, 水对维持机体的代谢平衡发挥着重要作用, 人体在摄入水不足或轻微失水的情况下, 患慢性疾病的风险会增大^[23]。Perrier 等^[24]研究发现“最佳水化”的指数, 即 24 h 尿渗透压 ≤ 500 mOsm/kg, 维持该指标可以使每日摄入的液体总量足以补偿每日损失量, 确保尿量足以降低患尿石症和肾功能下降的风险, 并避免血浆血糖升高。Sun 等^[25]发现对游泳运动员补充氢-水, 能有效降低运动员在运动前、运动中、运动后的氧化物质含量, 从而预防高强度运动引起的自由基损伤。K⁺是一种重要的血管扩张物质, 肌肉收缩时间钾的增加会导致运动性充血的血管舒张, 从而起到降低血压的作用^[26]。据相关调查得知, 耐力运动员通常认为钠摄入量对他们的运动活动呈正相关, 在进行相关耐力性训练时, 耐力运动员每天需要额外的钠, 摄入适量的钠可以预防运动相关的肌肉痉挛和低钠血症^[27]。

3 目前应用的活性或功能因子对身体机能改善的研究

3.1 咖啡因

咖啡因是一种黄嘌呤生物碱化合物, 具有兴奋中枢神经作用, 已经成为常用的功能性饮料的添加剂^[28]。据目前研究发现, 咖啡因可以增加肌肉耐力, 同时增强人体能量, 但是这种作用在一定程度上取决于咖啡因的使用剂量以及外部负荷^[29]。3~9 mg/kg 咖啡因足以在运动前 60 min 引起麦角效应, 然而, 在高达 9 mg/kg 或更高的剂量下, 失眠等副作用可能更为明显^[30]。在中度低氧的高强度自行车运动中, 咖啡因可以减少运动的感知力, 从而改善运动所引起的疲劳^[31]。咖啡因的摄入还可以防止训练有素的跑步者运动引起的低血糖。Weber 等^[32]让 12 名男子马拉松运动员服用安慰剂和咖啡因(6 mg/kg), 结果表明, 咖啡因的摄入可以在训练跑步者的运动中改善葡萄糖和甘油三酯的有效性。Schneiker 等^[33]研究发现, 补充咖啡因(6 mg/kg)可以

提高短时间(4~6 s)反复冲刺跑的足球、橄榄球、棒球运动员的运动能力。另外,由于交感神经活动增加,摄入咖啡因会破坏运动后自主神经功能恢复。交感神经恢复时间的延长会阻碍恢复过程中的压力反射功能,破坏自主神经功能的稳定性,从而造成年轻人的促心律失常状态^[34]。

3.2 牛磺酸

牛磺酸,又称为 β -氨基乙酰胺,是从牛胆汁中分离出的一种化合物^[35]。牛磺酸在人体中主要起到调节渗透压、保护细胞膜结构稳定的作用^[36]。最近研究表明,正常含量的牛磺酸可以维持骨骼肌的正常功能。在骨骼肌中,牛磺酸主要作用是促进 Ca^{2+} 依赖性兴奋-收缩过程,有助于调节细胞体积,并帮助细胞抵抗氧化应激反应^[37]。McLeay等^[38]发现,在偏心运动引起的肌肉损伤后,每天服用2次牛磺酸,并维持72 h,可能有助于改善肱二头肌的功能恢复。牛磺酸对于人体的耐力有着促进作用,通过口服不同剂量的牛磺酸(1~6 g),可以明显改善人类的耐力表现,增强机体抵御疲劳的能力^[39]。应一帆^[40]以牛磺酸类饮品为研究对象,对35名高水平运动员进行试验,实验结果证明了牛磺酸饮品对运动代谢有促进作用,并且长期饮用可提高运动成绩。

3.3 碳酸氢钠

碳酸氢钠(NaHCO_3)是体液酸碱平衡中一个重要的缓冲系统,可以降低血液乳酸水平^[41],被广泛地作为一种营养强化剂^[42]。人体在急性中度缺氧情况下,可严重损害运动表现,同时加剧氢离子(H^+)的生成,可以通过补充碳酸氢钠来缓解这种酸压力,并且减轻因缺氧导致的运行能力下降^[43]。Da等^[44]在71名男性自行车运动员中,研究了 β -丙氨酸(beta alanine, BA)和碳酸氢钠(sodium bicarbonate, SB)在高强度运动和自行车赛时对能量代谢的影响,结果表明SB会增加对高强度间歇运动的糖酵解作用,而BA和SB(单独或联合)均不会改善短循环时间试验的性能。而对篮球运动员在第4节中进行 NaHCO_3 的补充发现, NaHCO_3 会延缓运动性疲劳的发生,甚至还可以通过提高体液缓冲能力,最终提高篮球运动员的运动表现^[5]。虽然碳酸氢钠的补充可以提高运动员在大强度自行车运动的能力,但有运动员会引发肠胃不适,因此碳酸氢钠的补充不是对所有运动员均有益^[45]。

3.4 植物活性物质

近年来研究发现,很多种类的植物中均含有抗运动性疲劳的活性物质,可以将其广泛的应用到改善人体运动能力的营养物质中^[46]。植物中的活性物质主要为多糖物质,常见的如板栗、沙枣、羊栖菜、冬虫夏草、灵芝以及芦荟等,这些物质中含有大量的糖分^[47,48]。李清宇等^[49]对板栗进行了研究,证明了板栗多糖对人体具有良好的抗疲劳作

用,且最优的使用量为200 mg/(kg·d)。植物色素也被证明对机体具有抗疲劳作用。袁克星^[50]通过对月季花色素进行提纯,以小鼠作为研究对象,摄入色素后的小鼠,其血清和骨骼肌中的超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶以及过氧化氢酶的活性均得到了明显提高,同时血乳酸含量明显下降,从而证明色素可以达到缓解疲劳、提高小鼠运动能力的作用。此外,鱼腥草、大豆、赣南脐橙皮中含有的黄酮,以及茶、芡实种皮中含有的多酚类物质,均对改善人体运动能力具有重要的作用^[51]。

4 结论

随着人们经济水平的提高,人们对体育锻炼的关注度也越来越高,运动营养食品已经成为运动员乃至经常参加体育锻炼的普通健身者身边必不可少的食品之一。目前国内外关于运动营养进行了很多研究,但是大多为营养物质的作用机理,基于此,今后的研究可利用相关的生物指标进行监控,针对不同运动项目、运动级别、年龄阶段和性别的运动人员,制订出不同的运动营养标准,开展针对性的研究和评定。

参考文献

- [1] 朱灵光. 中国运动营养学的研究现状[J]. 内江科技, 2012, 33(11): 13.
Zhu LG. Research status of sports nutrition in China [J]. Neijiang Sci Technol, 2012, 33(11): 13.
- [2] McArdle WD. Sports and exercise nutrition [M]. New York: Lippincott Williams & Wilkins, 2018.
- [3] 艾华, 常翠青. 运动营养食品中营养成分和功能因子研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(3): 16-24, 49.
Ai H, Chang CQ. Research progress on nutritional components and functional factors in sports nutrition food [J]. J Food Sci Technol, 2017, 35(3): 16-24, 49.
- [4] Grout A, McClave SA, Jampolis MB, et al. Basic principles of sports nutrition [J]. Curr Nutr Rep, 2016, 5(3): 213-222.
- [5] 刘玉倩, 杨雯茜, 殷娟娟. 运动营养研究的新进展[J]. 北京体育大学学报, 2015, 38(8): 58-64, 79.
Liu YQ, Yang WQ, Yin JJ. New progress in sports nutrition research [J]. J Beijing Sport Univ, 2015, 38(8): 58-64, 79.
- [6] 黄波. 运动营养对身体机能改善的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(3): 89-92, 100.
Huang B. Research progress of sports nutrition on body function improvement [J]. Food Ferment Technol, 2018, 54(3): 89-92, 100.
- [7] 李春福. 运用生物化学原理揭示人体肌肉运动的主要能量来源[J]. 中国校外教育(理论), 2008, (1): 106.
Li CF. Using biochemical principles to reveal the main energy source of human muscle movement [J]. Chin After School Ed, 2008, (1): 106.
- [8] Mack CI, Weinert CH, Egert B, et al. The complex human urinary sugar profile: determinants revealed in the cross-sectional KarMeN study [J]. Am J Clin Nutr, 2018, 108(3): 502-516.
- [9] 张宁宁. 中等强度运动对不同糖代谢人群心血管指标影响的研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2018.

- Zhang NN. Study on the impact of moderate intensity exercise on cardiovascular indexes of people with different glucose metabolism [D]. Beijing: Beijing Sports University, 2018.
- [10] Sylow L, Kleinert M, Richter EA, *et al.* Exercise-stimulated glucose uptake—regulation and implications for glycaemic control [J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2017, 13(3): 133.
- [11] Jeukendrup A. A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise [J]. *Sport Med*, 2014, 44(1): 25–33.
- [12] 张海滨, 田雪文. 骨骼肌中与运动相关蛋白质组学的研究进展[J]. *体育世界(学术版)*, 2018, (8): 198–199.
- Zhang HB, Tian XW. Research progress of sports-related proteomics in skeletal muscle [J]. *Sport World (Acad Ed)*, 2018, (8): 198–199.
- [13] 卓长清, 周兵. 蛋白食品对运动员生理功能的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(19): 5259–5263.
- Zhou CQ, Zhou B. Influence of protein food on athletes' physiological function [J]. *J Food Saf Qual*, 2008, 9(19): 5259–5263.
- [14] 景珠, 赵丽双, 刘丽波, 等. 乳清蛋白水解物的研究进展及应用[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 316–320, 325.
- Jing Z, Zhao LS, Liu LB, *et al.* Research progress and application of whey protein hydrolysate [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(1): 316–320, 325.
- [15] Baty JJ, Hwang H, Ding Z, *et al.* The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage [J]. *J Strength Cond Res*, 2007, 21(2): 321–329.
- [16] West D, Abou SS, Mazzulla M, *et al.* Whey protein supplementation enhances whole body protein metabolism and performance recovery after resistance exercise: A double-blind crossover study [J]. *Nutrients*, 2017, 9(7): 735.
- [17] Chang CK, Borer K, Lin PJ. Low-carbohydrate-high-fat diet: Can it help exercise performance [J]. *J Human Kinet*, 2017, 56(1): 81–92.
- [18] 徐晓峰, 吴升, 吴魁勉, 等. 营养干预对代谢综合征患者脂代谢影响的研究[J]. *临床军医杂志*, 2011, 39(1): 17–18.
- Xu XF, Wu S, Wu MK, *et al.* The influence of nutritional intervention on the MS patient's metabolism [J]. *Clin J Med Offic*, 2011, 39(1): 17–18.
- [19] Wolfe RR, Klein S, Carraro F, *et al.* Role of triglyceride-fatty acid cycle in controlling fat metabolism in humans during and after exercise [J]. *Am J Physiol Endocrinol Metabol*, 1990, 258(2): 382–389.
- [20] Horowitz JF, Klein S. Lipid metabolism during endurance exercise [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 72(2): 558–563.
- [21] Shad BJ, Smeuninx B, Atherton PJ, *et al.* The mechanistic and ergogenic effects of phosphatidic acid in skeletal muscle [J]. *Appl Physiol Nutr Metabol*, 2015, 40(12): 1233–1241.
- [22] 柳涛, 吴秀芳. 人体代谢过程中的能量转换[J]. *工科物理*, 1995, (2): 35–37.
- Liu T, Wu XF. Energy conversion in human metabolism [J]. *Engineer Phys*, 1995, (2): 35–37.
- [23] Kenney EL, Long MW, Cradock AL, *et al.* Prevalence of inadequate hydration among US children and disparities by gender and race/ethnicity: National health and nutrition examination survey, 2009–2012 [J]. *Am J Publ Health*, 2015, 105(8): 113–118.
- [24] Perrier ET, Buendia-Jimenez I, Vecchio M, *et al.* Twenty-four-hour urine osmolality as a physiological index of adequate water intake [J]. *Dis Mark*, 2015, (2015): 1–8.
- [25] Sun YP, Sun L. Selective protective effect of hydrogen water on free radical injury of athletes after high-intensity exercise [J]. *Biomed Res*, 2017, 28(10): 4558–4561.
- [26] Terwoord JD, Hearon Jr CM, Luckasen GJ, *et al.* Elevated extracellular potassium prior to muscle contraction reduces onset and steady-state exercise hyperemia in humans [J]. *J Appl Physiol*, 2018, 125(2): 615–623.
- [27] McCubbin AJ, Cox GR, Costa RJS. Sodium intake beliefs, information sources, and intended practices of endurance athletes before and during exercise [J]. *Int J Sport Nutr Exer Metabol*, 2018, (3): 1–11.
- [28] 瞿东杨, 史润东东, 姜欣, 等. 牛磺酸和咖啡因在抗疲劳饮料中的作用[J]. *饮料工业*, 2018, 21(4): 16–19.
- Qu DY, Shi RDD, Jiang X, *et al.* The role of taurine and caffeine in anti-fatigue beverages [J]. *Bev Ind*, 2008, 21(4): 16–19.
- [29] 刘军, 乔德才, 刘晓莉. 咖啡因延缓运动疲劳作用及机制研究进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2018, 37(9): 791–796.
- Liu J, Qiao DC, Liu XL. Research progress on the effect and mechanism of caffeine on delaying exercise fatigue [J]. *Chin J Sport Med*, 2008, 37(9): 791–796.
- [30] Grgic J, Mikulic P, Schoenfeld BJ, *et al.* The influence of caffeine supplementation on resistance exercise: A review [J]. *Sport Med*, 2019, 49(1): 17–30.
- [31] Bach CW, Ransone JW. Caffeine does not increase heat stress during endurance exercise in a hot, humid environment [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2018, 50(5S): 599.
- [32] Weber VMR, Queiroga MR, Kiihn AL, *et al.* Caffeine prevents exercise-induced hypoglycemia in trained runners [J]. *J Human Sport Exer*, 2019, 14(2): 1–13.
- [33] Schneiker KT, Bishop D, Dawson B, *et al.* Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2006, 38(3): 578–585.
- [34] Bunsawat K, White DW, Kappus RM, *et al.* Caffeine delays autonomic recovery following acute exercise [J]. *Europ J Prev Cardiol*, 2015, 22(11): 1473–1479.
- [35] 赵玉星, 郭俊霞, 陈文. 牛磺酸改善糖代谢的量效分析[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(21): 295–301.
- Zhao YX, Guo JX, Chen W. Dose-effect analysis of taurine in improving glucose metabolism [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2017, 38(21): 295–301.
- [36] 周佳琦, 唐日益, 杨建成, 等. 牛磺酸对动物中枢神经系统的作用[J]. *动物医学进展*, 2017, 38(5): 116–119.
- Zhou JQ, Tang RY, Yang JC, *et al.* Effects of taurine on central nervous system of animals [J]. *Adv Anim Med*, 2017, 38(5): 116–119.
- [37] Spriet LL, Whitfield J. Taurine and skeletal muscle function [J]. *Curr Opin Clin Nutr Metabol Care*, 2015, 18(1): 96–101.
- [38] McLeay Y, Stannard S, Barnes M. The effect of taurine on the recovery from eccentric exercise-induced muscle damage in males [J]. *Antioxidants*, 2017, 6(4): 79.
- [39] Waldron M, Patterson SD, Tallent J, *et al.* The effects of an oral taurine dose and supplementation period on endurance exercise performance in humans: a meta-analysis [J]. *Sport Med*, 2018, 48(5): 1247–1253.
- [40] 应一帆. 牛磺酸对人体代谢水平及运动成绩的影响[J]. *长春大学学报*, 2017, 27(10): 28–32.
- Ying YF. Effects of taurine beverage on human metabolism capacity and sports performance [J]. *J Changchun Univ*, 2017, 27(10): 28–32.
- [41] 陈晋云. 碳酸氢钠对人体运动能力的影响[J]. *体育学刊*, 1999, (6):

- 53–55.
Chen JY. Effects of sodium bicarbonate on human motor ability [J]. *J Phys Ed*, 1999, (6): 53–55.
- [42] 宋金春, 龙星颖. 碳酸氢钠临床应用的研究进展[J]. *医学综述*, 2018, 24(15): 3050–3054.
Song JC, Long XY. Research progress of sodium bicarbonate in clinical treatment [J]. *Med Recapit*, 2008, 24(15): 3050–3054.
- [43] Deb SK, Gough LA, Sparks SA, *et al.* Sodium bicarbonate supplementation improves severe-intensity intermittent exercise under moderate acute hypoxic conditions [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2018, 118(3): 607–615.
- [44] Da Silva RP, De Oliveira LF, Saunders B, *et al.* Effects of β -alanine and sodium bicarbonate supplementation on the estimated energy system contribution during high-intensity intermittent exercise [J]. *Amin Acid*, 2019, 51(1): 83–96.
- [45] Saunders B, Silva V, de Araujo DG, *et al.* Sodium bicarbonate and high-intensity cycling [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2015, 47(5S): 183–184.
- [46] Gleeson M. Immunological aspects of sport nutrition [J]. *Immunol Cell Biol*, 2016, 94(2): 117–123.
- [47] Jensen KH, Berg-Sørensen K, Bruus H, *et al.* Sap flow and sugar transport in plants [J]. *Rev Mod Phys*, 2016, 88(3): 35007.
- [48] Shin HY, Park SJ, Seo SW, *et al.* Gamibojungikki-tang decreases immobility time on the forced swimming test and increases interferon- γ production from MOLT-4 cells [J]. *J Ethnopharmacol*, 2005, 102(1): 113–119.
- [49] 李清宇, 杨颖, 贾琳斐, 等. 板栗多糖的分离纯化、结构分析及抗疲劳作用的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2013, 32(7): 767–772.
Li QY, Yang Y, Jia LF, *et al.* Purification, Structural analysis and antifatigue assay of polysaccharide from *Castanea mollissima* Blume [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2013, 32(7): 767–772.
- [50] 袁克星. 月季花色素及耐力训练对小鼠运动能力和抗氧化能力的影响[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2010.
Yuan KX. Effects of Chinese rose flower pigment and endurance training on exercise ability and antioxidant capacity of mice [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2010.
- [51] 马永轩, 张名位, 魏振承, 等. 运动营养食品的现状与趋势[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(14): 205–207.
Ma YX, Zhang MW, Wei ZC, *et al.* Current status and development trends of sports foods [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(14): 205–207.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介

张婧婷, 硕士, 讲师, 主要研究方向为运动营养学, 运动生理学。
E-mail: z96182@163.com

孟佳琦, 硕士, 副教授, 主要研究方向为运动生理学, 运动养生。
E-mail: z18906@163.com