

有机酸对提高机体运动能力的影响及风险评估

张婷婷, 孟佳珩*

(黑龙江中医药大学, 哈尔滨 150040)

摘要: 随着人们运动健身意识的增强, 能提升运动能力的食品越来越受到欢迎。目前研究表明一些有机酸具有延缓疲劳、提高机体糖原储备量的功能, 从而提升运动能力。有机酸对于体育运动有着积极意义, 尤其是耐力性运动和需要减控体重的运动项目。本文对有机酸的种类、有机酸在体内的代谢机制、有机酸的主要生理功能、有机酸与运动能力的关系以及机体补充有机酸的风险评估进行了综述, 并阐述了补充有机酸的收益和风险以及评估方法, 为有机酸运动食品的研发提供参考。

关键词: 有机酸; 代谢; 运动能力; 风险评估

Effect of organic acids on enhancing sports ability and risk assessment

ZHANG Ping-Ting, MENG Jia-Heng*

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

ABSTRACT: As people's awareness of exercise and fitness increases, foods that enhance athletic ability are increasingly popular. Current research indicates that some organic acids have the function of delaying fatigue and increasing the amount of glycogen stored in the body, thereby improving exercise capacity. Organic acids have a positive impact on sports, especially endurance sports and sports that require weight loss. This paper reviewed the types of organic acids, the metabolic mechanism of organic acids in the body, the main physiological functions of organic acids, the relationship between organic acids and exercise capacity, and the risk assessment of organic acid supplementation, and explained the benefits and risks of supplementing organic acids and the evaluation methods, in order to provide reference for the development of organic acid sports foods.

KEY WORDS: organic acids; metabolize; sports ability; risk assessment

1 引言

随着现代体育科技的发展, 人们意识到运动营养食品对运动员的运动能力有着巨大的影响。在各类运动营养食品的有效成分中, 有机酸越来越受到学者的关注。有研究表明, 有机酸可以提高机体的运动能力, 比如丙酮酸、茶氨酸、肌酸等^[1-5]。近年来, 国内外的专家学者对有机酸与机体运动能力的关系做了大量研究, 发现许多有机酸直接参与机体生命活动中的生物

化学反应, 具有增加冠状动脉血流量、抑制脑组织脂质过氧化物生成、抗疲劳、促进新陈代谢等作用^[6-8]。这些功能对于体育运动有着积极意义, 尤其适用于耐力性运动和需要减控体重的运动项目。补充有机酸有助于促进机体脂肪分解, 提高糖原储备量, 保持血糖浓度, 从而提高运动能力。

本文从人体代谢的角度, 综述了有机酸与机体运动能力之间的关系以及补充有机酸的风险评估, 以期促进有机酸运动营养食品的研发与应用。

*通讯作者: 孟佳珩, 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

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

2 有机酸与机体代谢

2.1 有机酸的种类

在机体的生命活动中,有机酸发挥着重要作用,它直接参与了许多机体的生物化学反应。机体内有机酸的种类很多,有的具有软化血管的作用,有的可以起到促进新陈代谢的作用。有机酸对机体健康的影响至关重要^[9-12]。

尿酸是核酸在机体内的代谢产物。机体细胞的代谢以及食物中核酸的氧化分解都会在肝脏中氧化形成尿酸^[13]。一般情况下,体内的尿酸新生成量和排泄量会形成动态平衡。如果这一平衡被打破,就会形成痛风^[14]。叶酸是由 6-甲基-2-氨基-4-羟基蝶啶、对氨基苯甲酸和谷氨酸结合而成,是 B 族维生素中的一种。叶酸对细胞分裂和组织生长具有重要作用。烟酸也是 B 族维生素的一种,参与细胞的呼吸以及能量代谢。在机体内,肝脏可以转化烟酸,但是转化率很低,机体的烟酸主要需要从食物中摄取。丙酮酸和乳酸是葡萄糖代谢的中间产物。乳酸是肌体细胞在低氧状态下,通过葡萄糖的无氧氧化途径产生的。胆酸是胆固醇的代谢产物^[15,16]。脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。过多的饱和脂肪酸可导致动脉粥样硬化,不饱和脂肪酸有助于预防动脉粥样硬化,脂肪酸的来源有机体自身合成和食物供给 2 大类^[17]。

2.2 有机酸的代谢与主要生理功能

有机酸参与机体内 3 大营养物质的代谢活动,联系着体内脂肪、糖、蛋白质之间的相互转化。丙酮酸是机体内存在的短链酮酸^[18],具有羧酸和酮的性质,酸性较弱。丙酮酸通过三羧酸循环实现了体内糖、脂肪及氨基酸之间的相互转化,是 3 大营养物质代谢的枢纽^[19,20]。糖和蛋白质的转化过程中,丙酮酸通过三羧酸循环生成酮戊二酸和草酰乙酸,再经过转氨基或者氨基化作用形成了氨基酸,从而合成蛋白质^[8]。而氨基酸经过脱氨基作用生成的酮酸又可通过三羧酸循环和糖异生的途径生成糖。糖和脂肪的转化过程中,糖酵解的产物有的经过氧化脱羧后可以形成乙酰辅酶 A,参与脂肪酸的从头合成,有的直接还原为甘油,实现糖类到脂肪的转化。脂肪酶分解脂肪成为甘油和脂肪酸,可通过糖异生途径合成糖原,或者通过 β -氧化生成乙酰辅酶 A,经三羧酸循环氧化供能。脂类和蛋白质一般不进行相互转化。

机体内的葡萄糖经过糖酵解的反应生成丙酮酸,丙酮酸在丙酮酸脱氢酶的作用下又生成还原型辅酶 I(nicotinamide adenine dinucleotide, NADH)和乙酰辅酶 A,产物乙酰辅酶 A 与草酰乙酸结合,进入三羧酸循环,生成高能磷酸化合物和还原当量,还原当量在线粒体内合成 ATP,为机体供能^[21,22]。机体内有很多条件限制丙酮酸的形成,也就限制了葡萄糖的氧化供能。在丙酮酸脱氢酶系(丙酮酸脱羧酶、硫辛酸乙酰基转移酶、二氢硫辛酸脱氢酶)

和辅助因子(焦磷酸硫胺素、辅酶 A、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸、核黄素腺嘌呤二核苷酸、硫辛酸、镁离子)充足的情况下,外源补充丙酮酸,可以加大机体的能量消耗,降低机体脂肪含量^[23]。

3 有机酸在提升机体运动能力中的作用

3.1 丙酮酸和 L-苹果酸

丙酮酸在减轻体重体脂、提高运动能力、抗疲劳等方面有明显效果。Stanko 等^[24]的研究发现,在饮食中加入丙酮酸和磷酸二羟丙酮混合物,观察其对肌肉耐力的影响时发现,实验组表现出更强的肌肉耐力。有学者将体重、体重指数及静态代谢率都基本一致的一批肥胖女性随机分成了 2 组,实验组与对照组分别用丙酮酸和多糖代替食物中的部分碳水化合物,采用极低能量的饮食进行实验,结果显示,丙酮酸在极低能量的饮食条件下,可促进受试者体重、体脂降低^[25]。刘丽红等^[26]在实验中给予男性摔跤运动员 6 g/d 的丙酮酸钙,8 周后其体重、体重指数、体脂肪含量、身体脂肪比率以及腹部脂肪比率的指标比实验前显著下降($P<0.05$)。崔黎黎等^[27]给小鼠连续 3 周灌服丙酮酸钙后发现小鼠力竭运动能力和抗氧化损伤能力明显提高。学者认为,短期内补充丙酮酸可以提高有氧运动能力,可能是由于丙酮酸减少了肌糖元消耗,使运动员在运动时对血糖的利用增加;也有学者认为补充丙酮酸有助于增加肌糖元的数量,为机体的有氧运动提供了充足的糖^[28,29]。

运动能力取决于运动过程中机体能量的供给和利用,L-苹果酸有利于机体运动强度的提升。L-苹果酸是机体代谢过程中的重要有机酸,是三羧酸循环的中间产物,直接参与能量代谢。邱俊强^[30]研究发现,L-苹果酸可明显降低足球运动员赛后的血尿素值。同时,邱俊强的研究也发现,服用苹果酸的实验组运动员在运动 30 min 后,其心率明显低于对照组。Bendahan^[31]发现苹果酸复合营养液可提高运动员有氧做功能力和抗疲劳能力,同时也可提高运动员无氧做功的能力。冯瑞^[32]通过对小鼠进行负重游泳实验发现,L-苹果酸能延长小鼠游泳至力竭的时间。有学者研究也发现^[33],运动员服用瓜氨酸-苹果酸盐,有助于提高其有氧运动的能力。L-苹果酸增加了机体代谢反应的底物、同时增强了酶的活性,从而促进了线粒体呼吸,减少了无氧运动引起的乳酸生成。

3.2 茶氨酸和肌酸

茶氨酸是茶叶中含有的一种特殊氨基酸。有研究表明,将微量茶氨酸注入大鼠大脑可以显著增加多巴胺的释放量,减少大鼠的运动疲劳^[34]。郝明研究发现茶氨酸可以降低机体对肝糖原的消耗,维持体力^[35]。肌酸是合成磷酸肌酸的前体物质,可补充在高强度运动中机体所消耗的能量,增强运动者的运动能力。徐峰鹏等^[36]的研究表明,连续服用

28 d 肌酸后, 运动员的耐力显著提高。吕志辉^[37]研究发现, 肌酸可以增加有氧运动 ATP 的储备, 延缓运动疲劳, 提高运动能力。

3.3 β -丙氨酸和牛磺酸

β -丙氨酸是机体内重要的有机酸, 是机体内合成肌肽的重要物质。有研究表明, β -丙氨酸可以增加运动员体内肌肽含量、提高有氧代谢, 从而提高运动员的耐力^[38-40]。牛磺酸具有多种生物学作用, 具有清除自由基、维持体液平衡等作用, 牛磺酸在体内参与了糖和氨基酸的代谢。学者研究表明, 牛磺酸可以减缓在运动过程中机体产生自由基, 从而具有抗疲劳的作用^[41-43]。

3.4 醋 酸

近代医学研究表明, 食醋可以改善机体的新陈代谢、减缓运动性疲劳的发生。机体在长时间运动时, 肌肉在消耗糖原的同时也在大量消耗血糖。机体中枢神经系统的主要供能物质是血糖, 因此, 当血糖降低时, 会引起中枢神经系统供能不足, 从而导致全身性的疲劳。郑绪恒等^[44]的研究表明, 食醋可以增加小鼠运动后肝糖原的数量, 延长了小鼠从游泳开始到死亡的时间, 降低了小鼠运动后血液中的乳酸含量。有研究发现^[45], 食醋可明显提高肝糖原含量, 延长小鼠负重游泳时间。Oliveira 等^[46]研究发现, 跑步运动后期的大鼠, 经口摄入醋酸盐, 有助于机体血糖保持正常水平。李明星^[47]在进行果醋饮料对小鼠抗疲劳实验的影响时发现, 果醋饮料能显著降低运动小鼠血液中乳酸的含量, 果醋对小鼠具有抗疲劳功能。果醋可以加速机体糖类的代谢, 能够促进三羧酸循环, 改善机体有氧代谢, 能有效分解肌肉中的乳酸等疲劳物质, 提高机体抗疲劳的能力^[48-50]。

4 机体补充有机酸的风险评估

有机酸与提高机体运动能力之间的联系已经得到了众多学者的关注, 平衡由补充有机酸而引起的收益和风险也是世界范围的重要议题。风险评估这种系统的评估方法用来评估不良健康作用的可能性和严重程度。

有机酸参与机体正常生理代谢, 有必要对补充有机酸进行风险评估。在特定的摄入范围内, 有机酸能够发挥生理功能, 有利于机体运动能力的提升, 这种效应称之为收益。当由于补充过量有机酸或机体自身原因导致有机酸含量超过了限值, 则会出现酸中毒等风险。

通常情况下, 当机体心肺功能调节正常时, 适量补充有机酸不会引起血液中酸浓度的增高, 当血液中酸浓度的增高偏离正常值时, 则会面临有酸中毒的风险。当机体有机酸代谢异常时, 体内的氨基酸降解、糖酵解等生化反应相关的酶缺陷或酶活性下降, 导致中间产物在体内蓄积, 从而引起有机酸血症或有机酸尿症^[51]。临床表现为脱水、电解质紊乱、抽搐、意识丧失和肌张力减退等^[52,53]。有机

酸代谢异常表现为多系统、多器官受累。另外, 有机酸的酸性较强, 且多在胃部即被消化, 从而不能充分被机体利用, 因此在实际应用中, 还需要注意有机酸的补充途径以及补充剂量之间的平衡。

5 结 论

随着运动营养食品的普及, 其中的功能成分越来越多的受到人们的关注。有机酸运动营养食品有助于延缓机体的运动性疲劳, 增强耐受力, 提高机体的运动能力。但是, 有机酸在体内的正常代谢受很多因素的影响, 在补充有机酸时也需要考虑与之相关的营养成分的摄入。科研人员对有机酸功能的深入研究, 为开发运动营养食品提供了重要依据。有机酸运动营养食品的研发将具有广阔前景。

参考文献

- [1] 孟艳, 林文波. 肌酸补充与运动能力[J]. 中国体育教练员, 2016, (4): 18-20.
Meng Y, Lin WT. Creatine supplementation and sports ability [J]. China Sport Coach, 2016, (4): 18-20.
- [2] 王良峡, 刘若颖, 林福鸿, 等. 支链氨基酸在运动中的作用研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2015, 37(1): 7-12.
Wang LX, Liu RY, Lin FH, et al. Research progress in effect of branched-chain amino acids on exercise [J]. Amin Acid Biot Res, 2015, 37(1): 7-12.
- [3] 杨忠建. 茶氨酸延缓运动性疲劳的作用探讨[J]. 福建茶叶, 2016, (5): 29-30.
Yang ZJ. Discussion on the effect of theanine on delaying exercise-induced fatigue [J]. Fujian Tea, 2016, (5): 29-30.
- [4] Andres S, Ziegenhagen R, Trefflich I, et al. Creatine and creatine forms intended for sports nutrition [J]. Mol Nutr Food Res, 2017, 61(6): 772-789.
- [5] Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, et al. International society of sports nutrition position stand: Safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sports, and medicine [J]. J Int Soc Sport Nutr, 2017, (14): 18-36.
- [6] 唐炳华. 生物化学[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2012.
Tang BH. Biochemistry [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2012.
- [7] 万学红, 卢雪峰. 诊断学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
Wan XH, Lu XF. Diagnostics [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2018.
- [8] 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 ZH. Effects of creatine supplement on body temperature and muscle oxygen saturation during exercise [J]. Liaoning Sport Sci Technol, 2017, 39(4): 28-30, 34.
- [9] 郑宏, 杨艳玲. 有机酸代谢病导致的猝死及危重症合并症[J]. 中国实用儿科杂志, 2019, 34(7): 548-551.
Zheng H, Yang YL. Sudden death and critical complications caused by organic acid metabolic diseases [J]. Chin J Pract Pediatr, 2019, 34(7): 548-551.
- [10] 赵基源, 梁琼麟, 冉小蓉, 等. 代谢物组学应用的领域之三——诊断代

- 谢物组学[J]. 中成药, 2006, (12): 1809–1812.
- Zhao JY, Liang QL, Ran XR, *et al.* The third field of metabolomics application—diagnostic metabolomics [J]. *Chin Patent Med*, 2006, (12): 1809–1812.
- [11] 钱宁, 杨艳玲. 有机酸代谢障碍的研究进展[J]. 中国优生与遗传杂志, 2003, (4): 6–8.
- Qian N, Yang YL. Research progress of organic acid metabolic disorders [J]. *Chin J Eugen Hered*, 2003, (4): 6–8.
- [12] 李闯. 运动营养品中肌酸的检测[J]. 食品工业, 2017, 38(10): 298–301.
- Li C. Detection of creatine in sports nutrients [J]. *Food Ind*, 2017, 38(10): 298–301.
- [13] 蒋幸幸. 广西某单位健康体检人群血尿酸水平分析及其与各体检指标间的相关性研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2019.
- Jiang XX. Analysis of serum uric acid level and correlation between serum uric acid level and physical examination indexes in a health examination population of a unit in Guangxi [D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2019.
- [14] 朱洁明, 林斌. 血尿酸 14494 例检测结果对比分析[J]. 中国医药导报, 2011, 8(17): 162–163.
- Zhu JM, Lin B. Contrastive analysis of 14494 serum uric acid test results [J]. *Chin Med Rep*, 2011, 8(17): 162–163.
- [15] 赵明亮, 赵爱华, 郑晓皎, 等. 肠道法尼醇 X 受体对糖脂代谢调节作用的研究进展[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2019, 39(6): 672–677, 671.
- Zhao ML, Zhao AH, Zheng XJ, *et al.* Progress in the regulation of intestinal farnesol X receptor on glycolipid metabolism [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ (Med Ed)*, 2019, 39(6): 672–677, 671.
- [16] Kavita J, Yang X, Xu YY, *et al.* Reversal of metabolic disorders by pharmacological activation of bile acid receptors TGR5 and FXR [J]. *Molec Metabol*, 2018, 10(5): 52–58.
- [17] Scott RR, Ibdah JA. Fatty acid oxidation disorders: maternal health and neonatal outcomes [J]. *Semin Fet Neonat Med*, 2010, 15(3): 122–128.
- [18] 王勇, 孙扬, 周明霞, 等. 14 种小分子有机酸的抑菌活性筛选[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(4): 22–28.
- Wang Y, Sun Y, Zhou MX, *et al.* Antimicrobial activity screening of 14 small molecular organic acids [J]. *J Hebei Agric Univ*, 2018, 41(4): 22–28.
- [19] 粟介耀. 三大营养物质的代谢关系分析[J]. 农家参谋, 2017, (13): 169.
- Su JY. Metabolic relationship analysis of three major nutrients [J]. *Farmer's Staff*, 2017, (13): 169.
- [20] Denkert C, Budczies J, Weichert W, *et al.* Metabolite profiling of human colon carcinoma deregulation of TCA cycle and amino acid turnover [J]. *Molec Cancer*, 2008, 7(3): 185–189.
- [21] Kikid RQ, Koji I, Donytra AW, *et al.* Systemic inhibition of Janus kinase induces browning of white adipose tissue and ameliorates obesity-related metabolic disorders [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2018, (1): 132–140.
- [22] Radford BN, Han VKM. Offspring from maternal nutrient restriction in mice show variations in adult glucose metabolism similar to human fetal growth restriction [J]. *J Dev Origin Health Dis*, 2019, 10(4): 149–55.
- [23] Sharma A, Oonthanpan L, Sheldon RD, *et al.* Impaired skeletal muscle mitochondrial pyruvate uptake rewires glucose metabolism to drive whole-body leanness [J]. *eLife*, 2019, (8): 147–155.
- [24] Stanko RT, Robertson RJ, Galbreath RW, *et al.* Enhanced leg exercise endurance with a high-carbohydrate diet and dihydroxyacetone and pyruvate [J]. *J Appl Physiol*, 1990, 69(5): 165–167.
- [25] Stanko RT, Adibi SA. Inhibition of lipid accumulation and enhancement of energy expenditure by the addition of pyruvate and dihydroxyacetone to a rat diet [J]. *Metabolism*, 1986, 35(2): 182–186.
- [26] 刘丽红, 刘振玉, 徐冬青. 丙酮酸钙对摔跤运动员体成分和静息代谢率的影响[J]. 体育学刊, 2006, (1): 54–57.
- Liu LH, Liu ZY, Xu DQ. Effects of calcium pyruvate on body composition and resting metabolic rate of wrestlers [J]. *J Sport*, 2006, (1): 54–57.
- [27] 崔黎黎, 宫德正, 李晓, 等. 丙酮酸钙对小鼠力竭运动后抗氧化损伤作用的机制[J]. 中国康复, 2009, 24(3): 147–148.
- Cui LL, Gong DZ, Li X, *et al.* Mechanisms of calcium pyruvate on anti-oxidative damage after exhaustive exercise in mice [J]. *Chin Rehabil*, 2009, 24(3): 147–148.
- [28] 李小丽. 线粒体丙酮酸载体对糖代谢和干性调控的影响[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- Li XL. The effect of mitochondrial pyruvate carrier on glycometabolism and dry regulation [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.
- [29] 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 improvement of body function [J]. *Food Ferm Technol*, 2018, 54(3): 89–92, 100.
- [30] 邱俊强. 苹果酸低聚糖饮料抗运动性疲劳的代谢机制研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2003.
- Qiu JQ. Metabolic mechanism of malate oligosaccharide beverage against exercise-induced fatigue [D]. Beijing: Beijing Sports University, 2003.
- [31] Bendahan D. *Citrulline malate* promotes aerobic energy production in human exercising muscle [J]. *British J Sport Med*, 2002, 36(4): 282–289.
- [32] 冯瑞. 苹果酸代谢和运动能力[J]. 当代体育科技, 2011, 1(5): 7–8.
- Feng R. Malic acid metabolism and athletic ability [J]. *Contempor Sport Sci Technol*, 2011, 1(5): 7–8.
- [33] 康亦姜. 一次性运动结合 GC-MS 法对淫羊藿多糖改善慢性疲劳综合征的代谢机制探索[D]. 西安: 陕西师范大学, 2017.
- Kang YJ. One-time exercise combined with GC-MS to explore the metabolic mechanism of *Epimedium polysaccharide* in improving chronic fatigue syndrome [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2017.
- [34] 杨建峰, 杨光, 韩东. 茶氨酸延缓运动性疲劳的作用研究[J]. 福建茶叶, 2016, (8): 24–25.
- Yang JF, Yang G, Han D. The study on the effect of theanine on delaying exercise-induced fatigue [J]. *Tea Fujian*, 2016, (8): 24–25.
- [35] 郝明. 茶氨酸对体育运动能力和体力水平的影响作用[J]. 福建茶叶, 2017, (7): 30–31.
- Hao M. The effect of theanine on the exercise capacity and physical level [J]. *Tea Fujian*, 2017, (7): 30–31.
- [36] 徐峰鹏, 郑海波, 伊洪刚. 小剂量、长时间肌酸补充对体院大学生耐力的影响[J]. 军事体育学报, 2015, 34(3): 104–108.
- Xu FP, Zheng HB, Yi HG. The effect of low dose, long term creatine supplementation on endurance performance of college students [J]. *J Mil Phys Ed Sports*, 2015, 34(3): 104–108.
- [37] 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): 28–34.
- Lv ZH. A study on the effects of creatine supplements on body temperature and creatine saturation in exercise [J]. *Liaoning Sport Sci Technol*, 2017, 39(4): 28–34.
- [38] 孙景权, 叶碧璇, 周海涛, 等. 天然 β -丙氨酸提高运动能力及其机制的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(6): 64–68.

- Sun JQ, Ye BX, Zhou HT, *et al.* Research progress on function of β -alanine on exercise and its mechanism [J]. *Food Nutr China*, 2015, 21(6): 64–68.
- [39] Kresta JY, Oliver J, Jagim A, *et al.* Effects of 28 days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on muscle carnosine, body composition and exercise performance in recreationally active females [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2012, 9(1): 17–18.
- [40] Gross M, Bieri K, Hoppeler H, *et al.* Beta-alanine supplementation improves jumping power and affects severe-intensity performance in professional alpine skiers [J]. *J Int Soc Sports Nutr Exerc Meta*, 2014, 24: 665–673.
- [41] Wolber Frances M, McGrath M, *et al.* Cysteic acid in dietary keratin is metabolized to glutathione and liver taurine in a rat model of human digestion [J]. *Nutrients*, 2016, 8(2): 25–28.
- [42] Ra SG, Miyazaki T, Ishikura K, *et al.* Combined effect of branched-chain amino acids and taurine supplementation on delayed onset muscle soreness and muscle damage in high-intensity eccentric exercise [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2013, (10): 51–62.
- [43] Spriet LL, Whitfield J. Taurine and skeletal muscle function [J]. *Curr Opin Clin Nutr Metab Car*, 2015, 18(1): 96–101.
- [44] 郑绪恒, 潘瑶, 齐伟伟. 论中国传统养生运动中的疲劳及营养补充策略研究[J]. *中华武术(研究)*, 2018, 7(3): 86–88.
- Zheng XH, Pan Y, Qi WW. On fatigue and nutrition supplement strategies in traditional Chinese health preservation exercise [J]. *Chin Wushu (Res)*, 2018, 7(3): 86–88.
- [45] 张晓明. 运动膳食营养对运动能力的影响[J]. *课程教育研究*, 2017, (52): 222–223.
- Zhang XM. Effects of sports dietary nutrition on sports ability [J]. *Curriculum Ed Res*, 2017, (52): 222–223.
- [46] Oliveira DL, Pugine SM, Ferreira MS, *et al.* Influence of in-dole acetic acid on antioxidant levels and enzyme activities of glucose metabolism in rat liver [J]. *Cell Biochem Funct*, 2005, 21(5): 714–719.
- [47] 李明星. 苹果醋生产工艺优化及其抗运动疲劳功能研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(3): 59–64.
- Li MX. Production process optimization and anti-fatigue function of apple vinegar [J]. *Food Greas*, 2018, 31(3): 59–64.
- [48] 任祥钰. 运动营养品中的有机酸对体育运动能力的提升作用及检测技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(18): 4906–4910.
- Ren XY. Advances in the research of organic acids in sports nutrients on the promotion of sports ability and detection technology [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(18): 4906–4910.
- [49] 李青梅, 马小骅. 健身运动中的营养补充问题探讨[J]. *武汉冶金管理干部学院学报*, 2018, 28(1): 31–33.
- Li QM, Ma XH. Nutrition supplement in fitness exercise [J]. *J Wuhan Metallurg Manag Cadr Colleg*, 2018, 28(1): 31–33.
- [50] Safari R, Hoseinifar SH, Nejadmoghaddam S, *et al.* Apple cider vinegar boosted immunomodulatory and health promoting effects of *Lactobacillus casei* in common carp [J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2017, 67(8): 441–448.
- [51] Server CR, Beaud A, Sly WS, *et al.* The metabolic and molecular bases of inherited disease [M]. New York: Mc Craw-Hill, 2001.
- [52] Irene MLW, Körper-Keularts S, Ping W, *et al.* Fast and accurate quantitative organic acid analysis with LC-QTOF/MS facilitates screening of patients for inborn errors of metabolism [J]. *J Inherit Metabol Dis*, 2018, 41(3): 991–1006.
- [53] Cakir B, Teksam M, Kosehan D, *et al.* Inborn errors of metabolism presenting in childhood [J]. *Neuroimaging*, 2011, 21(2): 117–133.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介

张娉婷, 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

孟佳珩, 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