

植物提取物抗运动性疲劳作用的研究进展

闫勇江^{*}

(西安医学院, 西安 710021)

摘 要: 运动性疲劳是人体脑力和体力持续活动到一定阶段时出现的一种生理现象, 表现为机体生理过程不能继续其机能在特定水平上或不能维持预定的运动强度。持续性的运动疲劳极易诱发运动损伤, 从而给运动员或长期运动者的身体和运动表现能力带来隐患。因此, 如何有效预防运动性疲劳的发生, 以及如何有效恢复运动性疲劳是当前需要重点考虑的问题。近年研究表明, 植物提取物在人体抗疲劳的预防和消除中有着十分重要的作用。故本文结合近些年国内外关于植物提取物的研究, 综述了常见的多种植物类提取物如: 多酚类、生物碱类、皂苷类、多糖类等人体抗疲劳中的作用, 及其对人体不同疲劳部位(外周疲劳、神经中枢疲劳)的抗疲劳作用机制, 以期研发新型抗运动疲劳功能产品, 遴选绿色、有效、安全的食源性活性成分提供一定的理论指导依据。

关键词: 植物提取物; 运动性疲劳; 作用机制

Research progress of anti exercise fatigue effect of plant extracts

YAN Yong-Jiang^{*}

(Xi'an Medical University, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: Exercise fatigue is a physiological phenomenon that occurs when the human body's mental and physical activities reach a certain stage. It manifests that the physiological process of the body cannot maintain its function at a specific level or cannot maintain the predetermined exercise intensity. Continuous exercise fatigue easily induces sports injury, which brings hidden trouble to the body and sports performance of athletes or long-term athletes. Therefore, how to effectively prevent the occurrence of exercise fatigue, and how to effectively recover exercise fatigue are the current issue that needs to be considered. Recent studies have shown that plant extracts play an important role in preventing and eliminating fatigue. Combined with the research on plant extracts at home and abroad in recent years, this paper reviewed the effects of various plant extracts such as polyphenols, alkaloids, saponins and polysaccharides on human anti fatigue and the anti-fatigue mechanism of different parts of human body (peripheral fatigue, nerve center fatigue), with a view to developing new anti-sports fatigue functional products. It was expected to provide a theoretical basis for the selection of green, effective and safe food derived active ingredients.

KEY WORDS: plant extracts; exercise fatigue; mechanism of action

基金项目: 西安医学院 2018 年青年科研基金项目(2018QN15)

Fund: Supported by the Youth Research Fund Project of Xi'an Medical College in 2018(2018QN15)

*通讯作者: 闫勇江, 硕士, 主要研究方向为体育教育工作。E-mail: liqirong934113@126.com

*Corresponding author: YAN Yong-Jiang, Master, Xi'an Medical University, Xi'an 710021, China. E-mail: liqirong934113@126.com

1 引言

运动性疲劳是人体脑力和体力持续活动到一定阶段时出现的一种生理现象,表现为机体生理过程不能继续其机能在特定水平上和(或)不能维持预定的运动强度^[1]。适度的疲劳后进行积极恢复,可以提高人体机能;但是过度的运动性疲劳和未积极恢复造成的疲劳积累,不仅对人体无益,而且有可能形成过度训练,最终造成运动损伤^[2-3]。因此,如何有效预防运动性疲劳的发生,以及如何有效恢复运动性疲劳是当前需要重点考虑的问题。近年研究表明,植物提取物(plant extracts, PE)具有抗运动性疲劳的活性,对于运动性疲劳的预防与消除的研究具有十分重要的理论价值和实践意义^[4,5],故本文结合近些年国内外关于植物提取物的研究,以植物提取物在抗运动疲劳中的作用机制为导向,综述不同植物提取物如:多酚类、生物碱类、皂苷类、多糖类等人体抗运动疲劳中的作用机制,以期研发新型抗运动疲劳功能产品,遴选绿色、有效、安全的食源性活性成分提供一定的理论指导依据。

2 植物类提取物抗运动性疲劳成分的研究

2.1 多酚类植物提取物

植物多酚是一类结构复杂的化合物,广泛存在于蔬菜、水果、豆类、谷物类等植物中^[6],主要可分为类黄酮、酚酸、鞣质 3 大类,在苹果、葡萄、茶叶、银杏叶等含量很高^[7]。由于植物多酚的邻位酚羟基极易被氧化,且对活性氧等自由基有较强的捕捉能力,使植物多酚具有很强的抗氧化性和清除自由基的能力,以及较好的抗运动疲劳的效果^[8]。Di 等^[9]提纯了杜仲叶中的多酚与黄酮类成分,对小鼠进行抗疲劳实验,结果表明,多酚与黄酮均具有抗疲劳作用,但多酚类能明显延长小鼠负重游泳时间,降低血乳酸(lactic acid, LA)和血清尿素氮(serum urea nitrogen, SUN)含量,增加肝糖原含量,提高乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)活性,说明多酚类物质可能是杜仲叶中具有抗疲劳作用的主要成分。Zain 等^[10]研究显示,从葡萄籽中提取的葡萄多酚(grape polyphenol, GP)的抗氧化机制能直接起作用,通过增加 GST 活性和 γ -GCL 水平来保留内源性谷胱甘肽,从而发挥抗氧化、抗疲劳的作用。由此可见,多酚类植物提取物在抗疲劳的作用机制可能与糖原的储备及能量物质的有氧代谢有关。

2.2 生物碱类植物提取物

生物碱(alkaloids)是一类大多具有复杂含氮环状结构、显著生理活性的有机化合物^[11]。研究发现咖啡因、胡椒碱、辣椒素及黄秋葵种子、桑叶等生物碱类化合物有一定的抗运动疲劳作用^[12]。徐明等^[13]研究了黄秋葵种子生物碱提取物对健康雄性小鼠的抗疲劳作用,结果表明,黄秋

葵种子中生物碱提取物能增强小鼠负重游泳时间,增强耐力,同时能够降低血液中血清尿素氮含量、血乳酸含量,以及显著提高肝糖原含量,并且随着生物碱的摄入量增大(2~8 mg/kg·d),效果会显著增大,证明黄秋葵种子生物碱提取物对小鼠有一定的抗疲劳作用。辣椒素(capsaicin, CAP)是辣椒中一种重要的具有刺激性和生物活性的植物化学物质。Hsu 等^[14]对小鼠摄入 CAP 进行抗疲劳研究,结果表明, CAP 补充剂能通过增加肝糖原含量来增强耐力表现。因此, CAP 可能具有促进健康和改善疲劳的广泛生物活性。另外,许多研究者进行的研究表明植物提取物咖啡因对抗运动疲劳有一定的作用,咖啡因通过调控中枢神经系统来延缓运动疲劳的产生^[15]。然而,长期摄入低剂量的咖啡因会使机体产生耐受性,因此,应避免长期补充咖啡因,以便从急性摄入咖啡因中最大限度地提高运动能力^[16]。由此可见,人体在通过补充生物碱类植物提取物进行抗疲劳时,需要合理的、健康的进行补充,避免长期的补充,从而引起机体的耐受性。

2.3 皂苷类植物提取物

皂苷(saponins)是苷元为三萜或螺旋甾烷类的糖苷类化合物^[17],主要为人参、百合、柴胡、罗汉果、黄芪、竹节参、天门冬、大豆、红景天等中草药中一类重要的活性物质^[18]。人参皂苷的抗疲劳效果在众多抗疲劳产品中已有体现,主要作用在于调节中枢神经系统、改善机体功能和消除疲劳等方面^[19]。Xu 等^[20]探讨了人参皂苷 Rg3 对疲劳大鼠脑组织 TH 表达的影响,在小鼠游泳前灌胃 Rg3(10、50 和 100 mg/kg),负重游泳大鼠不同脑区 TH 和磷酸化 TH 含量均降低,其中腹中脑受影响较小,证明 Rg3 预处理可显著抑制疲劳引起的 TH 和 TH 磷酸化表达的降低。因此,人参皂苷可通过不同靶点具有不同程度的改善运动疲劳后中枢神经递质紊乱的情况,达到抗运动性疲劳的效果,从而对中枢神经系统产生保护作用。朱晓亚^[21]的研究证明了天门冬皂苷提取物可明显提高小鼠的运动耐力和乳酸脱氢酶活力,降低体内乳酸浓度水平,具有较好抗疲劳作用。尤伟^[22]制备了一种富含红景天皂苷提取物的运动食品,对小鼠进行了抗疲劳实验,结果发现小鼠骨骼肌细胞中抗疲劳相关的细胞通路均被激活,其相关蛋白的表达水平均显著高于对照组($P<0.05$),证实红景天提取物在细胞水平表现出抗疲劳功效;同时对从事高原运动的自愿者进行实验,其中实验组运动相关指标和疲劳相关生化指标均显著高于对照组人员($P<0.05$),并且未发生任何不良反应事件。由此可见,红景天提取物可明显减少蛋白质分解供能的程度,从而达到节约蛋白质的作用,减少运动造成的机体损伤,证实红景天运动食品具有有效的抗高原疲劳功效。

2.4 多糖类植物提取物

多糖(polysaccharides)是一类天然活性生物高分子,

多存在于一些植物的细胞壁中,其最重要的生理功效就是免疫调节作用^[23]。目前有不少报道,从植物中提取分离得到的多糖类化合物具有清除自由基、抑制脂质过氧化作用、抑制亚油酸氧化等抗疲劳作用^[24]。梁宇芝等^[25]的研究中发现对小鼠在应急性灌胃处理后,其负重游泳时间明显提高,其结果可为以羊肚菌多糖为原料的抗疲劳保健品的开发提供建议与帮助。陈津津等^[26]的研究得出杏鲍菇多糖在抗疲劳方面具备显著功效。Tan 等^[27]得出了熟地黄多糖对小鼠的抗疲劳作用机制可能与增加肝糖原的蓄积量,以及减少血乳酸的积累有关。在多糖的众多抗疲劳作用研究中,实验多为大鼠或小鼠的游泳力竭模型,大部分具有延长运动耐力时间作用的多糖都具有共同的特点,机理与其调节机体糖代谢和改善运动造成机体组织脂质过氧化作用有关,即增强了运动机体的抗氧化水平,说明多糖的抗氧化作用对于延缓疲劳的产生具有非常重要的作用^[28]。

3 植物提取物在抗运动疲劳中的作用

3.1 植物提取物提高骨骼肌抗疲劳的能力

剧烈运动时自由基的大量产生与清除能力下降是导致运动性疲劳的主要原因之一,植物提取物通常通过提高抗氧化酶活性以及抑制脂质过氧化反应来提高机体骨骼肌抗疲劳的能力^[29,30]。机体存在具有防护、清除和修复过量自由基伤害的过氧化酶类,如过氧化氢酶(catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化物酶等,这些抗氧化酶在保护机体免受自由基损伤中发挥着重要的作用^[31,32]。许多研究表明,植物提取物中活性因子不仅能防护体内抗氧化酶,还能增强机体内抗氧化酶活性^[33]。Jin 等^[34]以秀丽隐杆线虫为模型动物,研究了油茶籽多糖的抗氧化性,结果表明,当多糖浓度大于 50 mg/L 时,多糖能提高抗氧化酶活性,降低脂质过氧化水平,减轻百草枯所致的氧化损伤。门红军等^[35]研究表明,北五味子粗多糖可以显著降低老年大鼠血清中丙二醛(malondialdehyde, MDA)的含量,并显著提高血清中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性,这说明五味子多糖能抑制自由基的产生,因此具有一定的抗脂质过氧化作用。而冯毅翀等^[36]则提出了人参甙 Rb1 和人参总皂甙可以通过抑制骨骼肌细胞内钙稳态失衡,从而抑制运动所致骨骼肌细胞损伤、发挥抗运动性疲劳作用。

3.2 植物提取物增强机体有氧运动的耐力

在长时间的耐力运动中,存储在体内的糖以及肌肉糖原的消耗是疲劳的主要原因^[37]。研究表明,植物提取物通常通过促进糖异生^[38]和减少运动中乳酸堆积^[39]来增强机体的有氧运动耐力。对于有氧的长时间运动,肌糖原是

决定疲劳产生的主要能源物质,肌糖原含量的降低引起肌质网 Ca^{2+} 释放的减少,肌肉收缩功能下降,同时长时间的运动,血糖浓度显著下降使大脑能量供应不足引起中枢疲劳^[40]。周亮等^[41]采用大鼠模型实验研究达玛烷皂苷的抗疲劳性,随着运动时间的增加,服用 Rg1 的大鼠明显比对照组中的肝脏和肌肉中的糖原水平高,结果证明,玛烷皂苷能够促进肌肉和肝脏中的糖原储备,并且维持运动时血液中的葡萄糖水平,从而增加运动时肌肉的能量供应。而长时间的有氧运动,会导致大量的过度产物乳酸在体内形成堆积,乳酸堆积会引起局部肌肉的酸痛,进而产生运动疲劳^[42]。在骆芷寒等^[43]的研究中,服用羌根提取液可通过提高血清乳酸脱氢酶活性而加快血清乳酸的清除,从而起到增加耐力的作用。

3.3 植物提取物对运动中中枢性疲劳的影响

人体在运动过程中除了会引起外周疲劳(骨骼肌、脊髓运动神经等部位)外^[44],越来越多的研究证明,中枢神经系统在运动性疲劳过程中发挥着主导的作用^[45]。包大鹏等^[46]研究发现运动性疲劳后运动员脑组织中脑血流量和氧摄入分数会发生变化,因此中枢神经疲劳会导致运动员稳态失衡、注意力下降、心理应激增加等一系列问题。通常,当意志感到疲惫或无法对内外刺激作出相应的协调反应时,可认为是中枢性疲劳^[47]。王雪峰^[48]通过小鼠血尿素实验表明,金针菇支链氨基酸能够控制小鼠运动中枢神经 5-羟色胺的分泌,抑制中枢神经性疲劳。Ataka 等^[49]研究则表明,由于精神疲劳导致血浆支链氨基酸水平下降,补充咖啡因会通过增强中枢神经系统活动从而改善任务表现,不增加疲劳感。同样地,在 Scholey 等^[50]的研究中证明,人参皂苷可以通过刺激垂体分泌促肾上腺皮质激素,而促肾上腺皮质激素在 cAMP 的介导之下刺激肾上腺分泌皮质酮,从而维持 HPA 轴的兴奋性,保持人体抗中枢疲劳性。由此可见,中枢神经系统在运动性疲劳过程中发挥着主导的作用,合理科学的营养补充对缓解疲劳、促进机体迅速恢复具有重要的意义。

4 结 语

持续性的运动疲劳极易诱发运动损伤,从而给运动员或长期运动者的身体和运动表现能力带来隐患。植物类提取物如:多酚类、生物碱类、皂苷类、多糖类等作为一类有效和安全的抗疲劳活性成分,对人体的外周疲劳以及中枢性神经引起的疲劳均具有良好的预防和消除作用,在人体中扮演着重要的角色。而运动疲劳是一种复杂的生理过程,虽然目前的抗疲劳研究作用机制主要围绕着自由基学说、能量耗竭以及代谢物积累,但是人们对其产生的机制还未解析透彻,并且植物类提取物的抗疲劳作用成分以

及作用机制研究主要集中在动物体上, 对人体的作用机制研究甚少。因此植物类提取物作为抗疲劳补充剂在运动领域的应用及其作用机制仍需更加深入、系统的研究。

参考文献

- [1] 周娟. 抗运动性疲劳的营养补充研究[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(1): 96–99.
- Zhou J. Study on nutritional supplement of anti-sports fatigue [J]. Food Ferment Technol, 2020, 56(1): 96–99.
- [2] Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue [J]. Sport Med, 2009, 39(5): 389–422.
- [3] 欧质刚. 运动性疲劳产生的可能机制[J]. 商情, 2020, (10): 290.
- Ou ZG. Possible mechanism of exercise fatigue [J]. Commerce, 2020, (10): 290.
- [4] 陈慧, 马璇, 曹丽行, 等. 运动疲劳机制及食源性抗疲劳活性成分研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 247–258.
- Chen H, Ma X, Cao LX, *et al.* Recent progress in the mechanism behind exercise-induced fatigue and dietary bioactive components against fatigue [J]. Food Sci, 2020, 41(11): 247–258.
- [5] Coqueiro AY, Rogero MM, Tirapegui J, *et al.* Glutamine as an anti-fatigue amino acid in sports nutrition [J]. Nutrients, 2019, 11(4): 75–76.
- [6] Dixit AK, Bhatnagar D, Kumar V, *et al.* Antioxidant potential and radioprotective effect of soy isoflavone against gamma irradiation induced oxidative stress [J]. J Funct Food, 2012, 4(1): 197–206.
- [7] 刘威良, 黄艾祥. 黄酮类化合物抗疲劳作用研究进展[J]. 热带农业科学, 2019, 39(2): 81–90.
- Liu WL, Huang AX. Present situation in research of anti-fatigue effect of flavonoids [J]. Chin J Trop Agric, 2019, 39(2): 81–90.
- [8] 郑红梅, 王少英, 史新娥. 植物多酚的抗氧化作用及其改善肉质的机制[J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2037–2045.
- Zheng HM, Wang SY, Shi XE. Antioxidative effects of plant polyphenols and its mechanism of improving meat quality [J]. Chin J Anim Nutr, 2020, 32(5): 2037–2045.
- [9] Di H, Hua S, Hui JJ. The anti-fatigue effect of polyphenols and flavonoids isolated from *Eucommia ulmoides* leaves in mice [J]. Adv Mater Res, 2012, 1914(1103): 1336–1339.
- [10] Zain MZ, Baba AS, Shori AB, *et al.* Effect of polyphenols enriched from green coffee bean on antioxidant activity and sensory evaluation of bread [J]. J King Saud Univ Sci, 2017, 30(2): 278–282.
- [11] Li S, Liu X, Chen X, *et al.* Research progress on anti-inflammatory effects and mechanisms of alkaloids from Chinese medical herbs [J]. Evid Compl Altern Med, 2020, (4): 1–10.
- [12] 李国锋. 抗运动疲劳食源性活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 10(2): 1–14.
- Li GF. Research progress of anti-exercise fatigue foodborne active ingredients [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 10(2): 1–14.
- [13] 徐明, 郑鸿雁, 王巍, 等. 黄秋葵种子中生物碱类化合物抗疲劳活性研究 [J]. 吉林农业, 2014, (5): 30–32.
- Xu M, Zheng HY, Wang W, *et al.* Study on the anti-fatigue activity of alkaloids in okra seeds [J]. Jilin Agric, 2014, (5): 30–32.
- [14] Hsu YJ, Huang WC, Chiu CC, *et al.* Capsaicin supplementation reduces physical fatigue and improves exercise performance in mice [J]. Nutrients, 2016, 8(10): 1–3.
- [15] Pereira PE, Motoyama YL, Esteves GJ, *et al.* Caffeine supplementation delays the fatigue through central nervous system modulation [J]. Sport Sci Health, 2016, 12(2): 239–245.
- [16] Beaumont RE, Cordery P, Funnell MP, *et al.* Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine [J]. J Sport Sci, 2017, 35(19): 1920–1927.
- [17] Du J, Long F, Chen C, *et al.* Research progress on natural triterpenoid saponins in the chemoprevention and chemotherapy of cancer [J]. Enzymes, 2014, 2: 95–130.
- [18] 王学芳, 任红贤, 封颖璐. 人参皂苷单体的抗疲劳作用研究进展[J]. 解放军医药杂志, 2019, 31(12): 114–116.
- Wang XF, Ren HX, Feng YL. Research progress on anti-fatigue effect of ginsenoside monomer [J]. Chin People's Liber Army Med J, 2019, 31(12): 114–116.
- [19] 张祥, 张晶莹, 宋昕恬, 等. 人参皂苷的抗疲劳作用研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(5): 12–14.
- Zhang X, Zhang JJ, Song XT, *et al.* Study on anti-fatigue effect of ginsenoside [J]. Anhui Agric Sci, 2018, 46(5): 12–14.
- [20] Xu Y, Zhang P, Wang C, *et al.* Effect of ginsenoside Rg3 on tyrosine hydroxylase and related mechanisms in the forced swimming-induced fatigue rats [J]. J Ethnopharmacol, 2013, 150(1): 138–147.
- [21] 朱晓亚. 天门冬总皂苷提取物的纯化及体内抗疲劳作用研究[J]. 食品科技, 2019, 44(9): 263–269.
- Zhu XY. Purification and *in vivo* antifatigue activity of total saponins of *Asparagus cochinchinensis* [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(9): 263–269.
- [22] 尤伟. 红景天运动食品研发及其抗高原运动疲劳研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(7): 168–171.
- Yiu W. Research and development of rhodiola rosea sports food and its anti-altitude exercise fatigue [J]. Food Res Dev, 2017, 38(7): 168–171.
- [23] 孟庆龙, 金沙, 刘雅婧, 等. 植物多糖药理功效研究进展 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 335–341.
- Meng QL, Jin S, Liu YJ, *et al.* Research progress in pharmacological efficacy of plant polysaccharides [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(11): 335–341.
- [24] Wang J, Li S, Fan Y, *et al.* Anti-fatigue activity of the water-soluble polysaccharides isolated from *Panax ginseng* C.A. Meyer [J]. J Ethnopharmacol, 2010, 130(2): 421–423.
- [25] 梁宇芝, 王清爽, 王鑫钰, 等. 羊肚菌多糖应急性抗疲劳成分的初步分离与鉴定[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2020, 43(3): 130–135.
- Liang YZ, Wang QS, Wang XY, *et al.* Preliminary isolation and identification of acute anti-fatigue components of morchella polysaccharides [J]. J Changchun Univ Sci Technol (Nat Sci Ed), 2020, 43(3): 130–135.
- [26] 陈津津, 冯嘉诚. 杏鲍菇多糖的抗疲劳活性研究[J]. 中国食用菌, 2020, 39(4): 46–48.
- Chen JJ, Fen JC. Study on the anti-fatigue activity of pleurotus eryngii polysaccharide [J]. Edib Fungi Chin, 2020, 39(4): 46–48.
- [27] Tan W, Yu K, Liu Y, *et al.* Anti-fatigue activity of polysaccharides extract from radix rehmanniae preparata [J]. Int J Biol Macromol, 2012, 50(1): 59–62.
- [28] Guo R, Qi B. Protective effect of polysaccharides from cortex eucommiae on exhaustive exercise-induced oxidative stress in mice [J]. Biomed Res,

- 2015, 26(2): 375–379
- [29] 王亚雯, 辛中豪, 高蔚娜, 等. 植物来源化合物抗疲劳作用研究进展[J]. 军事医学, 2016, 40(12): 1009–1012.
- Wang YW, Xin ZH, Gao WN, *et al.* Advances in research on anti-fatigue effect of phyto-chemicals [J]. Milit Med, 2016, 40(12): 1009–1012.
- [30] Juan H. Research progress of anti-fatigue functional ingredients from plants [J]. Food Nutr Chin, 2011, 11: 1–2.
- [31] Zhang L. Free radical scavenging properties and anti-fatigue activities of *Angelica sinensis* polysaccharides [J]. Adv Mater Res, 2015, 1: 1538–1542.
- [32] Droge W. Free Radicals in the physiological control of cell function [J]. Phy Rev, 2002, 82(1): 47–95.
- [33] Wan DU. Domestic and foreign research progress on anti-fatigue [J]. Pract Prev Med, 2012, 7: 1–2.
- [34] Jin X, Ning Y. Antioxidant and antitumor activities of the polysaccharide from seed cake of *Camellia oleifera* Abel [J]. Int J Bioll Macromol Struct, Funct Interact, 2012, 51(4): 364–368.
- [35] 门红军, 刘立, 谢海泉, 等. 北五味子粗多糖对大鼠自由基代谢的影响[J]. 吉林中医药, 2003, 23(7): 48.
- Men HJ, Liu L, Xie HQ, *et al.* Effect of crude polysaccharide of *Fructus schisandrae* on free radical metabolism in rats [J]. Jilin Chin Med, 2003, 23(7): 48.
- [36] 冯毅翀, 潘华山, 赵自明, 等. 人参皂甙 Rb1 和人参总皂甙对运动性疲劳大鼠骨骼肌生化指标的影响[J]. 南京体育学院学报, 2010, 9(1): 24–25.
- Feng YC, Pan HS, Zhao ZM, *et al.* Effects of ginsenoside Rb1 and ginsenoside total on skeletal muscle biochemical parameters in rats with exercise fatigue [J]. J Nanjing Univ Phy, 2010, 9(1): 24–25.
- [37] Rauch HG, Gibson AS, Lambert EV, *et al.* A signalling role for muscle glycogen in the regulation of pace during prolonged exercise [J]. Brit J Sport Med, 2005, 39(1): 34–38.
- [38] Ortenblad N, Westerblad H, Nielsen J, *et al.* Muscle glycogen stores and fatigue [J]. J Physiol, 2013, 591(18): 4405–4413.
- [39] Cheng AJ, Willis SJ, Zimmer C, *et al.* Post-exercise recovery of contractile function and endurance in humans and mice is accelerated by heating and slowed by cooling skeletal muscle [J]. J Physiol, 2017, 595(24): 7413–7426.
- [40] Ortenblad N, Westerblad H, Nielsen J, *et al.* Muscle glycogen stores and fatigue [J]. J Physiol, 2013, 591(18): 4405–4413.
- [41] 周亮, 李香华, 皮亦华, 等. 人参皂甙 Rg1 对大鼠运动过程中糖代谢的影响[J]. 中国临床康复, 2005, 9(39): 115–117.
- Zhou L, Li XH, Pi YH, *et al.* Effects of ginsenoside Rg1 on glucose metabolism in rats during exercise [J]. Chin J Clin Rehabil, 2005, 9(39): 115–117.
- [42] 吕毓虎, 蒲西安, 程林. 不同运动强度对人体血乳酸的影响[J]. 四川体育科学, 2014, 33(4): 33–35.
- Lv YH, Pu XA, Cheng L. Effect of different workload on the blood lactate concentration in man [J]. Sichuan Sport Sci, 2014, 33(4): 33–35.
- [43] 骆芷寒, 彭博, 王禹蒙, 等. 芫根提取液抗疲劳作用的实验研究[J]. 西部医学, 2020, 32(5): 652–656.
- Luo ZH, Peng B, Wng YM, *et al.* Study on the anti-fatigue effect of *Brassica rapa* L. extract [J]. Med J West Chin, 2020, 32(5): 652–656.
- [44] Millet GY, Bachasson D, Temesi J, *et al.* Potential interests and limits of magnetic and electrical stimulation techniques to assess neuromuscular fatigue [J]. Neuromus Disord, 2012, 1: 2–9.
- [45] Loebel M, Grabowski P, Heidecke H, *et al.* Antibodies to β -adrenergic and muscarinic cholinergic receptors in patients with chronic fatigue syndrome [J]. Brain Behavi Immun, 2015, 52: 32–39.
- [46] 包大鹏. 运动性疲劳脑功能变化的 fMRI 研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2012.
- Bao DP. FMRI study of brain function changes in exercise fatigue [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2012.
- [47] Levitis DA, Lidicker WZ, Freund G. Behavioral biologists don't agree on what constitutes behaviour [J]. Anim Behav, 2009, 78(1): 103–110.
- [48] 王雪峰. 金针菇支链氨基酸对运动中中枢性疲劳的影响[J]. 中国食用菌, 2020, 39(5): 60–62.
- Wang XF. Effects of branched chain amino acids of flammulina velutipes on exercise central fatigue [J]. Edib Fung Chin, 2020, 39(5): 60–62.
- [49] Ataka S, Tanaka M, Nozaki S, *et al.* Effects of oral administration of caffeine and D-ribose on mental fatigue [J]. Nutrition, 2008, 24(3): 233–238.
- [50] Scholey A, Ossoukhova A, Owen L, *et al.* Effects of American ginseng(*Panax quinquefolius*) on neurocognitive function: An acute, randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study [J]. Psychopharmacology, 2010, 212(3): 345–356.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介

闫勇江, 硕士, 主要研究方向为体育教育工作。

E-mail: liqirong934113@126.com