

运动营养食品及其功能性成分研究进展

孟佳珩, 侯建鹏*

(黑龙江中医药大学体育教研部, 哈尔滨 150040)

摘 要: 为减轻运动损伤、促进运动恢复、提高运动成绩, 以补充身体能量、缓解运动疲劳为主要目的的运动营养食品备受关注, 成为真正实现健康生活方式一个不可缺少的方面。本文系统综述了国内外运动营养食品及功能成分研究进展, 最后对其发展前景作出展望, 为公众了解运动营养食品知识提供有益帮助, 以期以运动营养食品行业长线研发投资、体育运动产业发展提供理论支持与引导。

关键词: 运动营养食品; 功能成分; 研究进展

Research progress of sports nutrition food and its functional components

MENG Jia-Heng, HOU Jian-Peng*

(Department of Physical Education and Research, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: In order to reduce sports injuries, promote sports recovery and improve athletic performance, sports nutritious food with the main purpose of replenishing body energy and relieving exercise fatigue has attracted much attention and becomes an indispensable aspect of realizing healthy lifestyles. This paper systematically reviewed the research progress of sports nutritious food and its functional components at home and abroad, and finally prospected the development prospect, which was expected to provide useful help for the public to understand the knowledge of sports nutritious food, and provide theoretical support and guidance for the long-term R&D investment of sports nutritious food industry and the development of sports industry.

KEY WORDS: sports nutrition food; functional component; research progress

1 引 言

我国体育事业现已步入新的发展阶段, 正在为加快建设体育强国而努力。自 2016 年发布《“健康中国 2030”规划纲要》^[1]以来, 又相继发布《国民营养计划(2017-2030 年)》及《全民健身指南》等^[2]。随着民众健康理念的转变及对更高生活方式的追求, 体育运动由最初的专业竞技体育向“大众体育”“全民运动”转变。然而, 在体育运动过程中、后期, 机体一般会出现明显的运动性疲劳, 易处于营养“亏损”状态, 长期下去则可能对机体造成不可逆转的损伤。消除运动

性疲劳的一个有效途径是及时补充营养, 让身体机能恢复正常。因此, 以增强运动能力与提高体能为目标的各种运动营养学科与运动营养食品应运而生。本文主要对近年来运动营养食品现状加以总结, 着重介绍其中一些功能性成分研究, 以期对未来运动营养食品的开发提供理论依据与思路。

2 运动营养食品

2.1 运动营养食品定义、分类

运动是影响健康的重要因素, 饮食作为一个特殊的

基金项目: 黑龙江省自然基金项目(JJ2019LH1827)

Fund: Supported by Natural Fund of Heilongjiang Province (JJ2019LH1827)

*通讯作者: 侯建鹏, 硕士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为运动生理学与运动养生。E-mail: d62166@163.com

*Corresponding author: HOU Jian-Peng, Master, Associate Professor, Department of Physical Education and Research, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin 150040, China. E-mail: d62166@163.com

因素在其中作用独特^[3], 运动营养食品是基于运动营养科学, 结合生物科技等现代化手段开发的一种特殊功能性食品^[4]以补充机体在运动时的能量消耗为目的, 不同于普通食品与保健品。目前, 国内外也已开发出包括饮料、片剂、能量棒、胶囊等形式多样的运动营养食品。我国于 2015 年发布的 GB 24154-2015《食品安全国家标准 运动营养食品通则》^[5]中对其定义为:“为满足运动人群(指每周参加体育锻炼 3 次及以上、每次持续时间 30 min 及以上、每次运动强度达到中等及以上的人群)的生理代谢状态、运动能力及对某些营养成分的特殊需求而专门加工的食品”。根据能量与蛋白质等不同需求可分为: 补充能量类、控制能量类、补充蛋白质类, 针对不同运动项目特殊需求分为: 速度力量类、耐力类、运动后恢复类, 并且不同类运动营养食品所含的特征功效成分有所差异。

2.2 国内外运动营养食品研究现状

在竞技体育与全民体育的大背景下, 运动营养食品研究成为了热点话题。就运动营养食品发展时间而言, 国外运动食品起步早且发展迅速, 从 1938 年第一代功能饮料“Lucozade”的出现到上千个品种的运动营养食品, 由运动员专用食品到大众功能食品^[6]。目前, 运动营养食品已成为食品行业中最年轻且成长最为迅速的产业, 保持了较高的增长率。据报道, 2001~2004 年, 运动营养品和减肥产品每年平均增长 10%^[7], 全球营养品巨头康宝莱 2010 年销售额高达 43 亿美元^[8]; 在美国 2014 年美国运动营养品市场总值达到 48.72 亿美元, 主要包括能量补给饮料、蛋白粉、肌酸、微量元素补剂(维生素、矿物质、电解质)、能量棒等产品。此外, 百事可乐的“佳得乐”有着 40 多年历史, 占美国运动饮料市场的 85%^[9]。在欧洲, 2014 年运动营养食品的市场销售额突破了 40 亿欧元, 年消费量增长了 17%, 越来越多的运动人员使用运动营养食品来提高运动能力; 欧美国家运动营养食品的功能主要包括补充能量、控制能量、补充蛋白质、维生素和矿物质、增强免疫功能、抗御疾病感染、抗氧化、增进关节健康、改善中枢神经系统等。从全球市场看, 预测 2020 年运动营养食品市场总额将达到 336 亿美元, 从 2015 年到 2020 年的年复合增长率高达 7%, 其中 2020 年亚太地区所占份额将会达到 24%^[10]。

我国的运动营养及运动营养食品研究在 20 世纪 90 年代初开始兴起, 起步相比国外较晚。最早的运动营养食品类型为运动功能饮料, 从之前的健力宝、红牛, 到如今的运动饮料脉动、怡冠、康有利等主打品牌的问世, 都见证了中国运动型饮料的成长。根据文献报道, 2010 年运动营养食品在中国的销售额已高达 75 亿元人民币。运动饮料是一种功能性软饮料, 它添加了能满足运动人群所需要的营养素, 可以为机体快速补充水分、电解质和能量^[11]。据估算, 2010 年涵盖专业运动营养食品、运动饮料及概念饮料在内的运动营养食品市场, 已达 50 亿元规模, 其中专业运

动营养食品规模高达 10 亿元^[12], 在短时间内实现了从引进产品到自主研发生产的跨越, 行业平均年增长率在 50% 以上。从产品形式创新上看, 我国运动营养食品种类单一, 缺乏创新性。虽然我国生产运动营养产品的企业多达上千个, 但专门从事运动营养食品研发和生产的企业所占有的市场主要集中在专业运动员和健身俱乐部等, 远远满足不了向非运动消费人群扩展的运动营养食品市场需要, 就当前国内运动群体比例的升高及在相关技术方面的加大投入, 在未来发展中, 运动营养食品产业仍具有较大发展空间与广阔的市场潜力^[13,14]。

3 运动营养食品中的功能性成分

运动营养食品主要是依靠其中含有或人为添加的功效成分来有效缓解运动前、中、后机体出现的损伤或运动型疲劳。目前, 运动营养食品种类繁多, 其中功能性成分的组成、类别也复杂多变。运动营养食品的功能作用包括保护关节损伤、增强力量及改善肌肉、抗疲劳、提高免疫机能等。本文将对几种类型的运动营养食品中具有代表性的功效成分进行介绍。

3.1 保护关节类的功能成分

保护型运动营养食品的主要作用是维持关节健康与减少因过度运动而造成的关节损伤, 其主要功能因子包括必需脂肪酸、泛酸、维生素、钙、水解蛋白酶、氨基葡萄糖、软骨素、甲磺酰甲烷、S-腺苷甲硫氨酸、胶原质和大豆异黄酮等^[15]。

关节软骨组织主要是由胶原蛋白构成, 胶原蛋白负责构造软骨组织的框架并将其定型, 因此补充适量高质量的水解胶原质, 可以维持人体自身软骨组织的功能, 保护关节免于受损。研究表明, 每日摄入 10 g 左右的水解胶原质可减轻膝或髋部骨关节病患者的疼痛, 并且分子量为 3000 Da 左右的产品更有利于人体吸收^[16]。另外, 硫酸软骨素在关节中具有润滑和支撑作用, 以硫酸软骨素或氨基葡萄糖为主要成分的运动营养食品, 如 Chondroitin Sulfate, Osteo Joint Care, More Free, Nutrajoint, ARTHx 等, 可作为膳食补充剂用于保护关节, 并且硫酸软骨素推荐输入量为 1500 mg/d^[17]。大豆异黄酮除了可用于组织修复、增肌塑形以外, 在抗疲劳活性研究方面也有一定作用, 有文献指出大豆异黄酮显著延长小鼠游泳力竭时间, 增加血清游离脂肪酸含量, 降低血乳酸和尿素氮, 具有缓解体力运动疲劳的功效^[18]。

3.2 增强力量、改善肌肉类的功能成分

在这一类运动营养食品中, 主要富含 2 大类功能物质: 蛋白质与氨基酸类物质, 促进肌肉生长并增强肌肉收缩能力的物质, 如肌酸、铬、硼、维生素 C 和锌等。

3.2.1 蛋白质或蛋白质水解物

按特征营养素分类, 蛋白质占比很大, 蛋白质不仅能够满足机体组织生长与修复需求, 还可提供能量, 因此运动人群的总体蛋白质需要量大大增加。在市场上乳清蛋白和大豆蛋白更多应用于运动营养食品, 作为一种高营养价值的蛋白质, 乳清蛋白富含亮氨酸等支链氨基酸以及其他必需氨基酸、功能肽、抗氧化成分和免疫球蛋白, 可减少肌肉酸痛, 加快运动性损伤的修复^[19], 可以提高合成速率、增加肌肉的质量和力量^[20]。有文献表明, 乳清蛋白比酪蛋白能更好地刺激骨骼肌蛋白质合成^[21], 比大豆蛋白更有利于体重增加^[22]; 同时乳清蛋白能够预防运动训练引起的细胞免疫功能失衡, 增加血清球蛋白在机体的储备, 减轻剧烈运动后的免疫应激反应, 从而激发运动员更佳的运动状态^[23]; 冯晓慧等^[24]研究证实, 在运动员训练期间适当补充乳清蛋白及氨基酸类等能量物质, 可显著改善运动员的运动能力(包括有氧和无氧), 加速修复疲劳。

此外, 牛磺酸是人体条件性必需氨基酸, 是一种促进肌肉快速增长的运动营养补剂, 发挥生理作用的方式与胰岛素类似, 能够抑制肌蛋白的分解, 使肌肉变得更大、更强壮, 并且对维护膜结构的稳定、调节渗透平衡及防止细胞膜脂质过氧化反应方面具有较大作用^[25]。目前, 市场上牛磺酸主要作为运动饮料的功能物质, 并添加钙、镁、钾等矿物质成分。

3.2.2 肌酸及维生素 C

在 GB 24154-2015 中, 肌酸是速度力量类运动营养食品的必需添加成分, 适用于短跑、跳高、举重、健美及力量机械等人群使用的运动营养食品。肌酸从 1993 年开始进入竞技体育界, 1994 年成为最流行的能力增强剂, 1995 年传入我国^[26], 它又称甲胍乙酸, 是三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)合成的原料物质, 能为肌肉进行快速、爆发动作提供能量补充, 内源性肌酸在肝脏和肾脏中由精氨酸、蛋氨酸和甘氨酸合成, 外源性肌酸可从食物的肉和内脏中获得, 肌酸以磷酸肌酸的形式存储在肌肉中^[27]。近年来的研究发现, 补充肌酸主要是为了增强短时间、高强度、反复运动时的运动能力, 肌酸的增力机制包括: 增加骨骼肌磷酸肌酸储存和磷酸肌酸再合成, 减少肌肉损伤, 减小对无氧糖酵解的依赖, 降低乳酸产生^[28,29]。研究表明, 短时间补充肌酸可以使磷酸肌酸的储存增加, 磷酸肌酸向二磷酸腺苷(adenosine diphosphate, ADP)提供高能磷酸键, 形成 ATP, 可维持高强度运动时的 ATP 水平并促进反复高强度运动的间歇期磷酸肌酸的再合成, 因此, 补充肌酸对短时间(小于 30 s)、间歇性、高强度、抗阻性运动有增力作用^[30], 能够使肌肉的收缩能力以及单次冲刺能力增加。除此以外, 长时间补充肌酸可以明显地增加力量、短跑的能力和去脂体重^[26]。有研究建议, 在正常膳食情况下, 每天可以补充 5 g 肌酸, 同时配合抗阻力训练^[31,32], 可以增肌

增力, 对于耐力性、速度型运动有益处。

运动过程中会导致维生素的大量消耗, 因而在运动前后也应注意此类物质的及时补充, 维生素 C 有清除自由基的作用, 可减少自由基对机体的伤害, 延缓疲劳的发生^[32]。研究表明, 适量的牛磺酸和肌醇, 可以促进蛋白质的合成, 防止蛋白质的分解, 调节新陈代谢, 加速消除疲劳等^[8]。

3.3 抗疲劳及增免疫类的功能因子

用于缓解机体中枢或外周神经及因疲劳造成的生理功能衰退的运动营养食品配方种类繁多, 除了早有报道的多肽类物质, 最新研究证实中药类制剂、植物活性物质对修复、缓解运动性疲劳也有正向作用。对于中药类物质, 一般采用补法^[33-35], 研究表明, 中药营养补剂副作用小且分级明显, 能够对机体运动生理状态进行整体调节与提高, 兼具抗疲劳、抗氧化、增免疫等功效。我国中药历史悠久、博大精深, 具有良好的市场接受度与研发前景^[36-38]。在外国文献中也有提到中药的相关作用, 如 Hassanlouci 等^[39]证实中药可以降低机体运动后血乳酸堆积水平以及血清乳酸脱氢酶水平, 加快消除血乳酸; Mashhadi 等^[40]通过运动干预实验表明肉桂、生姜中药也能显著提高运动能力。且植物活性物质, 包括多糖类、黄酮类、皂苷、色素、多酚类等物质被发现具有抗运动性疲劳功能, 可应用于运动营养食品。

在增强专业运动员及普通大众免疫功能的运动营养食品中, 通常含有大蒜素、谷氨酰胺、肌苷、绿藻、虫草、锌、硒等^[41]。从天然食物中寻找抗氧化、提高免疫水平的物质是近年来很活跃的一个研究领域, 其中大蒜素能明显提高淋巴细胞的转化率, 使中枢淋巴器官和外周淋巴器官增殖, 增强细胞免疫功能; 香菇多糖是一种非特异性免疫增强剂和免疫激活剂, 可以通过多种途径提高机体的免疫功能, 且无副作用; 螺旋藻中特有的藻蓝蛋白, 也能够提高淋巴细胞活性, 增强人体免疫力^[42]。

3.4 新型功能性成分

随着我国经济实力的日益增强, 大型体育赛事的举办及健康运动意识的普及, 现今涉足运动营养食品行业的科研机构与生产企业越来越多, 研究不断深入, 已有更多、更新的功能性物质正被应用于运动营养食品的研发, 产品新资源或成分正向天然、安全、绿色的趋势不断丰富。其一, 最新研究证实发酵类食品具有运动营养食品的功能^[43], 因为食物发酵后, 可产生一些原来食物中本身不存在的新物质, 从中发现有潜力的活性成分, 成为运动营养食品的新资源。比如大米糠等发酵食品或提取物有改善运动能力的作用^[44]; 黑米糠即黑米的外壳, 参照中国运动员膳食营养素推荐量^[45], 通过对黑米糠中 10 种运动营养成分的分析证实, 其是一种优质的运动营养食品原料, 具有抗氧化、抗疲劳、提高免疫力等生物活性, 市场潜力相当可观^[46]。目

前,有关黑米糠运动功效的研究方向多集中于花青苷,金丽琴等^[47,48]通过实验表明,其能够显著提高组织缺氧的耐受性及组织免疫力,具有一定抗疲劳能力,可作为潜在的耐力型营养补品原料。

其二,从海洋生物中寻找、提取活性物质。作为广泛存在于藻类、虾类、蟹类、鱼类、贝类以及多种动植物中的类胡萝卜素的含氧衍生物,虾青素能够有效消除细胞氧自由基,抗氧化活性强于胡萝卜素^[49]。此外,研究发现口服虾青素还能够显著降低小鼠体内血乳酸水平,降低血浆游离脂肪酸与血糖的消耗,从而提高其运动能力^[50]。

4 结论与展望

在运动营养食品产业,我国既有发展也有挑战,比如市场上产品质量参差不齐;过分夸大产品功效,导致公众认知错误、不能科学看待;缺乏专业、标准的评价体系证实最新开发的功能因子;监管欠缺,需完善相关标准法规条例。鉴于行业发展背景,首先应对产品营养、功效、安全给予重视,注重产品定位,形成良性产业链;其次利用已知功效成分优化产品配方;最后需完善运动营养健康服务体系平台,以制度与立法为先,规范食品安全风险评估工作。

参考文献

- [1] 李蓉,李军.中美国家健康战略比较研究-基于《“健康中国2030”规划纲要》和《健康国民2020》文本[J].南京体育学院学报(社会科学版),2017,(1):42-47.
Li R, Li J. The comparative study of national health strategies between China and America-based on the text of *outline of "Healthy China 2030"* and *Healthy People 2020* [J]. J Nanjing Inst Phys Edu (Soc Sci Ed), 2017, (1): 42-47.
- [2] 武阳阳.“运动营养食品”调查报告[J].食品安全导刊,2017,(34):60-61.
Wu YY. Investigation report on "sports nutrition food" [J]. China Food Saf Magaz, 2017, (34): 60-61.
- [3] 史绍蓉,余玲.大学运动健康(理论)[M].北京:高等教育出版社,2006.
Shi SR, Yu L. College sports health (theory) [M]. Beijing: Higher Education Publisher, 2006.
- [4] 薛庆利,薛山.体育运动食品功效作用机制及市场动态分析[J].闽南师范大学学报(自然科学版),2016,(1):97-102.
Xue QL, Xue S. Analysis on the action mechanism of nutrition function and the market dynamic status of sports food [J]. J Minnan Normal Univ (Nat Sci Ed), 2016, (1): 97-102.
- [5] 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 [S].
- [6] 姜立芹,陈利梅,李德茂.运动营养食品研究进展及其发展建议[J].农产食品科技,2009,(3):56-57.
Jiang LQ, Chen LM, Li DM. Research progress and suggestions for sports nutrition food [J]. Agric Food Prod Sci Technol, 2009, (3): 56-57.
- [7] 朱灵光.中国运动营养学的研究现状[J].内江科技,2012,(11):13.
Zhu LG. Research status of sports nutrition in China [J]. Neijiang Sci Technol, 2012, (11): 13.
- [8] 全球营养品巨头康宝莱 2010 年销售额达 43 亿美元[N].南方日报,2011.
Global nutrition giant Contreasure 2010 sales of \$4.3 billion [N]. Nan Fang Daily, 2011.
- [9] 魏振承,张名位,唐小俊,等.运动营养食品的现状与发展趋势[J].广东农业科学,2012,39(22):234-236.
Wei ZC, Zhang MW, Tang XJ, et al. Current status and development trends of sports foods [J]. Guangdong Agric Sci, 2012, 39(22): 234-236.
- [10] 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,(14):214-216.
Ma YX, Zhang MW, Wei ZC, et al. Current status and development trends of sports foods [J]. Food Res Dev, 2017, (14): 214-216.
- [11] GB/T 15266-2009 运动饮料[S].
GB/T 15266-2009 Energy drink [S].
- [12] 李文波.运动营养食品及其功能性成分进展[J].湖北体育科技,2010,29(5):536-537.
Li WB. The progress of food coinponents on sports nutrition and function [J]. Hubei Sports Sci Technol, 2010, 29(5): 536-537.
- [13] 贾亚光.我国保健食品-市场现状与发展预想[J].现代保健,2004,(10):12-16.
Jia YG. Present situation and development prospect of health food market in China [J]. Mod Health, 2004, (10): 12-16.
- [14] 王丽平,林淑英.我国保健食品行业的发展历程与展望[J].今日药学,2006,16(1):1-3.
Wang LP, Lin SY. Development course and prospect of health food industry in China [J]. Pharm Today, 2006, 16(1): 1-3.
- [15] 何轶,秦丹.运动食品及其研究现状[J].中国食物与营养,2007,(12):46-48.
He Y, Qin D. Sports food and its research status [J]. Food Nutr China, 2007, (12): 46-48.
- [16] 王正平.水解胶原质,一种增强骨健康、改善皮肤保湿性能的功能添加剂[J].中国食品工业,2007,(5):48-49.
Wang ZP. Hydrolyzed collagen, a functional additive that enhances bone health and improves skin moisturizing performance [J]. China Food Ind, 2007, (5): 48-49.
- [17] 荣晓花.硫酸软骨素在药品和保健食品中的应用[J].食品与药品,2004,6(1):18-19.
Rong XH. Application of chondroitin sulfate in medicine and health food [J]. Food Drugs, 2004, 6(1): 18-19.
- [18] 邓炳楠,金宏,李培兵,等.大豆异黄酮对游泳小鼠抗疲劳能力的影响[J].营养学报,2012,34(1):55-57,63.
Deng BN, Jin H, Li PB, et al. Effects of soybean isoflavones on the antifatigue effects in swimming mice [J]. Acta Nutr Sin, 2012, 34(1): 55-57, 63.
- [19] Patel S. Emerging trends in nutraceutical applications of whey protein and

- its derivatives [J]. *J Food Sci Technol-Mysore*, 2015, 52(11): 1–12.
- [20] McLellan TM. Protein supplementation for military personnel: A review of the mechanisms and performance outcomes [J]. *J Nutr*, 2013, 143(11): 1820–1833.
- [21] Pennings B, Boirie Y, Senden JM, *et al.* Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men [J]. *Am J Clin Nutr*, 2011, 93(5): 997–1005.
- [22] Volek JS, Volk BM, Ana LG, *et al.* Whey protein supplementation during resistance training augments lean body mass [J]. *J Am Coll Nutr*, 2013, 32(2): 122–135.
- [23] 施东华, 崔顾芳. 乳清蛋白在运动膳食干预中的作用[J]. 科学技术创新, 2013, (16): 135–135.
- Shi DH, Cui GF. The effect of whey protein in the exercise of dietary intervention [J]. *Sci Technol Innov*, 2013, (16): 135–135.
- [24] 冯晓慧, 蔡东联. 乳清蛋白在临床营养中的应用[J]. 氨基酸和生物资源, 2010, 32(2): 55–58, 62.
- Feng XH, Cai DL. The application of whey protein in clinical nutrition [J]. *Amino Acids Biotic Res*, 2010, 32(2): 55–58, 62.
- [25] Kanter MM. Free radicals, exercise and antioxidant supplementation [J]. *Int J Sport Nutr*, 1994, (4): 205–206.
- [26] 袁卫涛, 杨海军, 李庆华. 运动营养食品配料与人体健康[J]. 发酵科技通讯, 2005, (4): 21–25.
- Yuan WT, Yang HJ, Li QH. Sports nutrition food ingredients and human health [J]. *Bull Ferment Sci Technol*, 2005, (4): 21–25.
- [27] 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.
- 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.
- [28] Branch JD. Effect of creatine supplementation on body composition and performance: A meta-analysis [J]. *Int J Sport Nutr Exe*, 2003, 13(2): 198–226.
- [29] Rawson ES, Venezia AC. Use of creatine in the elderly and evidence for effects on cognitive function in young and old [J]. *Amino Acids*, 2011, 40(5): 1349–1362.
- [30] Twycross-Lewis R, Kilduff LP, Wang G, *et al.* The effects of creatine supplementation on thermoregulation and physical (cognitive) performance: A review and future prospects [J]. *Amino Acids*, 2016, 48(8): 1843–1855.
- [31] Devries MC, Phillips SM. Creatine supplementation during resistance training in older adults: A meta-analysis [J]. *Med Sci Sports Exe*, 2014, 46(6): 1194–1203.
- [32] Candow DG, Chilibeck PD, Forbes SC. Creatine supplementation and aging musculoskeletal health [J]. *Endocrine*, 2014, 45(3): 354–361.
- [33] 田诗彬, 陈万, 高丽, 等. 复方中药对运动疲劳后不同时相大鼠骨骼肌自由基代谢和运动能力的影响[J]. 西安体育学院学报, 2013, (4): 453–458.
- Tian SB, Chen W, Gao L, *et al.* The effects of Chinese herb on free radical metabolism and exhaustive running ability of rat during different recovery time courses after fatigue [J]. *J Xi'an Phys Edu Univ*, 2013, (4): 453–458.
- [34] 郝玉洁. 益气生津中药制剂对大鼠游泳运动能力及其糖代谢影响的研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2010.
- Hao YJ. Study on the effect of Yiqi Shengjin traditional Chinese medicine preparation on swimming ability and glucose metabolism in rats [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2010.
- [35] 刘叶红. 益气生津中药对力竭运动大鼠脑红蛋白和自由基代谢的影响[D]. 北京: 北京体育大学, 2010.
- Liu YH. Effect of Yiqi Shengjin traditional Chinese medicine on brain red protein and free radical metabolism in exhaustive exercise rats [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2010.
- [36] 顿耀山, 石月, 彭晓庐, 等. 中药运动营养补剂作用机制的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 415–423.
- Dun YS, Shi Y, Peng XL, *et al.* Action mechanisms of sports nutrition supplements with Chinese medicinal herbs [J]. *Food Sci*, 2013, 34(15): 415–423.
- [37] Gacche RN, Shaikh RU, Chapole SM, *et al.* Kinetics of inhibition of monoamine oxidase using *Cymbopogon martinii* (Roxb.) wats: A potential antidepressant herbal ingredient with antioxidant activity [J]. *Indian J Clin Biochem*, 2011, 26(3): 303–308.
- [38] 石磊, 廉西娟, 樊小力, 等. 运动营养补剂对尾部悬吊大鼠比目鱼肌梭内、外肌纤维 mATP 酶活性的影响[J]. 北京体育大学学报, 2006, 29(6): 802–803.
- Shi L, Lian XJ, Fan XL, *et al.* Research on effects of cordyceps sinensis in activities of myosin adenosine triphosphatase in rats soleus muscle after tailsuspension [J]. *J Beijing Sport Univ*, 2006, 29(6): 802–803.
- [39] Hassanlouei H, Arendt-Nielsen L, Kersting UG, *et al.* Effect of exercise-induced fatigue on postural control of the knee [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2012, 22(3): 342–347.
- [40] Mashhadi NS, Ghiasvand R, Hariri M, *et al.* Effect of ginger and cinnamon intake on oxidative stress and exercise performance and body composition in Iranian female [J]. *Int J Prev Med*, 2013, 4(11): 31–35.
- [41] 杨则宜. 国内外运动营养食品发展现状和趋势[J]. 食品工业科技, 2004, 25(5): 10–14.
- Yang ZY. Development status and trend of sports nutrition food at home and abroad [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2004, 25(5): 10–14.
- [42] 包巍. 增强免疫力的 12 种食物(上)[J]. 家庭医学月刊, 2008, (11): 46.
- Bao W. 12 kinds of foods that enhance immunity (I) [J]. *Mon J Fam Med*, 2008, (11): 46.
- [43] 朱继元. 天然酵素在运动食品中的应用及市场前景分析[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(18): 209–211.
- Zhu JY. The sports food application and market prospects analysis of natural enzymes [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(18): 209–211.
- [44] Kim KM, Yu KW, Kang DH, *et al.* Anti-stress and anti-fatigue effect of fermented rice bran [J]. *Phytother Res*, 2002, 16(7): 700–702.
- [45] 张钧, 张蕴琨. 运动营养学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- Zhang J, Zhang YK. *Sports nutriology* [M]. Beijing: Higher Education Publisher, 2010.

[46] 邓文辉. 黑米糠用于运动食品开发的价值探讨及展望[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(9): 70–72.

Deng WH. Research prospects of black rice bran used in sports nutrition products [J]. Food Nutr China, 2013, 19(9): 70–72.

[47] 金丽琴, 刘明达, 吕建新, 等. 黑米花色苷对大鼠组织器官功能的影响[J]. 中国生化药物杂志, 2012, 33(1): 16–19.

Jin LQ, Liu MD, Lv JX, *et al.* Effects of black rice anthocyanin on organs in rats [J]. Chin J Biochem Pharm, 2012, 33(1): 16–19.

[48] 胡秋林. 黑米色素药理动物实验研究报告[J]. 武汉食品工业学院学报, 1997, (3): 10–12.

Hu QL. A research report on the pharmacologic test of black-rice pigment [J]. J Wuhan Food Ind Coll, 1997, (3): 10–12.

[49] Pan CH, Chien YH, Hunter BT. Rcistanceto ammonias monndon fabricius juvenile fed diets supplemented astaxanthin [J]. J Exp Marine Biol Ecol, 2003, 297(35): 107–118.

[50] Richard P, Shin P, Beeson T, *et al.* Quality and cost of diabetes mellitus

care in community health centers in the United States [J]. PLoS One, 2015, 12(10): e0144075.

(责任编辑: 苏笑芳)

作者简介

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

侯建鹏, 硕士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为运动生理学与运动养生。
E-mail: d62166@163.com