

运动营养食品及其抗疲劳活性成分研究进展

康 鹏¹, 李国薇², 马宏祥³, 李香云⁴, 宋宇轩⁵, 葛武鹏^{1*}

[1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 杨凌 712100; 2. 富平县检验检测中心(陕西省羊乳产品质量监督检验中心), 富平 711700; 3. 陕西红星美羚乳业股份有限公司, 富平 711700; 4. 陕西秦龙乳业集团有限公司, 西安 710000; 5. 西北农林科技大学动物科技学院, 杨凌 712100]

摘 要: 缓解疲劳的关键在于保证机体运动水平, 科学合理膳食与运动营养补充是主要途径。随着我国全民健康运动的兴起, 运动人群不断增长, 具有补充机体能量、减轻运动疲劳等作用的运动营养食品逐渐受到人们关注和重视, 成为实现健康生活方式不可或缺的一个方面。目前, 我国运动营养食品标准日趋完善, 市场份额逐年增长, 产业愈发成熟, 发展前景十分乐观。本文从运动营养食品的定义及分类出发, 系统阐述运动营养食品及其抗疲劳活性成分的国内外研究现状, 并对其未来发展趋势做出展望, 以期推动抗疲劳功能性运动食品的科学研究与开发, 为普通大众了解运动营养食品、科学选择运动营养食品提供参考依据。

关键词: 运动营养食品; 抗疲劳; 活性成分

Research progress of sports nutrition food and its anti-fatigue bioactive components

KANG Peng¹, LI Guo-Wei², MA Hong-Xiang³, LI Xiang-Yun⁴, SONG Yu-Xuan⁵, GE Wu-Peng^{1*}

[1. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Fuping County Inspection and Testing Center (Shaanxi Sheep Milk Product Quality Supervision and Inspection Center), Fuping 711700, China; 3. Shaanxi Hongxing Meiling Dairy Co., Ltd., Fuping 711700, China; 4. Shaanxi Qinlong Dairy Industry Co., Ltd., Xi'an 710000, China; 5. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China]

ABSTRACT: The key to alleviating fatigue is to ensure the body's exercise level, scientific and reasonable diet and sports nutrition supplement are the main ways. With the rise of national health sports in my country, and the number of people who exercise continues to grow, sports nutritional foods that can replenish body energy and reduce exercise fatigue have gradually attracted people's attention and attention, and become an indispensable aspect of achieving a healthy lifestyle. At present, the standards of sports nutrition food in our country are improving day by day, and the market share is increasing year by year, and the industry is becoming more mature, and the development prospects are very optimistic. Starting from the definition and classification of sports nutrition foods, and this article systematically expounded the current research status of sports nutrition foods and its anti-fatigue bioactive components at home and abroad, and prospected for their future development trends. It is expected to promote the scientific research and application development of anti-fatigue functional sports foods, and provide a reference for the general public to understand sports nutrition foods and scientifically select sports nutrition foods.

基金项目: 西北农林科技大学金昌奶绵羊试验示范基地建设项目(A289021806)、陕西省重点研发计划项目(2021ZDLNY02-09)

Fund: Supported by the Jinchang Dairy Sheep Experimental Demonstration Base Construction Project of Northwest A & F University (A289021806), and the Shaanxi Province Key Research and Development Project Plan (2021ZDLNY02-09)

***通信作者:** 葛武鹏, 教授, 主要研究方向为乳制品加工与营养健康。E-mail: josephge@nwfufu.edu.cn

***Corresponding author:** GE Wu-Peng, Professor, College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China. E-mail: josephge@nwfufu.edu.cn

KEY WORDS: sports nutrition food; anti-fatigue; bioactive components

0 引言

随着新时代“健康中国”战略的提出和《全民健身计划(2021—2025年)》的发布,国民营养健康意识显著增强,运动健身已经是社会大众日常生活中的重要组成部分^[1]。然而,在运动过程的后期,机体一般会处于营养“亏损”状态,易出现显著的运动性疲劳。持续性或重度疲劳不仅会影响人们的正常生活,还会导致认知功能下降,甚至出现器质性疾病,威胁身体健康^[2]。运动营养食品可以迅速、有效地改善机体体质,及时补充身体所需营养物质,为运动训练提供能量,快速改善身体疲劳、恢复能力^[3]。因此,以增强运动能力、缓解身体疲劳的运动营养食品应运而生,研发运动营养食品具有巨大的市场潜力和经济效益。

早在 20 世纪 30 年代,国外已对运动营养食品进行研究;到了 40 年代时期,成立了第一家专门为运动员提供运动营养食品的公司,标志着运动营养食品首次进入市场;20 世纪 60 年代第一款运动饮料进入市场^[4]。相比较国外,我国在运动营养食品产业上的起步明显落后于欧美国家,20 世纪 50 年代后期,运动营养才作为一个学科在国内诞生;直至 1984 年,“健力宝”运动饮料的推出,才标志着国内运动营养食品市场的兴起^[5]。虽然全球运动营养食品产业起步较早,在我国的发展也较为迅速,但长期以来,关于运动营养食品的研究和开发一直局限在提升特殊人群的运动水平上^[6]。

随着近年来居民生活水平的提升和健康观念的转变,“运动+营养”的新型生活方式越来越被人们所推崇,运动营养食品的目标群体也从最早的专业运动员覆盖到普通人群,功能性食品逐渐走入人们的生活,不同种类及功能的运动营养食品也逐渐面向大众市场^[7]。但是,运动营养食品缺乏配方设计、一些产品口感较差、不够大众化等问题依然存在^[7]。因此,本文主要对近年来运动营养食品的国内外研究现状进行总结展望,同时重点概述其中具有抗疲劳作用的活性成分,并提出运动营养食品发展亟待改善的研究领域,旨在为运动营养食品的研究开发提供理论依据。

1 运动营养食品

1.1 运动营养食品的定义

运动营养食品是以运动营养科学为基础,结合现代生物科技等方法开发的一种功能性特殊食品,不同于普通食品与保健品,其主要目的在于补充人体运动时所需的营养

物质及辅助缓解运动后疲劳的现象^[8]。2015 年,国家卫计委发布的 GB 24154—2015《食品安全国家标准 运动营养食品通则》中对运动营养食品做出如下定义: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。由此可见,我国对于运动营养食品的界定十分严格,这在一定程度上说明了运动营养食品的特殊性。

1.2 运动营养食品的分类

国内外对于运动营养食品的分类各不相同,但大部分是根据人群对运动营养食品的需求来分类的。欧盟根据产品类别将运动营养食品分为运动饮料、运动食品和运动补充剂,加拿大根据消费人群将运动营养食品分为运动人群使用(健美人群、运动员和业余运动人群)和非运动人群使用,美国对运动营养食品的分类则较为详细,分为能量饮料、减重代餐、运动营养补剂、低碳水食物等类别^[8-10]。我国发布的 GB 24154—2015 中则针对运动营养食品提出了两种不同的分类方法:一是根据特殊营养素分类,分为能量补充食品、蛋白质补充食品、能量控制食品;二是根据运动项目分类,分为速度力量类、耐力类和运动后恢复类。显而易见,这两种分类方式并不能完全涵盖目前市场上所有的运动营养食品,尤其是根据运动项目分类的方式,因大多数运动营养食品具有多种功能性而无法完全区别由此便会产生运动营养食品的研究和利用不足、产品种类缺乏等问题^[10]。从 21 世纪后开始,我国运动营养健康产品逐渐向大众延伸,与诸多欧美国家相比,虽然远远晚于他们,但是发展速度非常快^[11]。根据相关调查研究显示,每年与运动营养食品相关的企业以 50% 的增长率持续增加^[12]。但是,国内运动营养食品市场中的产品种类较为缺乏,目前仍以蛋白粉类和饮料类食品较多,且缺少专业研发及生产运动营养食品的企业^[13]。因此,针对我国目前的运动营养食品市场现状和行业的未来前景,按照特殊营养素分类较为合理。

1.3 运动营养食品的国内外研究现状

目前,国内外已开发出包括饮料、片剂、能量棒、胶囊等种类多样的运动营养食品。其中饮料主要有白茅根金银花饮料、囊荷桑葚复合饮料、黑米红枣运动饮料等产品,均表现出可以延长小鼠负重游泳时间、提高糖原贮备量、降低血清尿素氮含量和血乳酸水平等作用,达到提高运动耐力和身体机能、增加糖原储备的目的,发挥一定的抗疲劳作用^[14-16]。徐磊等^[17]通过对实验小鼠进行灌

胃胡柚宝片剂发现, 胡柚宝片剂能明显延长小鼠负重游泳时间及爬竿时间, 并呈剂量依赖性; 能明显增强小鼠的抗疲劳能力, 且无明显的毒副作用, 小鼠急性毒性实验测定最大给药量为 96 g/kg(生药量 400 g/kg)。能量棒如白藜芦醇能量棒, 也是通过减少运动过程中的组织损伤, 从而提高运动员的身体机能^[18]。胶囊产品如柚子籽油微胶囊、大株红景天胶囊和复方玛咖胶囊等, 它们都能延长小鼠负重游泳时间和转棒式疲劳仪时间, 降低小鼠游泳后血乳酸水平、丙二醛水平和血清尿素氮含量, 升高超氧化物歧化酶活性, 具有缓解体力疲劳的作用^[19-21]。虽然目前国内运动营养食品种类已经多达 3 万多种, 企业已经超过 400 多家, 但就运动营养食品发展时间而言, 国外运动营养食品行业起步早且发展迅速^[22]。从 1938 年第一代功能饮料“Lucozade”的出现到上千个品牌的诞生, 由运动员专用食品到大众功能食品, 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^[22]。据报道, 2017—2020 年全球运动营养产品市场规模复合年均增长率为 11%, 2020 年达到 155 亿美元的市场规模。从全球各区域的市场情况来看, 北美市场 2020 年贡献 105 亿美元, 高居榜首, 同时市场表现前三的地区均为全球主要发达国家聚集地; 亚太市场 2020 年市场规模 10.81 亿美元, 主要份额来自日本、印度和中国; 无论是从产品份额, 还是从消费体量来看, 美国都在主导着全球的运动营养品产业^[8]。但如今对运动营养食品需求的扩大已经成为了一个全球化的趋势, 尤其是在户外运动、健身人口极高的欧洲, 运动营养产品出现了迅猛的发展; 同时, 考虑到亚太地区人口密集, 经济发展快速, 未来该区域市场增长潜力巨大^[23]。

我国的运动营养食品研究在 20 世纪 60 年代初开始兴起, 起步相比国外较晚。从初期的健力宝、红牛、尖叫, 到如今健乐多、康比特、美瑞克斯等的问世, 都见证了我国运动营养市场的成长^[6]。根据报道, 2018 年我国运动营养市场整体规模为 3.29 亿美元, 在过去的 5 年中, 产业零售额的复合年均增长率高达 40%, 未来 5 年, 这一数据仍可达到 24%, 远高于全球运动营养行业的 11%, 预计 2023 年, 中国市场规模可达 8.59 亿美元^[23]。但从产品形式上来看, 由于我国运动营养食品的市场起步较晚, 国内产品研发创新能力不足, 产品种类较少, 专门从事运动营养食品研发和生产的的企业所面对的市场需求主要集中在专业运动员和健身俱乐部, 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^[24]。同时, 相关部门也未针对运动营养食品出台相应的准入和安全标准, 大部分运动营养食品的安全标准仍以普通食品标准执行, 导致国内市场较为混乱。在未来发展中, 运动营养食品产业仍具有较大的发展空间与广阔的市场潜力^[24]。

2 运动营养食品中的抗疲劳活性成分研究

研究表明, 运动营养食品主要是依靠其中含有或人为添加的功效组分来有效缓解运动前、中、后期身体出现的损伤或运动性疲劳^[25]。目前, 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丰富多样, 应用在配方中的食源性抗疲劳活性成分种类繁多。除了早期报道的生物活性肽及氨基酸类物质, 最新研究证实中药类制剂和多糖、维生素、多酚、生物碱、类胡萝卜素以及皂苷类等天然活性物质对修复机体损伤、缓解运动性疲劳也有一定作用^[25]。

2.1 食源性生物活性肽

食源性的生物活性肽主要是蛋白质经酶、酸或碱作用后的水解产物, 或者直接从富含活性肽的天然动植物组织中提取得到^[26]。近年来, 科学家研究发现, 小分子肽作为蛋白质的功能活性片段, 具有比蛋白质和氨基酸更易人体消化、吸收和利用的优点, 以完整的形式直接进入小肠后被吸收进入循环系统, 为全身提供营养和能量, 从而发挥抗疲劳作用^[27]。动植物是抗疲劳生物活性肽的主要来源, 包括海洋动物、乳、大豆和花生等(见表 1)。

2.2 食源性氨基酸类物质

人体内的氨基酸在人体运动时能够提供能量。因此, 在运动时及时、科学、适量地补充氨基酸, 对于缓减运动疲劳有重要作用。近年来研究发现支链氨基酸、牛磺酸、精氨酸、谷氨酰胺等都具有一定的抗运动疲劳作用。支链氨基酸包括亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸, 尤其是亮氨酸, 通过增加蛋白质合成的速度和降低蛋白质在静息状态下的降解速度, 有助于运动后肌肉的加速恢复^[37]。刘诚^[38]发现姬松茸支链氨基酸能够增加小鼠肌肉耐力, 降低血清中的乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)活力和血清尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)含量, 有助于减缓肌肉疲劳, 加速运动疲劳恢复, 但在减少全血乳酸(blood lactic acid, BLA)的生成和积累方面效果不显著。TSUDA 等^[39]比较了大鼠运动前 30 min 急性补充 3 种支链氨基酸对其游泳 1 h 后的代谢相关指标的影响, 发现只有补充缬氨酸可以有效地维持肝糖原和血糖, 增加大鼠运动后的自发活动, 表明缬氨酸有助于减轻运动过程中的疲劳程度。牛磺酸是一种非蛋白质氨基酸, 它主要分布于视网膜、中性粒细胞、神经元以及心脏和骨骼肌中, 对于细胞内氧化还原稳态和肌肉功能具有重要的调节作用, 对于运动后疲劳的缓解也有一定的作用^[40]。研究表明, 氨基酸类化合物在抗疲劳作用方面主要是氨基酸在糖类代谢途径中发挥着重要作用, 为机体的重要组成成分蛋白质提供了合成原料^[41]。因此, 运动营养食品中添加氨基酸类物质可能是通过影响机体糖代谢而发挥抗疲劳作用。

表 1 食源性抗疲劳生物活性肽研究
Table 1 Study on food-derived anti-fatigue bioactive peptides

来源	名称	实验对象	作用机制	功能	文献
动物	牦牛血低聚肽	H9c2 心肌细胞及小鼠	细胞存活率增加且存在剂量依赖性; 能延长小鼠负重游泳时间, 提高运动后小鼠肝糖原含量, 降低运动后小鼠血乳酸水平和血清尿素氮含量	对缺氧介导的心肌细胞损伤具有一定的保护作用, 能提高小鼠的抗疲劳能力	[28]
	牡蛎多肽	小鼠	显著延长小鼠力竭游泳时间, 呈剂量依赖关系; 血乳酸、血清尿素氮水平显著降低, 超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性以及肝糖原和肌糖原含量均显著升高	可调节肠道菌群丰度, 维持其平衡; 可预防运动性疲劳引起的肝脏损伤, 具有抗疲劳作用	[29]
	带鱼肽	小鼠	能延长小鼠负重游泳时间, 血乳酸、血清尿素氮、肌酸激酶和丙二醛含量降低; 糖原含量和抗氧化酶活性增加, 可提高小鼠粪便中短链脂肪酸含量, 疲劳指标与抗氧化水平和短链脂肪酸含量显著相关	通过缓解疲劳改善运动性能	[30]
	乳清多肽	小鼠	明显延长小鼠负重游泳时间, 乳酸脱氢酶活力、肝糖原水平均显著增加, 运动后血乳酸及血清尿素氮水平明显降低	具有抗疲劳作用	[31]
	酪蛋白水解肽	小鼠	延长小鼠负重游泳时间, 血乳酸、血清尿素氮含量降低, 肝糖原含量提高	延缓疲劳的产生, 显示出一定的抗疲劳作用	[32]
	紫苏种子肽	小鼠	小鼠肌肉系数和肌纤维厚度明显增加, 血乳酸、血清尿素氮和肌酐水平降低, 肝糖原和肌糖原含量提高	有效促进肌肉合成, 改善肌肉力量, 改善运动疲劳, 提高运动耐力	[33]
植物	豌豆肽	小鼠	显著增加负重游泳时间, 明显降低血乳酸、血清尿素氮水平, 显著提高肝糖原和肌糖原含量, 提高胰岛素水平和乳酸脱氢酶活性, 可提高小鼠吞噬细胞活性、刺激分泌型免疫球蛋白分泌和降低促炎细胞因子	抑制自由基诱导的体内氧化, 提高机体的免疫功能, 促进胰岛素分泌, 具有较强的抗疲劳作用	[34]
	花生肽	小鼠	显著延长小鼠负重游泳时间, 提高乳酸脱氢酶活性, 降低运动后小鼠血乳酸含量, 提高肌糖原储备, 提高心肌超氧化物歧化酶活力	一定程度上改善机体抗氧化活性, 具有显著的抗疲劳效用	[35]
	大豆肽	小鼠	能提高小鼠骨骼肌超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活力, 降低丙二醛含量, 抑制琥珀酸脱氢酶活性, 降低血清中肌酸激酶活性	阻止生物膜的脂质过氧化, 减少骨骼肌的损伤, 增强机体的抗氧化能力, 达到抗疲劳效果	[36]

2.3 中药类物质

研究表明, 中药类营养补充剂具有分级明显且副作用小的优点, 能够对机体的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。我国中药文化历史久远、博大精深, 具有很好的市场接受度与研发前景, 有些中成药可以帮助缓解疲劳的症状, 如何首乌、灵芝、黄芪、人参等, 能补中益气、抗疲劳^[42-44]。现代医学研究证实, 何首乌的主要成分是萜醌化合物、卵磷脂、粗脂肪、碳水化合物、维生素和矿物质等, 营养物质十分丰富, 对缓解人体疲劳有一定的功效, 并且研究人员还从中提取出具有抗衰老作用的物质, 能延长细胞寿命, 增强机体损伤修复能力, 提高人体抗氧化酶系活性, 降低血液中有害过氧化脂质的含量, 提高机体的运动能力。灵芝对人体而言具有清除体内自由基、平衡体内代谢的功能, 对缓

解人体的疲劳状态有很好的作用^[44-46]。国外文献也有相关报道, 如 HASSANLOUE 等^[47]证实中药可以降低机体运动后血乳酸堆积水平和 LDH 活性, 加快消除血乳酸; MASHHADI 等^[48]通过运动干预实验表明肉桂、生姜中药也能显著提高机体的运动能力。

2.4 植物类活性物质

近年来许多植物活性物质如多糖类、色素类、黄酮类、多酚类等被发现同样具有抗疲劳功能, 可添加于运动营养食品中。植物活性物质的添加, 能够有效提高运动营养食品的功能性, 将人体运动过后产生的含氮物质分解, 进而使得机体内肌糖原、肝糖原得以提高, 降低机体运动后的血乳酸含量以及血尿素氮含量, 增加血清游离脂肪酸含量, 有效提高机体的运动耐力, 提高运动营养食品的抗疲劳效果^[49-50], 食源性植物类活性物质抗疲劳功能相关研究见表 2。

表 2 食源性植物类活性物质抗疲劳功能研究
Table 2 Study on the anti-fatigue function of food-derived plant active substances

名称	来源	实验对象	作用机制	功能	文献
多糖	板栗、沙枣、党参、玉木耳	小鼠	延长小鼠负重游泳时间, 降低运动后血乳酸和血尿素氮的含量, 提高肌糖原、肝糖原的含量, 显著增加肝脏指数、脾脏指数和胸腺指数, 提高超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性	可减慢小鼠体内含氮物质分解速度, 有效改善机体对运动负荷的压力, 可降低机体自由基水平、缓解机体氧化应激水平, 具有明显的抗疲劳作用	[51-54]
色素	红枣、甜菜、栀子、黑果枸杞	小鼠	显著延长小鼠力竭游泳时间, 增加运动后血糖、肝糖原含量, 显著降低运动后血乳酸、丙二醛、血清尿素氮含量, 提高体内抗氧化酶系的功能活性	可减少代谢产物的产生和积累, 提高内源性抗氧化酶活力, 增加能源物质储备, 减缓疲劳的发生, 同时证明抗氧化能力越强, 抗疲劳作用越明显	[55-58]
黄酮	水飞蓟果托、辣木叶、大豆、沙棘	小鼠	显著延长负重游泳时间, 降低小鼠运动后的血乳酸、血尿素氮含量, 提高乳酸脱氢酶活性和肝糖原、肌糖原含量, 增加血清游离脂肪酸含量; 心肌和骨骼肌肌间宽度略窄, 肌肉纤维断裂有所减少	清除小鼠血液中的部分代谢废物、提高酶活性和提高糖原储备等方面延缓小鼠疲劳的产生, 保护因疲劳造成的骨骼肌和心肌损伤	[59-62]
多酚	茶、短梗五加、芡实种皮、玫瑰花	小鼠	可显著延长小鼠游泳力竭时间, 明显增加体内肝糖原、肌糖原含量与乳酸脱氢酶活力, 并有效降低尿素氮、丙二醛和乳酸浓度水平	提高机体运动耐力, 延迟疲劳的出现, 具有抗疲劳和提高耐缺氧能力的作用	[63-66]

3 食源性抗疲劳活性成分在运动营养食品中的应用

研究表明, 在增强专业运动员及普通大众运动能力的运动营养食品中, 通常含有谷氨酰胺、肌苷、锌、硒等物质。从天然食物中寻找抗疲劳、提高机体免疫水平的物质, 并合理添加至运动营养食品中, 是近年来很活跃的一个研究领域^[8]。目前市面上已开发的“甘蔚乐”产品里就有氨基酸、玉米低聚肽、黄精多糖和黑茶茶多酚等食源性抗疲劳功能成分, “甘蔚乐”能够使小鼠负重游泳时间显著延长, 提高肝糖原、肌糖原含量和降低血乳酸、血清尿素氮含量, 有较好的抗疲劳效果^[67]。尤伟^[68]通过人类志愿者高原运动实验证实, 一种富含红景天提取物的运动食品具有有效的抗高原疲劳功效, 使得实验组学生运动时间、运动距离优于对照组学生, 实验组学生的超氧化物歧化酶活力、总抗氧化能力、谷胱甘肽过氧化物酶活力、丙二醛含量、睾酮含量显著优于对照组学生, 具有提高机体运动能力的作用。

4 总结及展望

随着我国运动营养食品市场规模的逐渐扩大, 未来运动营养食品的研究会更加深入。但相比于国外, 国内运动营养食品产业的发展仍存在问题: (1)我国在运动营养食品的研究和开发上创新能力不足, 产品种类较少, 且同质化严重; (2)关于运动营养食品的法律法规不够健全, 产品种类划分不够明确, 导致市场较为混乱; (3)现今运动营养食品的配方基本上是以 1 种活性成分为主、其他活性

成分为辅的 3 种以上活性成分组成, 这种配方方式的有效性、科学性及其抗疲劳机制亟待研究证实。因此, 未来我国运动营养食品需要对药食同源和新资源食品目录中一些富含功能性活性成分的食品进行研究, 筛选出可以合理添加于运动营养食品的功能因子。同时, 在新产品的开发中应更加注重配方创新、功效提升等方面, 针对不同人群开发更为细致化甚至定制化的个性化产品, 以满足逐渐细分的市场需求。

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] 刘源源, 刘军, 邹宇晓, 等. 抗疲劳功能食品检测评价研究进展及新思路[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 209-213.
LIU YY, LIU J, ZOU YX, et al. Research progress and new methods of detection and evaluation in anti-fatigue functional food [J]. Food Res Dev, 2016, 37(2): 209-213.
- [3] BERENS AV, ROGER AF, GUSTAFSSON T, et al. Effect of exercise and nutritional supplementation on health-related quality of life and mood in older adults: The VIVE2 randomized controlled trial [J]. BMC Geriatr, 2018, 18(1): 286.
- [4] KERKSICK CM, WILBORN CD, ROBERTS MD, et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendations [J]. J Int Soc Sports Nutr, 2018, 15(1): 38.
- [5] 孟素荷, 蔡木易, 杨则宜, 等. 运动营养产业行业发展报告[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 64-66, 68, 70, 72.

- MENG SH, CAI MY, YANG ZY, *et al.* Sports nutrition industry development report [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2011, 32(6): 64–66, 68, 70, 72.
- [6] 白厚增. 中国运动营养食品产业发展研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2013.
- BAI HZ. Research on the development of sports nutrition food industry in China [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2013.
- [7] 王文军. 运动营养食品的现状和未来发展探讨[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(6): 1411–1415.
- WANG WJ. Current status and future development of sports nutrition food [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(6): 1411–1415.
- [8] MARTA AJ, SUNENEGRE JM, PILAR PL, *et al.* Trends in the food and sports nutrition industry: A review [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2020, 60(14): 2405–2421.
- [9] 白厚增. 国内外运动营养食品产业发展趋势与法规保障[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 14–16, 18.
- BAI HZ. Development trend and legal guarantee of sports nutrition food industry at home and abroad [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2013, 34(6): 14–16, 18.
- [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): 205–207.
- MA YX, ZHANG MW, WEI ZC, *et al.* Current status and trend of sports nutrition food [J]. *Food Res Dev*, 2017, (14): 205–207.
- [11] 杨则宜. 全球运动营养食品的发展趋势[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 24–25.
- YANG ZY. The development trend of global sports nutrition food [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2015, 36(24): 24–25.
- [12] 邓陶陶, 焦颖, 李奇庚, 等. 运动营养食品产业现状和未来发展[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(2): 90–94.
- DENG TT, JIAO Y, LI QG, *et al.* Current status and future development of sports nutrition food industry [J]. *Chin J Food Hyg*, 2018, 30(2): 90–94.
- [13] 王思. 运动营养食品的研究现状与发展趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 5007–5012.
- WANG S. Research status and development trend of sports nutritional food [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(15): 5007–5012.
- [14] 王章凤, 薛君学, 钟伟航, 等. 白茅根金银花抗疲劳凉茶饮料的研制[J]. 饮料工业, 2020, 23(5): 34–36.
- WANG ZF, XUE JX, ZHONG WH, *et al.* Study on the antifatigue beverage with citronella root & honeysuckle [J]. *Beverage Ind*, 2020, 23(5): 34–36.
- [15] 马识淳, 韩伟. 襄荷桑葚复合饮料研制及其抗运动疲劳作用研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(8): 67–75.
- MA SC, HAN W. Development of Xianghe mulberry compound beverage and its anti-sports fatigue effect [J]. *Chin Food Addit*, 2021, 32(8): 67–75.
- [16] 刘春萍, 马垚. 黑米红枣运动饮料的研制及其抗疲劳功能的研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(8): 110–114.
- LIU CP, MA Y. Development of a sports drink with black rice and red dates and its anti-fatigue function [J]. *J Cere Oils*, 2021, 34(8): 110–114.
- [17] 徐磊, 宋洁, 柳君君, 等. 胡柚宝片剂对小鼠的抗疲劳作用及其急性毒性研究[J]. 中国中医药科技, 2014, 21(4): 382–384.
- XU L, SONG J, LIU JJ, *et al.* Anti-fatigue effect and acute toxicity of Huyoubao tablets in mice [J]. *Chin J Trad Med Sci Technol*, 2014, 21(4): 382–384.
- [18] 郭瑞. 白藜芦醇抗疲劳作用及其机理研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(24): 174–179.
- GUO R. Effect and mechanism of resveratrol for anti-fatigue [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(24): 174–179.
- [19] 刘金生, 房磊, 赵锦锦. 柚子籽油微胶囊对中长跑运动员无氧阈及运动成绩的影响[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(4): 81–85.
- LIU JS, FANG L, ZHAO JJ. The effect of grapefruit seed oil microcapsules on anaerobic threshold and athletic performance of middle and long distance runners [J]. *Food Ferment Technol*, 2021, 57(4): 81–85.
- [20] 王艺博, 肖智勇, 周文霞, 等. 大株红景天胶囊对小鼠抗疲劳作用研究[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2019, 33(10): 871–872.
- WANG YB, XIAO ZY, ZHOU WX, *et al.* Anti-fatigue effect of Dazhu Rhodiola capsules on mice [J]. *Chin J Pharmacol Toxicol*, 2019, 33(10): 871–872.
- [21] 杨小洁, 方路, 曹东. 复方玛咖胶囊对小鼠抗疲劳作用的影响[J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(11): 5468–5469.
- YANG XJ, FANG L, CAO D. Effects of compound maca capsules on anti-fatigue effects in mice [J]. *Chin J Tradit Chin Med Pharm*, 2019, 34(11): 5468–5469.
- [22] 谢凯. 运动营养食品的市场现状、趋势与发展对策[J]. 食品与机械, 2021, 37(6): 229–232.
- XIE K. Market situation, trend and development strategy of sports nutrition food [J]. *Food Mach*, 2021, 37(6): 229–232.
- [23] 程飞. 运动营养食品产业发展建议[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 556.
- CHENG F. Suggestions for the development of sports nutrition food industry [J]. *Food Ind*, 2021, 42(4): 556.
- [24] 韩玲. 运动营养食品的研究现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7771–7776.
- HAN L. Research status of sports nutrition food [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(21): 7771–7776.
- [25] 孟佳珩, 侯建鹏. 运动营养食品及其功能性成分研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 5001–5006.
- MENG JH, HOU JP. Research progress of sports nutrition food and its functional components [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(15): 5001–5006.
- [26] CHAKRABARTI S, GUHA S, MAJUMDER K. Food-derived bioactive peptides in human health: Challenges and opportunities [J]. *Nutrients*, 2018, 10(11): 1738.
- [27] WANG PX, WANG DH, HU JM, *et al.* Natural bioactive peptides to beat exercise-induced fatigue: A review [J]. *Food Biosci*, 2021, 43: 101298.
- [28] 肖岚, 李诚, 杜昕, 等. 牦牛血低聚肽对小鼠抗疲劳能力和缺氧 H9c2 细胞的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(4): 831–838.
- XIAO L, LI C, DU X, *et al.* Effects of yak blood oligopeptides on anti-fatigue ability and hypoxic H9c2 cells in mice [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2020, 34(4): 831–838.
- [29] XIAO MF, LIN L, CHEN HP, *et al.* Anti-fatigue property of the oyster polypeptide fraction and its effect on gut microbiota in mice [J]. *Food Funct*, 2020, 10. DOI: 10.1039/D0FO01713B
- [30] PWA B, HZBC D, SLB C, *et al.* Anti-fatigue activities of hairtail (*Trichiurus lepturus*) hydrolysate in an endurance swimming mice model [J]. *J Funct Foods*, 2020, 74. DOI: 10.1016/j.jff.2020.104207
- [31] 刘小杰, 张潇旖, 王春华. 乳清多肽复合粉对运动小鼠抗疲劳作用研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 119–123.
- LIU XJ, ZHANG XY, WANG CH. Study on the anti-fatigue effect of

- whey polypeptide compound powder on exercise mice [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(15): 119–123.
- [32] 兰会会, 胡志和, 庞广昌. 添加酪蛋白水解肽乳粉的抗疲劳作用研究 [J]. *食品科学*, 2012, 33(19): 278–281.
LAN HH, HU ZH, PANG GC. Study on the anti-fatigue effect of casein hydrolyzed peptide milk powder [J]. *Food Sci*, 2012, 33(19): 278–281.
- [33] LIU YX, LI DH, WEI Y, *et al.* Hydrolyzed peptides from purple perilla (*Perilla frutescens* L. Britt.) seeds improve muscle synthesis and exercise performance in mice [J]. *J Food Bioch*, 2020, 44(11). DOI: 10.1111/jfbc.13461
- [34] FENG T, HUANG YY, TANG ZH, *et al.* Anti-fatigue effects of pea (*Pisum sativum* L.) peptides prepared by compound protease [J]. *J Food Sci Technol*, 2021, 58(6): 2265–2272.
- [35] 于晓晨, 李臻, 胡佳妮, 等. 花生肽对小鼠的抗疲劳作用研究 [J]. *中国食物与营养*, 2021, 27(4): 63–67.
YU XC, LI Z, HU JN, *et al.* Study on anti-fatigue effect of peanut peptide on mice [J]. *Food Nutr China*, 2021, 27(4): 63–67.
- [36] 李明亮, 尹曼, 凌空, 等. 大豆肽和小麦肽抗疲劳功能的实验研究 [J]. *食品科技*, 2019, 44(9): 303–307.
LI ML, YIN M, LING K, *et al.* Experimental study on the anti-fatigue function of soybean peptide and wheat peptide [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(9): 303–307.
- [37] MOHAMMAD FA, LAILA M, ZAINALABIDEN AA. Effects of oral branched-chain amino acids (BCAAs) intake on muscular and central fatigue during an incremental exercise [J]. *J Hum Kinet*, 2020, 72: 69–78.
- [38] 刘诚. 姬松茸支链氨基酸的抗运动疲劳作用 [J]. *中国食用菌*, 2020, 39(2): 61–63.
LIU C. Antifatigue and exercise effects of branched chain amino acids in *Agaricus blazei* [J]. *Chin Edible Fungus*, 2020, 39(2): 61–63.
- [39] TSUDA Y, IWASAWA K, YAMAGUCHI M. Acute supplementation of valine reduces fatigue during swimming exercise in rats [J]. *Biosci Biotech Bioch*, 2018, 82(5): 856–861.
- [40] SEIDEL U, HUEBBE P, RIMBACH G. Taurine: A regulator of cellular redox-homeostasis and skeletal muscle function [J]. *Molecul Nutr Food Res*, 2018, 63(16): 1800569–1800582.
- [41] COQUEIRO AY, ROGERO MM, TIRAPEGUI J. Glutamine as an anti-fatigue amino acid in sports nutrition [J]. *Nutrients*, 2019, 11(4): 863.
- [42] 田诗彬, 陈万, 高丽, 等. 复方中药对运动疲劳后不同时间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 Educ Univ*, 2013, (4): 453–458.
- [43] 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 YiqiShengjin traditional Chinese medicine preparation on swimming ability and glucose metabolism in rats [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2010.
- [44] 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 YiqiShengjin traditional Chinese medicine on brain red protein and free radical metabolism in exhaustive exercise rats [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2010.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] HASSANLOUEI H, ARENDT-N L, KERSTING UG, *et al.* Effect of exercise-induced fatigue on postural control of the knee [J]. *J Electromyogr Kines*, 2012, 22(3): 342–347.
- [48] 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.
- [49] CUI XW, WANG SY, CAO H, *et al.* A review: The bioactivities and pharmacological applications of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides [J]. *Molecules*, 2018, 23(5): 1170.
- [50] YAN N, DU YM, LIU XM, *et al.* Morphological characteristics, nutrients, and bioactive compounds of *Zizania latifolia*, and health benefits of its seeds [J]. *Molecules*, 2018, 23(7): 1561.
- [51] 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.
- [52] 丁玉松, 王忠, 马儒林, 等. 沙枣多糖抗疲劳作用及其机制的研究 [J]. *食品科学*, 2010, 31(11): 255–257.
DING YS, WANG Z, MA RL, *et al.* Anti-fatigue effect and mechanism of polysaccharides from *Eleagnus angustifolius* L [J]. *Food Sci*, 2010, 31(11): 255–257.
- [53] 程艺, 张彦响, 黄婷, 等. 党参多糖对运动力竭小鼠疲劳的影响 [J]. *中国老年学杂志*, 2021, 41(16): 3498–3501.
CHENG Y, ZHANG YY, HUANG T, *et al.* The effect of *Codonopsis pilosula* polysaccharide on the fatigue of exhausted mice [J]. *Chin J Gerontol*, 2021, 41(16): 3498–3501.
- [54] 任广泉, 许志凌云, 刘金秋, 等. 玉木耳多糖对小鼠的抗疲劳作用 [J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 148–152.
REN GQ, XU ZLY, LIU JQ, *et al.* Anti-fatigue effect of jade fungus polysaccharide on mice [J]. *Food Mach*, 2021, 37(7): 148–152.
- [55] 韩娅婷, 李帆, 邵佩兰, 等. 红枣色素缓解小鼠疲劳作用研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2018, (4): 87–92.
HAN YT, LI F, SHAO PL, *et al.* Study on the effect of red date pigment on alleviating fatigue in mice [J]. *China Food Addit*, 2018, (4): 87–92.
- [56] 郝秀梅. 甜菜红色素的分离纯化及抗氧化与抗疲劳活性的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
HAO XM. Study on the extraction and purification of betalain and its anti-oxidant and anti-fatigue function [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2011.
- [57] 李茂星, 王先敏, 毛婷, 等. 栀子黄色素对模拟高原缺氧小鼠运动性疲劳的改善作用 [J]. *解放军药理学学报*, 2017, 33(1): 28–32.
LI MX, WANG XM, MAO T, *et al.* Improving effect of sub-yellow

- pigment on exercise-induced fatigue in simulated high altitude hypoxia mice [J]. *Pharm J Chin People's Lib Army*, 2017, 33(1): 28–32.
- [58] 古丽达娜, 贾琦珍, 陶大勇, 等. 黑果枸杞色素对小鼠常压耐缺氧及游泳耐力的影响[J]. *时珍国医国药*, 2009, 20(11): 2682–2683.
- GU LDN, JIA QZ, TAO DY, *et al.* Effects of *Lyciu mruthenicum* pigment on normal pressure hypoxia tolerance and swimming endurance in mice [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2009, 20(11): 2682–2683.
- [59] 王奇, 冯大志, 查恩辉, 等. 水飞蓟果托黄酮对小鼠抗疲劳功效的研究[J]. *食品科技*, 2021, 46(7): 229–234.
- WANG Q, FENG DZ, CHA ENH, *et al.* Anti-fatigue effect of total flavonoids from *Silybum marianum* L. fruit receptacle in mice [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(7): 229–234.
- [60] 李欣. 辣木叶黄酮对缓解小鼠运动性疲劳的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(8): 38–43.
- LI X. Effect of moringa leaf flavonoids on relieving exercise fatigue in mice [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(8): 38–43.
- [61] 王永成. 大豆异黄酮对游泳大鼠能量代谢和抗氧化功能的影响[J]. *基因组学与应用生物学*, 2019, 38(12): 5732–5737.
- WANG YC. Effects of soy isoflavones on energy metabolism and antioxidant function in swimming rats [J]. *Genom Appl Biol*, 2019, 38(12): 5732–5737.
- [62] 王玉, 刘琦, 耿杰. 沙棘黄酮的分离纯化及其抗运动性疲劳作用[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(23): 169–174.
- WANG Y, LIU Q, GENG J. Isolation and purification of seabuckthorn flavonoids and their anti-exercise fatigue effects [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2020, 41(23): 169–174.
- [63] 王婧. 茶多酚对健美操运动员抗疲劳作用研究[J]. *福建茶叶*, 2020, 42(8): 44–45.
- WANG J. Research on the anti-fatigue effect of tea polyphenols on aerobic athletes [J]. *Fujian Tea*, 2020, 42(8): 44–45.
- [64] 刘琦. 大孔树脂对短梗五加多酚的纯化效果及多酚的抗疲劳作用研究[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(4): 171–177.
- LIU Q. Study on the purification of polyphenols extract from *Acanthopanax sessiliflorus* by macroporous resin and its anti-fatigue effect [J]. *Storage Process*, 2020, 20(4): 171–177.
- [65] 陈蓉, 吴启南. 芡实种皮多酚抗疲劳耐缺氧作用研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 31–35.
- CHEN R, WU QN. Effect of semen euryales seed coat polyphenols on anti-fatigue and hypoxia tolerance [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2015, 36(24): 31–35.
- [66] 马依努尔·拜克力, 陈君, 阿吉艾克拜尔·艾萨. 玫瑰花多酚抗小鼠躯体疲劳研究[J]. *中国药理学通报*, 2015, 31(3): 441–442.
- MAYINUER BKL, CHEN J, AJIAIKEBAIER AISA. Study on the anti-fatigue effect of rose flower polyphenols in mice [J]. *Chin Pharmacol Bull*, 2015, 31(3): 441–442.
- [67] 童敏, 龚莉, 张逸. 甘蔚乐对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. *中南药学*, 2017, 15(4): 440–442.
- TONG M, GONG L, ZHANG Y. Anti-fatigue effect of alcohols on mice [J]. *Cent South Pharm*, 2017, 15(4): 440–442.
- [68] 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.
- YOU W. Research on development of rhodiola sport food and the effect of antifatigue of plateau sport [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(7): 168–171.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



康 鹏, 硕士研究生, 主要研究方向为乳品科学。
E-mail: kangpeng@nwafu.edu.cn



葛武鹏, 教授, 主要研究方向为乳制品加工与营养健康。
E-mail: josephge@nwafu.edu.cn