

抗运动疲劳食源性活性成分的研究进展

朱文军*

(咸阳师范学院体育学院, 咸阳 712025)

摘 要: 运动疲劳是一种当训练和比赛负荷超过机体所承受的能力时, 产生的短暂的生理机能减退的现象。一般包括肌肉疲劳、内脏疲劳和神经疲劳。对于运动员来说, 消除疲劳的方法有整理活动、物理疗法、睡眠、温水浴、营养和药物等。近年来, 食源性活性成分多种多样, 包括活性肽类、氨基酸类、糖类、维生素、生物碱和皂苷类等天然活性产物, 在不同的领域都具有重要的作用, 尤其是在抗运动疲劳中逐渐呈现出经济实惠、治疗多样化且便捷高效的独特优势, 日益受到大众的关注。本文分别以运动疲劳机制和食源性活性成分为基础, 着重对生物活性肽、食源性多酚、萝卜硫素、食源性皂苷类、食源性多糖、黄酮、咖啡碱等食源性活性成分对抗运动疲劳作用进行研究概述, 为在食品领域解决运动疲劳性开拓思路, 为研究具有抗运动疲劳作用的新型的食品提供参考, 进而促进多功能性食品的发展。

关键词: 抗运动疲劳; 食源性; 活性成分

Research progress of food-derived active ingredients for anti-motion fatigue

ZHU Wen-Jun*

(School of Physical Education, Xianyang Normal University, Xianyang 712025, China)

ABSTRACT: Sports fatigue is a phenomenon of short-term physiological decline when the load of training and competition exceeds the capacity of the body, and it generally includes muscle fatigue, visceral fatigue and nerve fatigue. For athletes, the methods to eliminate fatigue include tidying up activities, physical therapy, sleep, warm bath, nutrition and medicine. In recent years, active ingredients from food sources are diverse, including active peptides, amino acids, carbohydrates, vitamins, alkaloids, and saponins and other natural active products, which have important roles in different fields, especially in anti-exercise fatigue, the unique advantages of economy, diversified treatment, convenience and efficiency are gradually presented, and the public is paying more and more attention. This article was based on the mechanism of exercise fatigue and active ingredients from food sources, and focused on the research overview on anti-motion fatigue effect of bioactive peptides, food-derived polyphenols, sulforaphane, food-derived saponins, food-derived polysaccharides, flavonoids, caffeine and other food-derived active ingredients, in order to open up ideas for solving sports fatigue in the food field, and to study anti-motion fatigue effects, providing theoretical basis on new types of food, and then promote the development of multifunctional food.

KEY WORDS: anti-motion fatigue; food-derived; active ingredients

*通信作者: 朱文军, 硕士, 讲师, 主要研究方向为运动营养。E-mail: wangjingwena@outlook.com

*Corresponding author: ZHU Wen-Jun, Master, Lecturer, School of Physical Education, Xianyang Normal University, Xianyang 712025, China. E-mail: wangjingwena@outlook.com

0 引言

运动疲劳是一种因运动本身所引起的机体工作能力短时下降,可以经过适当的休息或调整进而恢复机能的现象,过程极其复杂^[1]。按照疲劳程度,运动疲劳有轻度疲劳和重度疲劳之分,重度疲劳会影响人们的生活和身体健康。按照疲劳产生的部位,运动疲劳可分为脑力疲劳和体力疲劳^[2]。按照疲劳发生的性质,可以分为生理性疲劳、心理性疲劳和病理性疲劳^[3]。根据目前对运动疲劳机制的研究还处于初始阶段,暂时可以归为衰竭学说、疲劳物质的蓄积学说、内环境稳定性失调学说、神经保护性抑制学说、突变学说、窒息学说等^[4]。对于运动疲劳,有多种不同的措施及手段可以减轻或避免,例如营养支持、物理康复、中医疗法、心理康复等。恢复是机体对上一次负荷的适应,进行下一次负荷的前提,因此根据产生运动疲劳的原因不同从而选择不同的恢复方式^[5]。

食源性活性成分一般是指人类可食用的动植物中的多种生物活性成分,如茶叶中的茶多酚、类胡萝卜素、牛肉中的牛磺酸等^[6]。

近年来,国内外均对抗运动疲劳的活性成分进行了大量研究,对开发研究功能性食品奠定了理论基础。根据研究出的具有抗疲劳作用的活性物质,国内外已经研发制造出多种多样的功能性食品^[7]。茶多酚^[8-9]是从茶叶中萃取和提取得到的,在抗氧化、缓解和消除疲劳等方面具有重要的作用。茶多酚可以适当的提高或调整人体的免疫功能,从而使过强的免疫力回归到正常水平,进而维持人体功能的健康稳定性^[10]。类胡萝卜素^[11-15]能够保护人体的正常组织免受免疫系统的不良反应而产生的副作用,形成强大的防御系统,增强自然杀伤活性。人体摄入更多的类胡萝卜素有利于人体健康发展^[16-20]。牛磺酸^[17-20]是一种潜在的促炎症反应调节剂,具有抗氧化作用,能够缓解和降低炎症对机体造成的损伤等。万福生等^[21]通过牛磺酸对小鼠游泳能力的影响,研究了牛磺酸对运动衰竭心肌和心肌线粒体损伤的保护及机制,对医疗保健、体育康复和治疗、竞技运动训练等具有很好的社会效益和经济效益。

本文主要从食源性活性成分、运动疲劳机制及种类、具有抗运动疲劳的食源性活性成分进行综述研究,旨在为深入研究运动疲劳机制及抗运动疲劳的食源性活性成分提供理论依据,对今后筛选及组合各种抗运动疲劳的食源性活性成分具有重要的研究意义,同时为研发生产功能性的食品奠定基础及提供参考。

1 运动疲劳机制及特点研究

产生运动疲劳的机制和原因多种多样,不同的运动方式、不同的运动强度、不同的机体能力所产生的运动疲

劳机制有所不同。运动通过消耗机体物质和能量、堆积乳酸、增多自由基、神经内分泌系统功能下降紊乱从而造成机体阴阳失衡、脏腑功能失调使得运动性疲劳产生^[22]。能量耗竭、代谢产物蓄积、氧化应激作用通过对肌肉和中枢神经系统的影响从而缓解疲劳作用。目前国内外关于运动疲劳机制的学说较多,但参差不齐;其次对于运动疲劳机制的研究比较浅显。但对未来进一步研究运动疲劳机制奠定理论基础,更有利于深入的研究运动疲劳。

不同代谢类型的运动所产生的运动疲劳特点不同。根据相关研究表明,运动疲劳影响因素可以分为内源性和外源性。内因因素包括认知、人格和年龄因素;外源性因素包括社会、比赛训练和项目特点等^[23]。中枢疲劳^[24]和外周疲劳是运动疲劳的 2 种主要形式^[25]。中枢疲劳发生的部位起于大脑,止于脊髓运动神经元。运动过程中体内的一羟色胺、多巴胺、乙酰胆碱、 γ -氨基丁酸、氨(NH₃)等物质水平的变化可影响中枢神经系统的功能,从而导致运动性疲劳的产生。并且某些神经生理及心理因素亦可促使运动性疲劳的产生。主要特点是(1)腺嘌呤核苷三磷酸 ATP 浓度下降,脑中某些氧化酶活性出现抑制;(2)血液中色氨酸和支链氨基酸比值下降,会影响到脑中 5-羟色胺水平上升,造成对大脑的抑制;(3)运动时造成体内氨基酸和嘌呤核苷酸循环加强,增加脑中氨含量增加。运动性外周疲劳机制与能源物质、代谢调节物质、代谢产物和细胞分子水平的形态、功能改变有关。能源物质包括磷酸原、糖、脂肪。腺嘌呤核苷三磷酸(5'-adenylate triphosphate, ATP)、磷酸肌酸(creatine phosphate, CP)是机体进行短时间高强度运动的重要供能物质。运动过程中体内 ATP、CP 的排空可能会导致疲劳的产生。糖(肌糖原、肝糖原、血糖)是人体内最重要的能源物质。脂肪的利用能力是长时间耐力运动中运动能力的重要限制因素^[26]。

针对不同的运动产生的运动疲劳,可以采取不同的措施或方法。例如糖类的补充、抗氧化剂的补充、能源物质的补充^[27-28]、中药的补充、运动饮料的补充^[29-30]。目前,王秋晨等针对运动性疲劳恢复方法进行了研究,包括自我疗法、徒手疗法和器械疗法^[31]、营养疗法、中药疗法、针灸疗法、按摩疗法、心理疗法等^[32]。营养是运动后被消耗物质恢复的物质基础,糖是运动时的主要能源物质。另外,还可以采用用各种方法使肌肉放松,改善肌肉血液循环,加速代谢产物排出及营养物质的补充。如整理活动、水浴、蒸汽浴、桑拿浴、理疗、按摩等;通过调节神经系统机能状态来消除疲劳。如睡眠、气功、心理恢复、放松练习、音乐疗法等;通过补充机体在运动中大量失去的物质,促进疲劳的消除。如吸氧、补充营养物质及利用某些中药来调节身体机能等。

2 抗运动疲劳食源性活性成分研究

运动中产生疲劳的重要因素之一,就是能量供应不

足。运动中各种营养物质消耗增加,运动后及时补充,有助于消除疲劳,恢复体力。因此在运动中适时地补充有关营养物质,既能提高身体的抗疲劳能力,又能帮助运动疲劳的消除。本部分主要针对食源性活性肽、食源性多酚、萝卜硫素、食源性皂苷类、食源性多糖、黄酮、咖啡碱等食源性物质的抗运动疲劳进行了阐述。

2.1 食源性活性肽

食源性肽^[33-36]来源较广,可分为动物源蛋白肽和植物源蛋白肽。蛋白质含量以海洋胶原蛋白最高(92.29%±1.01%),卵白肽最低(80.87%±0.81%)。蛋白质是食源性肽的主要成分,氨基酸是食源性肽的基本组成成分^[37]。

食源性活性肽是从食源性蛋白质中,经过酶解、分离、纯化等制成的新型的蛋白水解产物,能以完整肽的形式被肠道吸收或在肠道与受体结合发挥作用^[38]。另外,食源性活性肽具有抗氧化、抗疲劳、抑制血管紧张素转化酶、抗菌作用、抗癌作用、血管紧张素转化酶(angiotensin converting enzyme, ACE)抑制作用和抗血栓作用。食源性活性肽能够通过为机体提供能量、清除机体内代谢产物和自由基等途径进行抗运动疲劳。多肽比蛋白质更易于吸收利用从而产生机体能量。李福荣等^[39]研究表明生物活性肽能有效清除这些代谢产物,清除机体内自由基,抑制脂质氧化,防止细胞发生结构损伤和功能障碍,从而产生抵抗疲劳的作用。源性免疫活性肽具有无毒、低过敏性、高安全性等优点,食物源蛋白质来源广,易于取材,而免疫活性肽在人类营养健康和疾病调节中发挥着不可替代的作用。

周丽丽等^[40]通过大豆多肽对大强度训练举重运动员肌肉代谢的影响,研究表明服用大豆多肽对运动员肌尿素氮、尿十项指标、体重和脉搏均无明显影响。通过测试 80% 最大负荷后蹲时腿部和腰部肌肉动态肌电信号的变化,可以看出大豆多肽对运动员肌肉工作效率的提高和抗训练疲劳能力有很好的作用。目前,生物活性肽的抗运动疲劳作用已经显而易见,但是需要对其缓解疲劳机制进行深入的研究。

2.2 食源性多酚

多酚^[41-44]是在植物性食物中发现的、具有潜在促进健康作用的化合物。它存在于一些常见的植物性食物,如可可豆、爆米花、茶、大豆、红酒、蔬菜和水果。赋予巧克力独特魅力的成份就是多酚。它是存在于可可豆中的天然成份。与其他食物相比,可可豆中多酚的含量特别高。多酚的抗氧化功能可以对这些慢性病起到预防作用。肖凤艳等^[45]采用短梗五加果多酚提取工艺进行抗疲劳作用研究,表明短梗五加果多酚能显著延长力竭时间,显著增加机体肝糖原、肌糖原含量,明显提高小鼠体内谷胱甘肽过氧化物酶活力,同时降低乳酸和肌酸激酶水平,从而提高抗疲劳能力。因多酚类活性成分的多羟基结构特性,在抗运动

疲劳具有良好的效果,对多酚类抗运动疲劳作用的研究具有重要的研究意义。

2.3 萝卜硫素

萝卜硫素(sulforaphane, SFN)是一种来源于西兰花、芥蓝等十字花科植物的异硫氰酸盐,作为一种间接抗氧化剂能够诱导激活 II 相解毒酶和抗氧化基因,从而具有抗氧化应激、抗炎、抗肿瘤和心血管保护的作用。被认为是截至目前发现的所有天然抗癌物质里,效力最强、效果最好的活性成分^[46]。

萝卜硫素主要分布在十字花科蔬菜中。采用 50、70 和 90 °C 3 种不同温度常压干燥 9 种十字花科蔬菜食用部位,采用高效液相色谱法测定其萝卜硫素含量。结果显示,该 9 种十字花科蔬菜中萝卜硫素含量是芸苔属>萝卜属;芸苔属中青花椰菜萝卜硫素含量最高,为 480 μg/g,花椰菜含量最低为 35.2 μg/g;萝卜属中胡萝卜的萝卜硫素含量最高,为 80.9 μg/g,白萝卜含量最低,为 19.8 μg/g;而在这 3 种不同干燥温度对同一样品处理中,90 °C 烘干样品中萝卜硫素含量最高^[47]。萝卜硫素具有较强的抗氧化作用,也是极其具有潜力的抗疲劳活性物质之一,增强机体运动活力,缓解运动疲劳是否有贡献值得进一步的研究。

2.4 食源性皂苷类

皂苷(saponin),是苷元为三萜或螺旋甾烷类化合物的一类糖苷,主要分布于陆地高等植物中,也少量存在于海星和海参等海洋生物中。许多中草药如人参、远志、桔梗、甘草、知母和柴胡等的主要有效成分都含有皂苷。有些皂苷还具有抗菌的活性或解热、镇静、抗癌等有价值的生物活性^[48]。皂苷按皂苷配基的结构分为 2 类: (1)甾族皂苷。其皂苷配基是螺旋甾烷的衍生物,多由 27 个碳原子所组成(如薯蓣皂苷)。这类皂苷多存在于百合科和薯蓣科植物中。(2)三萜皂苷。其皂苷配基是三萜(见萜)的衍生物,大多由 30 个碳原子组成。三萜皂苷分为四环三萜和五环三萜。有相关研究表明,总皂苷抗运动性疲劳作用可能与其抑制运动氧化应激所致的自由基增加和改善神经元损伤有关。但目前关于皂苷类成分的抗疲劳作用研究比较少,因其中枢神经系统中发挥着重要作用,所以皂苷类成分能够缓解疲劳。但皂苷类与其他成分不同的是,皂苷类既能促进中枢神经,也能抑制其活动。因此,严格控制皂苷类在缓解疲劳作用中的用量极其重要。

2.5 食源性多糖

松茸多糖是松茸的一种提取物,具有非常好的药用价值。松茸多糖的营养成分中含有非常多的氨基酸及人体必需成分,能够快速改善人体机能,从而促进人体的代谢及抗氧化能力。李磊等^[49]针对松茸多糖对运动员体能恢复及抗疲劳的有效性进行了实验与研究,研究表明松茸多糖

对运动员的运动能力及抗疲劳具有一定的功效,不仅可以改善运动员的体能,还可以帮助运动员能够进行体能恢复。松茸多糖既能够降低肌酸提升代谢能力,又能够提升血液携氧能力,改善中枢神经敏感度,所以具有很好的抗疲劳效果。张利伟等^[50]对松茸多糖缓解运动员有氧运动疲劳恢复进行了深入研究,研究表明松茸多糖会根据在运动员运动过程中,其机体所产生的血清尿素(blood urea, BU)含量、血清丙二醛(monochrome display adapter, MDA)含量、血清肌酸激酶(creatinekinase, CK)、血清超氧化物歧化酶(super oxide dimutase, SOD)以及谷胱甘肽过氧化物酶活性的变化情况,有效地抑制运动后的骨骼肌损伤程度,从而增强运动员机体的抗氧化的能力,恢复疲劳。

多糖种类繁多,因此不同种类的食物性多糖的抗运动疲劳作用不同。真菌多糖拥有提高免疫力、辅助控制血压、血糖、保肝、抗疲劳、防辐射等功效,并且其作为“生物反应调节物”,具有纯天然、无依赖、有疗效、全方位调理的优点。东北猴头菇多糖可减轻机体的氧化损伤,在一定程度上,可以延缓疲劳的发生^[51]。桑黄发酵液中的多糖生物活性能有效降低血乳酸的含量、降低血液中肌酸激酶的含量、补充细胞流失的蛋白质、修复受损肌肉细胞、抑制低血糖。因此桑黄发酵液中的多糖能够提高机体的抗氧化和抗疲劳能力,对运动性疲劳有明显的减缓作用^[52]。杏鲍菇多糖的抗运动性疲劳机制可能是通过调整体内激素代谢,清除氧自由基等代谢产物,减少乳酸的积累,增加肝糖原的储备,将疲劳对机体的损伤程度降至最低。故杏鲍菇多糖可以增强运动耐力,提升其抗疲劳能力,使其自身素质和运动能力得以提升,发挥出最佳水平。近年来通过研究表明,不同种类的食物性多糖对缓解人体疲劳具有重要作用,并且多糖的抗疲劳作用已经相当成熟,在抗疲劳活性物质筛选中是一类具有研究前景的天然产物。

2.6 黄 酮

天然黄酮类化合物多以苷类形式存在,并且由于糖的种类、数量、联接位置及联接方式不同可以组成各种各样黄酮苷类。组成黄酮苷的糖类包括单糖、双糖、三糖和酰化糖。黄酮的功效是多方面的,它是一种很强的抗氧化剂,可有效清除体内的氧自由基,如花青素可以抑制油脂性过氧化物的全阶段溢出,这种阻止氧化的能力是维生素E的10倍以上,这种抗氧化作用可以阻止细胞的退化、衰老,也可阻止癌症的发生。王玉等^[53]采用沙棘黄酮,通过不同剂量的沙棘黄酮纯化产物对小鼠运动时间的处理,研究表明中、高剂量的纯化产物有助于改善运动后体内的肝、肌糖原与乳酸的浓度水平和乳酸脱氢酶活力($P<0.01$),从而具有较好缓解机体疲劳的作用。近年来,多数研究主要针对黄酮的提取、结构组成及代谢,针对黄酮类的抗运动疲劳机制研究较少且不深入。因此应深入对黄酮类在体内的

抗疲劳作用效果进行分析,提高食物性黄酮类成分的利用率,促进食物性黄酮类化学物的进一步开发应用。

2.7 咖啡碱

咖啡中的成分多种多样,主要包括生物碱、酚酸类、黄酮类和挥发性成分等,具有抗氧化、降脂、降血糖、神经保护等作用^[54]。咖啡碱是一种生物碱,主要是从茶叶、咖啡果中提炼出来的一种生物碱。陈军如等^[55]通过采用不同品类的铁观音,研究小鼠抗疲劳功能的影响。有研究发现,不同品种的铁观音能够有效的缓解小鼠抗疲劳能力降低的问题。目前,咖啡碱的成分及生理功能机制研究已经成为热点,其中化学成分分析研究及相关复合产品的研制较多,而针对咖啡碱对抗运动疲劳作用的研究较少,主要集中于茶多酚、茶氨酸等。针对咖啡碱与抗运动疲劳的研究都有待研究者做更多深入的探索。

3 结束语

运动性疲劳的产生多种多样,根据不同的运动强度、不同的运动项目分析运动疲劳的程度。目前大多数研究均采用对食物进行提纯分析从而研究一种或者一类食物性活性成分对抗运动疲劳的作用,主要包括低聚肽、氨基酸、多糖等成分的缓解疲劳的作用。虽然运动疲劳机制多种多样,影响因素也错综复杂,但是国内外对运动疲劳产生的机制尚未明确,存在多种假说理论。因此运动疲劳的机制研究需要进一步的深入研究,这将对利用食物性功能成分为抗疲劳功能为物质基础,研发新型的、高效的、安全的、低廉的抗疲劳产品提供重要的理论基础和技术支撑。

食物性活性成分对人体益大于弊,不仅有抗氧化、提供能量的作用外,还具有抗疲劳的作用。本文主要从运动疲劳理论为出发点,以食物性活性成分为着重点,研究不同的食物性活性成分对运动疲劳的缓解或降低作用,对今后研制具有抗运动疲劳作用的食物性活性成分的复合产品奠定基础,从而研发出多功效、口感好而成本低的抗运动疲劳食品,满足不同运动人群的需求。近年来,国内外在抗运动疲劳方面也取得了相应的研究成果,但也存在一定的问题,多数主要采用大鼠为研究对象,临床方面的研究相对匮乏。另外目前多利用食物性成分的结构特点为基础,研究比较单一。今后,可以深入研究食物性活性成分的抗疲劳机制,充分考虑临床方面的需求,设计新型的抗疲劳成分的研究物质,让更多的人群受益。

参考文献

- [1] 钟育华. 足球运动员运动性疲劳产生原因与恢复的研究[J]. 科学与财富, 2016, (8): 726.
- ZHONG YH. Research on the causes and recovery of football players' sports fatigue [J]. Sci Wealth, 2016, (8): 726.

- [2] 段师傅. 茶多酚对业余乒乓球运动员的抗疲劳机制的影响[J]. 福建茶叶, 2020, 42(7): 30–31.
DUAN SF. The effect of tea polyphenols on the anti-fatigue mechanism of amateur table tennis players [J]. Fujian Tea, 2020, 42(7): 30–31.
- [3] 郝佳梦, 刘宏岩. 疲劳本质的中西医研究进展[J]. 长春中医药大学学报, 2017, 33(5): 853–854.
HAO JM, LIU HY. Research on the essence of fatigue in traditional Chinese and western medicine [J]. J Changchun Univ Chin Med, 2017, 33(5): 853–854.
- [4] 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 sports fatigue [J]. Bus Situat, 2020, (10): 290.
- [5] 胡威磊, 于琼琼. 网球运动疲劳的产生机制及恢复措施[J]. 运动, 2017, (18): 33–34.
HU WL, YU QQ. The mechanism of tennis sport fatigue and recovery measures [J]. Sports, 2017, (18): 33–34.
- [6] 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, 41(24): 344–353.
LI GF. Research and development of active ingredients from food sources for antifatigue [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(24): 344–353.
- [7] 向超宗, 杨小庆. 杏鲍菇多糖抗运动性疲劳机制[J]. 中国食用菌, 2020, 39(3): 37–40.
XIANG CZ, YANG XQ. Mechanism of pleurotus eryngii polysaccharide on anti-athletic fatigue [J]. Edible Fung Chin, 2020, 39(3): 37–40.
- [8] LV P, SHI FQ, CHEN XY, *et al.* Tea polyphenols inhibit the growth and angiogenesis of breast cancer xenografts in a mouse model [J]. J Tradit Chin Med Sci, 2020, 7(2): 141–147.
- [9] DIAO JX, OU JY, DAI H, *et al.* Antioxidant and antiapoptotic polyphenols from green tea extract ameliorate CCl₄-induced acute liver injury in mice [J]. Chin Integrat Med, 2020, 26(10): 736–744.
- [10] 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 aerobics athletes [J]. Fujian Tea, 2020, 42(8): 44–45.
- [11] ZHAO K, JIANG W, MENG C. Key parameters analysis and regulation of singlet oxygen quenching rate of carotenoids [J]. Struct Chem, 2020, 39(7): 1226–1234.
- [12] LIU J, YANG S, JIANG LM, *et al.* Association of dietary carotenoids intake with skeletal fluorosis in the coal-burning fluorosis area of Guizhou province [J]. Biomed Environ Sci, 2018, 31(6): 438–447.
- [13] WANG J, YANG YL. Determination of carotenoids in egg yolk by high performance liquid chromatography with vortex-assisted hollow fiber liquid-phase microextraction using mixed extraction solvent [C]// National Natural Science Foundation of China, Chinese Chemical Society. Proceedings of the 12th National Analytical Chemistry Annual Conference of Chinese Chemical Society, 2015: 1218–1218.
- [14] 冯瑾, 马玉臣. 紫色细菌中类胡萝卜素到叶绿素的新能量转移通道 [C]// 中国化学会. 第十三届全国量子化学会议论文集, 2017: 1–1.
FENG J, MA YC. New energy transfer channel from carotenoids to chlorophylls in purple bacteria [C]// Chinese Chemical Society. Proceedings of the 13th National Conference on Quantum Chemistry, 2017: 1–1.
- [15] DONG XZ, WANG DX, HAN JC, *et al.* Efficacy of tea polyphenols (TP 50) against radiation-induced hematopoietic and biochemical alterations in beagle dogs [J]. Chin Med J, 2019, 39(3): 324–331.
- [16] 郑春红, 郭江峰, 王青, 等. 类胡萝卜素的生理作用研究[J]. 医学分子生物学杂志, 2016, (1): 46–51.
ZHENG CH, GUO JF, WANG Q. Research of physiological roles of carotenoids [J]. J Med Mol Biol, 2016, (1): 46–51.
- [17] LI H, RUAN WJ, LIU LQ, *et al.* Impact of taurine on the proliferation and apoptosis of human cervical carcinoma cells and its mechanism [J]. Chin Med J, 2019, 132(8): 948–956.
- [18] GUO YY, GUO L, TANG QQ. Taurine-mediated browning of white adipose tissue is involved in its protective role against obesity in mice [C]// Chinese Society of Biochemistry and Molecular Biology. Proceedings of the 2019 National Academic Conference of Chinese Society of Biochemistry and Molecular Biology, 2019: 104–104.
- [19] SUN Y, JIA YY, GUO YF, *et al.* Taurine transporter dEAAT2 is required for auditory transduction in drosophila [J]. Neurosci Bull, 2018, 34(6): 939–950.
- [20] 郭浩然. 牛磺酸多糖肽运动饮料的制作工艺优化及抗疲劳作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(19): 6679–6684.
GUO HR. Optimization of the production technology of taurine polysaccharide peptide sports drinks and study on anti-fatigue effect [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(19): 6679–6684.
- [21] 万福生, 黄南洁, 雷厉, 等. 牛磺酸对运动衰竭心肌和心肌线粒体损伤的保护及机制研究[J]. 医学研究通讯, 2001, 30(3): 21–22.
WAN FS, HUANG NJ, LEI L, *et al.* Study on the protection and mechanism of taurine on sports failure myocardium and myocardial mitochondrial injury [J]. J Med Res Bull, 2001, 30(3): 21–22.
- [22] 梁薇. 运动性疲劳的中药调理机制研究进展[J]. 现代医药卫生, 2020, 36(1): 66–70.
LIANG W. Research progress of traditional Chinese medicine conditioning mechanism of exercise fatigue [J]. Mod Med Health, 2020, 36(1): 66–70.
- [23] 姚梦, 王晓蕾, 申其淇, 等. 运动性心理疲劳影响因素的研究进展与展望[J]. 体育时空, 2015, (12): 161.
YAO M, WANG XL, SHEN QQ, *et al.* Research progress and prospects of factors affecting sports mental fatigue [J]. Sport Time Space, 2015, (12): 161.
- [24] GARRANDES F, PENSINI M, LEGROS P, *et al.* Neuromuscular fatigue kinetics are sport specific [J]. Comp Method Biom Biomed Eng, 2005, 8(1): 113–114.
- [25] 倪斌, 董大勇. 浅谈引起运动性疲劳原因及恢复方法[J]. 济源职业技术学院学报, 2011, 10(2): 117–120.
NI B, DONG DY. Talking about the causes of sports fatigue and recovery methods [J]. J Jiyuan Vocat Tech Coll, 2011, 10(2): 117–120.
- [26] 谭健, 顾颖. 运动性疲劳产生机制的研究进展[J]. 考试周刊, 2012, (1): 127–128.
TAN J, GU Y. Research progress on the mechanism of sports fatigue [J]. Exam Week, 2012, (1): 127–128.
- [27] GARRANDES F, PENSINI M, LEGROS P, *et al.* Neuromuscular fatigue

- kinetics are sport specific [J]. *Comp Method Biom Biomed Eng*, 2005, 8(1): 113–114.
- [28] ZHANG XQ, DONG WB, ZHANG M. The research of the pigskin ploygeline anti-fatigue of peripheral muscle effect [C]. // *Biotechnology, chemical and materials engineering II Part 2*. 2013: 834–837.
- [29] 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 Sci Technol*, 2020, 56(1): 96–99.
- [30] JUNAIDI TA. Decreased level of fatigue in aerobic sports in the use of vitamin C [Z].
- [31] TAKUMA O, KOUSUKE U, KOUHEI K, *et al*. Study on effects of pulsed magnetic stimulation for the recovery of peripheral muscle fatigue [C]// *シンポジウム*, 2011: 514–517.
- [32] 王秋辰. 运动性疲劳恢复方法分类的研究[J]. *体育科技文献通报*, 2011, 19(8): 123–124.
- WANG QC. Research on classification of exercise-induced fatigue recovery methods [J]. *J Sport Sci Technol*, 2011, 19(8): 123–124.
- [33] CHAI YL. Attenuation of NF- κ B essential modulator binding domain peptides on endotoxin-induced inflammation in kupffer cells [C]// *Chinese Anti-Cancer Association. Proceedings of the 2019 Chinese Oncology Conference*. 2019: 246–248.
- [34] JIA Y, HU YF, LI CJ, *et al*. Functional analysis of FMRF-amide like peptides(FPLs) from *Heterodera glycines* [C]// *Chinese Society of Plant Pathology% Chinese Academy of Agricultural Sciences. The first "Belt and Road" International Nematode Symposium Proceedings*. 2019: 94–95.
- [35] DAI LZ, GUO N, LIU YQ, *et al*. Analysis of the binding sites with NL-101 to amino acids and peptides by HPLC/MS/MS [J]. *Chin Oncol Conf*, 2019, 30(1): 103–106.
- [36] YU ZP, XU Y, ZHU LF, *et al*. The brassicaceae-specific secreted peptides, STMPs, function in plant growth and pathogen defense [J]. *Botany New*, 2020, 62(4): 403–420.
- [37] 刘文颖, 王憬, 潘兴昌, 等. 食源性低聚肽的成分分析及持钙能力研究[J]. *中国食品添加剂*, 2020, 31(7): 46–52.
- LIU WY, WANG J, PAN XC, *et al*. Component analysis of food-derived oligopeptides and study on calcium holding capacity [J]. *Chin Food Add*, 2020, 31(7): 46–52.
- [38] 王睿晗, 黄永震, 王周利, 等. 食源性生物活性肽免疫调节功能的研究[J]. *基因组学与应用生物学*, 2019, 38(1): 148–152.
- WANG RH, HUANG YZ, WANG ZL *et al*. Study on the immunomodulatory function of food-derived bioactive peptides [J]. *Genom Appl Biol*, 2019, 38(1): 148–152.
- [39] 李福荣, 赵爽, 张秋, 等. 食源性生物活性肽的功能及其在食品中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(20): 210–217.
- LI FR, ZHAO S, ZHANG Q, *et al*. Functions of dietary peptides and its applications in food industry [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(20): 210–217.
- [40] 周丽丽, 李素反, 高红, 等. 大豆多肽对大强度训练举重运动员肌肉代谢的影响[J]. *中国食品学报*, 2006, 6(1): 40–43.
- ZHOU LL, LI SF, GAO H, *et al*. The effect of soybean peptides on the muscle metabolism of high-intensity training weightlifters [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2006, 6(1): 40–43.
- [41] LIN X, LI Y. Mechanisms of plant polyphenol genistein on regulation of EMT in ovarian carcinoma [C]// *Engineering and Industry Technology Institute%Trans Tech Publications*. 2015.
- [42] AMJAD AK, QAYYUM H. Potential of plant polyphenol oxidases in the decolorization and removal of textile and non-textile dyes [J]. *J Environ Sci*, 2007, 19(4): 396–402.
- [43] WANG ZQ, YU CH, FANG C, *et al*. Removal of acid red 94 and methylene blue using iron-polyphenol nanomaterials synthesized by various plant leaves: A comparison study [C]// *2014 International Conference on Nanoscience and Nanotechnology: International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2014) and 23rd Australian Conference on Microscopy and Microanalysis (ACMM23)*, 2–6 February 2014, Adelaide, South Australia. 2014: 39–42.
- [44] LI E, ZOU YX. Plant polyphenol regular mechanism of glycolipid metabolism based on AMPK signaling pathway: A review [C]// *Chinese Nutrition Society. Proceedings of the 13th National Nutrition and Health Food Science Conference and the 7th China-Korea International Symposium on Phytonutrients*. 2017: 2–3.
- [45] 肖凤艳, 高磊, 赵子健, 等. 短梗五加果多酚提取工艺优化及抗疲劳作用[J]. *食品科学*, 2018, 39(22): 235–240.
- XIAO FY, GAO L, ZHAO ZJ, *et al*. Optimization of the extraction process and anti-fatigue effect of polyphenols from *Acanthopanax sibirica* [J]. *Food Sci*, 2018, 39(22): 235–240.
- [46] 李云鹏. 萝卜硫素预处理保护心肌缺血再灌注损伤的作用及机制研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2016.
- LI YP. Cardioprotective effect and possible mechanisms of sulforaphane pretreatment on myocardial ischemia/reperfusion injury [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2016.
- [47] 谢述琼, 何珂, 何军. 9 种十字花科蔬菜食用部位中萝卜硫素含量研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2013, 40(3): 460–463.
- XIE SQ, HE J, HE J. Study on the content of sulforaphane in the edible parts of 9 cruciferous vegetables [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2013, 40(3): 460–463.
- [48] ZHAI KF, CAO WG, KOU JP. The saponin D39 blocks dissociation of nonmuscular myosin heavy chain IIA from TNF receptor 2, suppressing tissue factor expression and venous thrombosis [C]// *Chinese Society of Biochemistry and Molecular Biology. Proceedings of the 2019 National Academic Conference of Chinese Society of Biochemistry and Molecular Biology*. 2019: 136–136.
- [49] 李磊, 张娜. 松茸多糖对运动员体能恢复及抗疲劳有效性研究[J]. *中国食用菌*, 2020, 39(9): 208–211.
- LI L, ZHANG N. Research on the effect of tricholoma matsutake polysaccharide on physical recovery and anti-fatigue of athletes [J]. *Edible Fungi Chin*, 2020, 39(9): 208–211.
- [50] 张利伟. 松茸多糖对缓解运动员有氧运动疲劳恢复应用研究[J]. *中国食用菌*, 2020, 39(1): 49–51.
- ZHANG LW. Research on application of matsutake polysaccharide in relieving athletes' aerobic exercise fatigue [J]. *Edible Fungi Chin*, 2020, 39(1): 49–51.
- [51] 张鑫. 东北猴头菇多糖的提取及其缓解体力疲劳功能的研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2015.

- ZHANG X. Study on the extraction of polysaccharides from *Hericium erinaceus* in northeast China and its function of relieving physical fatigue [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2015.
- [52] 钟臣. 桑黄发酵液多糖的抗运动疲劳作用[J]. 中国食用菌, 2020, 39(6): 46–48.
- ZHONG C. Anti-sports fatigue effects of polysaccharides from *Phellinus igniarius* fermentation broth [J]. Edible Fungi Chin, 2020, 39(6): 46–48.
- [53] 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, GEND J. Separation and purification of sea buckthorn flavonoids and their anti-exercise fatigue effect [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(23): 169–174.
- [54] 沈晓静, 字成庭, 辉绍良, 等. 咖啡化学成分及其生物活性研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 112–122.
- SHEN XJ, ZI CT, HUI SL, *et al.* Research progress on the chemical components and biological activities of coffee [J]. J Trop Subtrop Botany, 2021, 29(1): 112–122.
- [55] 陈军如, 林心远, 朱秋芳, 等. 不同品类铁观音对正常及高脂喂养小鼠抗疲劳功能的影响[J]. 茶叶学报, 2016, 57(1): 30–33.
- CHEN JR, LIN XY, ZHU QF, *et al.* The effects of different types of Tieguanyin on the anti-fatigue function of normal and high-fat-fed mice [J]. Tea J, 2016, 57(1): 30–33.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介

朱文军, 硕士, 讲师, 主要研究方向为运动营养。

E-mail: wangjingwena@outlook.com