

运动营养补充剂应用研究进展

孟祥龙*

(西安工程大学体育部, 西安 710048)

摘要: 对于职业运动员和运动爱好者来说, 如何补充营养是其最关心的问题。随着运动营养食品概念的提出, 相关的产品也层出不穷, 经过近些年的研究, 一些活性成分在运动营养补充剂的应用及其作用得到了证实。然而, 任何关于性能补充剂都要考虑使用该产品是安全、合法的。本文着重介绍了体育运动中使用的一些常见和新出现的营养补充剂, 及其实际运动过程中应用的可行性, 为新型运动营养食品的开发及合理应用提供理论参考。

关键词: 运动营养补充剂; 应用; 可行性; 研究进展

Advance in application of sports nutrition supplements

MENG Xiang-Long*

(Sports Department of Xi'an Engineering University, Xi'an 710001, China)

ABSTRACT: For professional athletes and sports enthusiasts, how to supplement nutrition is often the most concerned issue. With the concept of sports nutrition food put forward, related products emerge one after another. After recent studies, the application and role of some active ingredients in sports nutrition supplements have been confirmed. However, any performance supplement should be considered safe and legal to use. This paper mainly introduced some common and new nutritional supplements used in sports and the feasibility of their application in actual sports, which provides theoretical references for the development and rational application of new sports nutritional foods.

KEY WORDS: sports nutrition supplements; application; availability; research progress

1 引言

按照奥林匹克口号“更快、更高、更强”的理念, 运动营养领域的传统研究重点主要集中于如何通过有效地提高比赛过程运动员的表现^[1]。近 50 多年来, 学者们主要对如何为比赛做准备(如运动前的动员)、提高在比赛期间运动员的表现(如液体摄取和碳水化合物摄取)以及从在竞技过程中如何恢复身体机能, 保证运动员的竞技状态(如碳水化合物和蛋白质摄取以促进肌肉恢复)进行了研究。此外, 许多研究者也研制了一些可以用来调节疲劳的中枢或者类似方面来改善运动性能和疲劳的助力器。

许多因素均有助于达到最佳运动性能。其中, 身体调适和体育专项经验是运动员实现优异表现的基础。当然, 除定制的和周期化的训练和营养计划外, 对于食物摄入的选择也是其中一个重要的环节。为了使运动员达到一定训练成熟度和比赛水平, 营养补充就显得尤为重要。虽然市场上出售的一系列补充剂是为了提高运动成绩, 但许多补充剂缺乏改善人体运动机能的有力证据。此外, 一些补充剂实际上可能会损害运动成绩, 从而导致肠胃问题, 而其他补充剂则可能对运动员的健康有害。考虑到这一点, 运动员及其相关支持团队只应考虑在强有力的证据支持其安全、合法和有效使用的情况下进行性能补充。因此, 本文

*通讯作者: 孟祥龙, 硕士, 主要研究方向为体育人文社会学。E-mail: fengjianqiangsc@163.com

*Corresponding author: MENG Xiang-Ling, Master, Sports Department of Xi'an Engineering University, Xi'an 710001, China. E-mail: fengjianqiangsc@163.com

综述了体育运动中使用的一些常见和新出现的营养补剂,及其实际运动过程中应用的可行性,以期新型运动营养食品的开发提供理论参考,也在运动员对运动营养补剂的合理使用具有指导意义。

2 运动营养补充剂

2.1 传统补充剂

虽然补充剂是精英运动员日常生活中不可或缺的一部分,但随着许多运动员现在已经以已摄入食物为首选^[2,3]。考虑到补充剂污染的风险以及药物测试失败的可能性,现在的补充剂通常只有产品通过药物检查过程中证明其可食用性后才允许使用。目前,补充剂被分为能提高耐力性能和力量适应性以及增强健康个体体能两类。而一些传统的活性成分,如咖啡因、肌酸、 β -丙氨酸等被证实上述作用方面具有一定的效果,因此,也常作为补充剂的重要成分之一。

2.1.1 咖啡因

咖啡因,又名三甲基黄嘌呤,是一种天然存在于植物食品中的化合物,当今社会,大约 90%的成年人在日常生活中,经常食用诸如咖啡、茶和可乐等常见的膳食来源或能量饮料^[4]。而运动员则需要根据一些相关规定,来指导他们更加具体地使用含咖啡因的运动产品和功能性食品(包括口香糖、凝胶、糖果和饮料)来实现体育目标。咖啡因与药理和生理最相关的作用是作为腺苷受体拮抗剂和肌肉收缩力调节剂来减少运动时对疲劳或疼痛的感知^[5]。关于咖啡因和运动表现理论和实践的最新动态显示,耐力锻炼期间摄入的低剂量咖啡因对运动表现有增强作用。在循环训练 80 min 后,饮用 100~200 mg(1.5~2.9 mg/kg)的咖啡因和碳水化合物电解质溶液的混合液,在随后的 26~28 min 计时过程中,其表现改善了 4%~7%^[6]。此外,在 30 km 的循环计时过程中,每 10 km 点以口香糖形式给予 200~300 mg 的咖啡因,在任务的最后 10 km 时间内,可以提高平均功率输出也显著强于对照组^[7]。这说明,补充咖啡因对耐力训练或运动有积极的效果。总之,咖啡因可以增强训练效果,特别是用于允许运动员在已经疲劳的关键训练期间进行更艰苦的训练^[8]。根据实际考虑和运动员经验,在赛事前和赛事期间可以使用规定范围内小中剂量的咖啡因(3 mg/kg)^[6]。2004 年咖啡因从世界反兴奋剂组织禁止名单中删除之后,在根据既定和实践规程使用时被认为是安全、有效和合法的。但运动员也应避免服用的高剂量咖啡因/或将咖啡因与其他兴奋剂混合等危险做法。此外,根据个体变异性的遗传和其他方面的不同,咖啡因代谢的代谢过程也存在这差异,通过掌握这些研究结果和相关数据,对于一些对咖啡因反应低或有副作用运动员在服用咖啡因是具有一定的指导作用^[9]。

2.1.2 肌酸

肌酸是一种氨基酸衍生的代谢产物,主要发现于骨骼肌,可通过内源性合成和肉类制品的摄取获得^[10]。1992

年,肌酸作为补充剂的潜能被发掘,巴塞罗那奥运会期间运动员开始使用肌酸作为补充剂,这使得肌酸的开发利用得到了蓬勃发展^[11]。通过口服肌酸补充或者通过延长维持剂量(3 g/d)的周期(4 周),肌肉肌酸储量可提高 20%。尽管肌酸化合物产品的不断问世,但一水合肌酸仍然是补充肌酸的有效形式,并通过与碳水化合物共同摄取来促进肌肉的吸收^[12]。通过增加肌肉磷酸肌酸储备,补充肌酸可增强短暂高强度运动回合时 ATP 的快速再生作用,特别是在从事恢复时间短,回合多的运动,可以极大地提升这种运动模式(如团队运动)的运动表现,以及长期提高运动员进行这种性质的训练课程(如阻力或间歇训练)的能力^[13]。虽然肌酸负荷与运动密切相关,包括增加肌肉质量、力量、力量或间歇活动,但其与细胞渗透压的一些相关作用机制的探索(如基因表达和糖原储存的增加)将有利于其在其他运动中的应用^[14]。肌酸补充虽然具有重要的临床作用,但其安全性,一直是学者们争论的焦点,因此,一段时间以来,肌酸的使用一直是被世界反兴奋剂组所禁止的。最新研究表明,既定的肌酸补充并没有发现增加健康风险的证据,同时,在运动过程中补充肌酸可降低相关的肌肉损伤或体温调节受损的发生率^[15]。

2.1.3 β -丙氨酸

β -丙氨酸是一种参与人体内维生素泛酸和辅酶 A 合成的重要物质之一。研究表明, β -丙氨酸是肌肽合成的前体物质,由于其天然性,而且没有被世界反兴奋剂机构列为违禁药物的物质,因此, β -丙氨酸和肌肽的功能受到运动生理学家和营养学家的广泛关注^[16]。

研究发现,运动时,骨骼肌内酸性产物增多,pH 值下降,同时肌肉能量消耗增加,温度也升高。肌肉运动过程中的这些变化有利于肌肽功能的发挥。这说明,肌肽对于运动能力应该有促进作用。而 β -丙氨酸作为肌肽的主要结构物质,也与运动机制密切相关。虽然, β -丙氨酸的最佳摄入量尚未确定,但 3~6 g/d 的摄入量,在 4~12 周增加 50%~85%的细胞内缓冲作用,从而为肌肽的合成创造良好环境^[17]。Stegen 等^[18]也发现,每天摄入 1.2 g 可以使肌肉中肌肽含量的增加并在停止摄入的 6~20 周后恢复到正常水平。虽然 β -丙氨酸在运动营养方面发挥着积极作用,但其副作用也是值得关注的。Stellingwerff 等^[19]发现,人体摄入 4800 毫克纯化的 β -丙氨酸时,会产生感觉异常的症状,其中,皮肤刺痛症状尤为明显,而且服用缓释片或分散剂产生的副作用会超过 1 d。从理论上讲,长期补充 β -丙氨酸可以提高个体的运动性能,在训练中亦有类似的效果。但事实上,一些研究指出,在补充 β -丙氨酸时,配合补充碳酸氢钠有利于运动者在高强度的运动中营养的持续性,甚至达到加成的效果^[20]。然而,其实际应用,包括特殊的体育赛事,专业运动和业余运动员的运动营养方面,以及是否对肌肉肌肽的其他作用,如钙的合理控制方面还需大量的

研究进行证实^[21]。

2.1.4 维生素 D

在过去的十余年中, 学者们对维生素 D 的研究兴趣十分高涨。这种兴趣增加的部分原因是由于衰弱性骨病佝偻病的再次出现, 但更多也来源于其作为“促性激素”的许多生物学作用^[22]。基础研究结果显示, 人体的许多组织都能表达维生素 D 受体, 这说明维生素 D(或更具体地说是活性的维生素 D 代谢物)发挥着以前被稍微忽略的一些基本生理作用^[23]。先天和后天免疫功能、心血管健康, 甚至肌肉的生长和修复都可能通过维生素 D 进行调控。大量的研究表明, 许多运动员缺乏维生素 D, 主要与晒太阳时间的不足、生活方式和缺乏维生素 D 的饮食来源有关^[24]。因此, 阳光明媚的气候是运动营养中补充的维生素 D 的主要方式之一^[25]。必须强调的是, 一些证据显示, 维生素 D 在运动人群中提高运动成绩的作用尚未确定^[26]。虽然一些研究表明, 其具有改善肌肉功能的效果, 但大多数结果显示其效果并不明显, 这种差异产生的主要原因可能在于维生素 D 用量的标准不同^[27]。目前, 美国医学研究所的研究成果显示一般人每天需要摄入 450 IU/d 的维生素 D 以满足人体需求。当然, 许多研究人员仍然质疑这个摄入量, 同时也在不断的进行验证和探索^[28]。目前, 已经有科研团队的研究报告显示, 当人体内维生素 D 浓度低于 30 nmol/L 时, 如果起始浓度约为 50 nmol/L^[29], 那么维生素 D 不会对肌肉功能产生增强的效果。

2.2 新型补充剂

在过去的十年的研究中, 大量数据已经证实了宏观和微观营养素在调节骨骼肌对运动训练的适应性的运动诱导的细胞信号传导途径方面发挥了较大作用^[30]。因此, 学者们已经开始将运动营养分为“竞技营养”和“训练营养”, 前者侧重于对比赛表现的作用, 而后者侧重于训练时的适应效果^[31]。例如, 在耐力运动的状态下, 最新数据表明, 降低碳水化合物利用率(以及潜在的高脂肪利用率)可以增强那些对耐力性能至关重要的适应作用, 包括线粒体生物合成、脂质氧化作用以及抗疲劳能力^[32]。与这些营养素类似, 许多新型营养成分也在出现(尽管只对啮齿动物进行过研究), 也在调节耐力训练适应性所固有的那些信号通路方面发挥的重要作用, 例如(-)-表儿茶素、烟酰胺核糖(nicotinamide riboside, NR)、白藜芦醇等。

2.2.1 (-)-表儿茶素

表儿茶素(epicatechin, EC)是一种天然植物黄烷醇化合物, 呈白色晶体, 易溶于水、甲醇, 与表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG)、表儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, ECG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)统称为儿茶素类化合物^[33]。据报道, 食用黑巧克力对人体有多种健康益处, 而黑巧克力的活性成分就是一种

表儿茶素的特殊结构形态—(-)-表儿茶素^[34]。随着学者们的不断探索, 发现(-)-表儿茶素在人体的机能方面发挥着重要的作用。Nogueira 等^[35]报道了摄入 15 d(-)-表儿茶素后, 可增加小鼠的骨骼肌疲劳抵抗力、线粒体体积和血管生成。然而, (-)-表儿茶素的补充对重塑骨骼肌方面不如耐力运动方面效果明显, 而且(-)-表儿茶素的补充与运动训练之间存在协同作用, 这说明, (-)-表儿茶素补充可能是增强骨骼肌适应耐力训练的营养途径。Gutierrez 等^[36]为了进一步验证(-)-表儿茶素的作用, 研究了摄入(-)-表儿茶素对正常和超重成年人餐后脂肪代谢的影响。他们发现, 补充(-)-表儿茶素(1 mg/kg)后, 参与者表现出较低的粗面内质网含量, 这说明脂质氧化作用在增加。此外, 补充后血糖浓度也低于未补充的水平。根据以上研究可以看出, (-)-表儿茶素在促进线粒体生物合成和作为脂质氧化的助剂方面就有较好的应用前景。然而, 目前尚不清楚(-)-表儿茶素补充是否能促进线粒体生物发生和增强人体骨骼肌耐力训练适应性, 这也需要学者们在这方面进行更深入的研究。

2.2.2 烟酰胺核糖

烟酸(维生素 B₃)是肉类、家禽、鱼、蛋和绿色蔬菜中天然存在的物质^[37]。烟酸类是烟酸(nicotinic acid, NA)和烟酰胺(nicotinic acid amide, NAM)的统称, 而烟酰胺核糖是烟酸的吡啶-核糖形式, 除了烟酰胺之外还含有相关的核糖键^[38]。由于烟酰胺核糖是通过烟酰胺核糖激酶途径在骨骼肌中合成烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(nicotinamide adenine dinucleotide, NAD)的直接前体物质而最近引起了人们的关注^[39]。Carles 等^[40]发现在 C₂C₁₂ 肌管中补充烟酰胺核糖可增加 NAD 含量, 而给小鼠饲喂烟酰胺核糖(400 mg(kg·d)) 1 周后, 其骨骼肌中 NAD 含量略有增加(5%)。而且他们认为烟酰胺核糖的代谢作用是通过 SIRT1 介导的, 因为 C₂C₁₂ 肌管对烟酰胺核糖补充的适应性反应在 SIRT1 siRNA 介导的敲除后丧失。值得一提的是, 烟酰胺核糖主要是通过增加能量消耗和降低胆固醇水平来缓解小鼠免受 8 周高脂喂养后产生的影响的。与代谢适应类似的是, 补充烟酰胺核糖的小鼠在耐力和能力方面也提高了 25%, 同时线粒体与核 DNA 的比率及线粒体蛋白质含量也有所增加^[41]。因此, 烟酰胺核糖的摄入似乎能够改变骨骼肌 NAD 含量, 同时, 通过 SIRT1 依赖性过程可以增加骨骼肌线粒体生物合成^[42]。然而, 这一推测尚未得到相关研究的证实。

2.2.3 白藜芦醇

白藜芦醇是一种二苯乙烯类多酚, 属于红酒中常见的苯丙素家族^[43]。作为典型的 SIRT1 激活剂, 其除了保护骨骼肌免受小鼠高脂喂养的有害影响之外, 许多报道已经证实白藜芦醇是骨骼肌中线粒体生物合成的有效激活剂^[44]。此外, 研究发现, 白藜芦醇在促进小鼠的脂肪氧化和增强耐力性能方面效果显著^[45]。对肥胖男性志愿者的研究结果显示, 摄入白藜芦醇(150 mg/d)30 d 后, 除了提高对胰岛素

的敏感性方面效果显著外,还能降低肝内脂质、葡萄糖、甘油三酯、丙氨酸氨基转移酶和炎症标志物的含量。此外,补充白藜芦醇能增加骨骼肌中柠檬酸合成酶活性,在不增加线粒体含量的基础上,促进肌肉线粒体呼吸应答脂肪酸衍生物的生成^[46]。因此,越来越多的学者认为白藜芦醇可能是重建人类骨骼肌的有效方法。关于运动营养方面,白藜芦醇也存在着较大的潜力。Scribbans等^[47]的研究结果显示在健康个体的运动训练期间补充白藜芦醇可导致运动刺激基因表达的不适应性反应。Gliemann等^[48]的结果也表明,在高强度训练中,补充白藜芦醇不仅减缓了安慰剂组最大摄氧量的增加,同时消除了运动对降低低密度脂蛋白、总胆固醇和甘油三酯含量的影响。然而最新研究显示,白藜芦醇补充的细胞、啮齿动物和人类研究之间存在明显的差异,而且目前尚不清楚为什么白藜芦醇补充物在耐力-运动训练中会对全身/骨骼肌适应性产生负面影响。当然,迄今为止的研究表明,白藜芦醇在体内不具有先前在细胞和啮齿动物研究中体现出的优势。运动和白藜芦醇在人体内的交叉作用有待学者们进一步研究。

以上概述的营养补剂都是通过增加各种速度限制或耐力过程来反映对运动性能的直接影响。然而,其他补充可能通过其支持训练过程的能力、对刺激性调制、氧化应激和适应信号通路等因素的影响,或通过恢复两次运动之间的稳态来支持重复性表现的能力,对表现产生间接影响。例如,氨基酸 N-乙酰半胱氨酸作为一种抗氧化剂,可以通过调节运动诱导的活性氧簇来帮助运动员恢复^[49]。例如,如果补充方案的目标是在激烈的比赛中提高抗疲劳能力,那么这种结果可能会影响运动员的表现。类似地,食物多酚的作用方式也具有强烈的抗氧化性和抗燃性,有利于运动恢复^[50]。例如,高花青素含量的苦涩蒙脱樱桃已被证明可以降低对马拉松跑的反应和氧化应激反应,以及在连续几天的随机、高强度循环中^[51,52]。值得注意的是,在上述研究中,只有血液生物标志物显示出这样的好处,因此,在未来的研究中,肌肉分析应进一步证实这些结果。

3 展望

随着运动营养方面的迅猛发展,我们正进入一个新时代,一个可以形容为“有针对性的营养分期”的时代。为了最大限度地提高运动成绩或适应能力,在赛前训练前的几天和几小时内必须明确运动员在运动营养方面的需求。同时,教练员和运动员也要认识到,提高表现和适应能力的营养策略是不同的,而且有时是不兼容的。因此,通过对运动营养活性成分的挖掘及作用的探讨,也将是未来学者们研究的重点。通过这些内容的研究不仅有利于运动营养食品开发与产业发展,同时,能帮助运动员合理的应用并实现“更快、更高、更强”的运动目标。

参考文献

- [1] 孙波. 从人文奥运理念看“更快、更高、更强”[J]. 体育文化导刊, 2008, (2): 53-55.
Sun B. Viewing from the concept of humanistic Olympics, "Faster, Higher and Stronger" [J]. Sports Cult Guid, 2008, (2): 53-55.
- [2] Knapik JJ, Steelman RA, Hoedebecke SS, et al. A systematic review and meta-analysis on the prevalence of dietary supplement use by military personnel [J]. BMC Complement Alternat Med, 2014, 14(1): 143.
- [3] Knapik JJ, Steelman RA, Hoedebecke SS, et al. Prevalence of dietary supplement use by athletes: Systematic review and meta-analysis [J]. Sports Med, 2016, 46(1): 103-123.
- [4] Burke LM. Caffeine and sports performance [J]. Appl Phys Nutr Metabol, 2008, 33(6): 1319-1334.
- [5] Spriet, Lawrence L. Exercise and sport performance with low doses of caffeine [J]. Sports Med, 2014, 44(2S): 175-184.
- [6] Talanian JL, Spriet LL. Low and moderate doses of caffeine late in exercise improve performance in trained cyclists [J]. Appl Phys Nutr Metabol, 2016, 41(8): 850-855.
- [7] Paton C, Costa V, Guglielmo L. Effects of caffeine chewing gum on race performance and physiology in male and female cyclists [J]. J Sports Sci, 2015, 33(10): 1076-1083.
- [8] Lane SC, Areta JL, Bird SR, et al. Caffeine ingestion and cycling power output in a low or normal muscle glycogen state [J]. Med Sci Sports Exerc, 2013, 45(8): 1577-1584.
- [9] Womack CJ, Saunders MJ, Bechtel MK, et al. The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine [J]. J Int Soc Sports Nutr, 2012, 9(1): 7-10.
- [10] 李显, 裴晓萌, 艾华. 常规维持量补充肌酸对大鼠内源性肌酸合成的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2006, 25(1): 21-25.
Li X, Pei XM, Ai H. The effect of creatine supplementation on endogenous creatine synthesis in rats [J]. Chin J Sports Med, 2006, 25(1): 21-25.
- [11] 刘军. 肌酸作为运动营养补充剂的副作用与安全性[J]. 科技经济导刊, 2017, (21): 187.
Liu J. Side effects and safety of creatine as a sports nutritional supplement [J]. Sci, Technol Econ Guid, 2017, (21): 187.
- [12] Buford TW, Kreider RB, Stout JR, et al. International society of sports nutrition position stand: creatine supplementation and exercise [J]. J Int Soc Sports Nutr, 2007, 4(1): 1-8.
- [13] 王晓辉. 外源性磷酸肌酸对无氧运动的支持作用[D]. 大连: 大连医科大学, 2012.
Wang XH. Supportive effect of exogenous creatine phosphate on anaerobic exercise [D]. Dalian: Dalian Medical University, 2012.
- [14] Safdar A, Yardley NJ, Snow R, et al. Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation [J]. Phys Genom, 2008, 32(2): 219-228.
- [15] Dalbo VJ, Roberts MD, Stout JR, et al. Putting to rest the myth of creatine supplementation leading to muscle cramps and dehydration [J]. British J Sports Med, 2008, 42(7): 567-573.
- [16] 马军. 补喂 β -丙氨酸对伊犁马血浆氨基酸和肌肽含量及运动水平的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
Ma J. Effects of supplementation of beta-alanine on plasma amino acid

- and carnosine content and exercise level of Ili horse [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016.
- [17] Décombaz J, Beaumont M, Vuichoud J, *et al.* Erratum to: Effect of slow-release β -alanine tablets on absorption kinetics and paresthesia [J]. *Amino Acids*, 2013, 45(4): 1015–1015.
- [18] Stegen S, Bex T, Vervaeke C, *et al.* β -Alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(7): 1426.
- [19] Stellingwerff T, Decombaz J, Harris RC, *et al.* Optimizing human *in vivo* dosing and delivery of β -alanine supplements for muscle carnosine synthesis [J]. *Amino Acids*, 2012, 43(1):57–65.
- [20] 邵士元, 谷秀芳. 肌肽复合物、新剂型碳酸氢钠补充对人体无氧运动能力的影响[J]. 泰山医学院学报, 2008, 29(6): 406–409.
- Shao SY, Gu XF. The effect of carnosine complex and new dosage form of sodium bicarbonate supplementation on human anaerobic exercise ability [J]. *J Taishan Med Coll*, 2008, 29(6): 406–409.
- [21] Blancaquart L, Everaert I, Derave W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance [J]. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2015, 18(1): 63–70.
- [22] 张斌成, 周琼. 不同剂量维生素 D₃ 对预防早产儿维生素 D 缺乏性佝偻病的疗效比较[J]. 北方药学, 2016, 13(3): 73–74.
- Zhang BC, Zhou Q. Comparison of the effects of different doses of vitamin D₃ on the prevention of vitamin D deficiency rickets in premature infants [J]. *Northern Pharm*, 2016, 13(3): 73–74.
- [23] Demay MB. Mechanism of vitamin D receptor action [J]. *Ann Acad Sci*, 2010, 1068(1): 204–213.
- [24] Close GL, Russell J, Cobley JN, *et al.* Assessment of vitamin D concentration in non-supplemented professional athletes and healthy adults during the winter months in the UK: implications for skeletal muscle function [J]. *J Sports Sci*, 2013, 31(4): 344–353.
- [25] Hamilton SA, McNeil R, Hollis BW, *et al.* Profound vitamin D deficiency in a diverse group of women during pregnancy living in a sun-rich environment at latitude 32°N [J]. *Int J Endocrinol*, 2010, (2010): 917428.
- [26] Owens DJ, Fraser WD, Close GL. Vitamin D and the athlete: Emerging insights [J]. *Eur J Sport Sci*, 2015, 15(1): 73–84.
- [27] Vieth R, Bischoff-Ferrari H, Boucher BJ, *et al.* The urgent need to recommend an intake of vitamin D that is effective [J]. *Am J Clin Nutr*, 2007, 85(3): 649–650.
- [28] Zittermann A, Armin. Vitamin D in preventive medicine: Are we ignoring the evidence? [J]. *Br J Nutr*, 2003, 89(5): 552–572.
- [29] Owens DJ, Webber D, Impey SG, *et al.* Vitamin D supplementation does not improve human skeletal muscle contractile properties in insufficient young males [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2014, 114(6): 1309–1320.
- [30] 王飞加, 巩绪伟, 沙晓林. 运动诱导骨骼肌肥大的信号传导通路[J]. 中国组织工程研究, 2009, 13(2): 384–387.
- Wang FJ, Gong XW, Sha XL. Signal transduction pathway of exercise-induced skeletal muscle hypertrophy [J]. *China Tissue Eng Res*, 2009, 13(2): 384–387.
- [31] 毛洪波. 在运动训练中对运动疲劳与营养的论述[J]. 中国科技投资, 2013(A22): 483–483.
- Mao HB. Discussion on sports fatigue and nutrition in sports training [J]. *China Sci Technol Invest*, 2013, (A22): 483–483.
- [32] 陈贝贝. 高、低强度耐力训练对 SAMP6 小鼠股四头肌 Sirt3 及 SESNS 抗氧化相关基因的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- Chen BB. Effects of high and low intensity endurance training on Sirt3 and SESNS antioxidant related genes in quadriceps femoris of SAMP6 mice [D]. Shanghai: East China Normal University, 2016.
- [33] 徐玉春, 杨菲, 邵国艳, 等. 儿茶素和表儿茶素的荧光光谱研究[J]. 分析化学, 2009, 37(a1): 207.
- Xu YC, Yang F, Shao GY, *et al.* Fluorescence spectra of catechins and epicatechins [J]. *Anal Chem*, 2009, 37 (a1): 207.
- [34] Buijsse B, Weikert C, Drogan D, *et al.* Chocolate consumption in relation to blood pressure and risk of cardiovascular disease in German adults [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(13): 1616–1623.
- [35] Nogueira L, Ramirez-Sanchez I, Perkins GA, *et al.* (-)-Epicatechin enhances fatigue resistance and oxidative capacity in mouse muscle [J]. *J Physiol*, 2011, 589(18): 4615–4631.
- [36] Gabriela GS, Ortizvilchis P, Vacaseydel CM, *et al.* Acute effects of an oral supplement of (-)-epicatechin on postprandial fat and carbohydrate metabolism in normal and overweight subjects [J]. *Food Funct*, 2014, 5(3): 521–527.
- [37] 张建庚, 刘顺德. 烟酸在动物营养中的研究进展[J]. 河南畜牧兽医: 市场版, 2014, 35(12): 27–29.
- Zhang JG, Liu SD. Research progress of nicotinic acid in animal nutrition [J]. *Henan Anim Husb Vet Med (Market Ed)*, 2014, 35(12): 27–29.
- [38] Mackay D, Hathcock J, Guameri E. Niacin: Chemical forms, bioavailability, and health effects [J]. *Nutr Rev*, 2012, 70(6): 357–366.
- [39] Bieganski P, Brenner C. Discoveries of nicotinamide riboside as a nutrient and conserved NRK genes establish a Preiss-Handler independent route to NAD⁺ in fungi and humans [J]. *Cell*, 2004, 117(4): 495–502.
- [40] Carles C, Houtkooper R, Pirinen E, *et al.* The NAD⁺ precursor nicotinamide riboside enhances oxidative metabolism and protects against high-fat diet-induced obesity [J]. *Cell Metabol*, 2012, 15(6): 838–847.
- [41] 李国平, 唐蔚青, 李红霞, 等. 长期温和的能量限制改善 C57BL/6 小鼠高脂喂养后的脂代谢紊乱[J]. 中国心血管杂志, 2012, 17(2): 124–127.
- Li GP, Tang WQ, Li HX, *et al.* Long-term mild energy restriction improves lipid metabolism disorder in C57BL/6 mice after high-fat feeding [J]. *Chin J Cardiol*, 2012, 17(2): 124–127.
- [42] 郑涓. SIRT1 在肥胖、胰岛素抵抗发生机制中的作用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- Zheng J. The role of SIRT1 in the pathogenesis of obesity and insulin resistance [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [43] Pervaiz S. Resveratrol: From grapevines to mammalian biology [J]. *FASEB J*, 2003, 17(14): 1975–85.
- [44] 闻剑飞, 王海涛, 于树宏, 等. 运动及补充白藜芦醇对小鼠骨骼肌线粒体的影响[J]. 天津体育学院学报, 2010, 25(4): 344–347.
- Wen JF, Wang HT, Ding SH, *et al.* Effects of exercise and resveratrol on the changes of skeletal muscle mitochondria of mouse [J]. *J Tianjin Univ Sport*, 2010, 25(4): 344–347.
- [45] Murase T, Haramizu S, Ota N, *et al.* Suppression of the aging-associated decline in physical performance by a combination of resveratrol intake and habitual exercise in senescence-accelerated mice [J]. *Biogerontol*, 2009, 10(4): 423–434.
- [46] Bang HS, Seo DY, Chung YM, *et al.* Ursolic Acid-induced elevation of serum irisin augments muscle strength during resistance training in men

- [J]. Korean J Physiol Pharmacol, 2014, 18(6): 441–446.
- [47] Scribbans TD, Ma JK, Edgett BA, *et al.* Resveratrol supplementation does not augment performance adaptations or fibre-type-specific responses to high-intensity interval training in humans [J]. Appl Physiol Nutr Metabol, 2014, 39(11): 1305.
- [48] Gliemann L, Schmidt JF, Olesen J, *et al.* Resveratrol blunts the positive effects of exercise training on cardiovascular health in aged men [J]. J Physiol, 2013, 591(20): 5047–5059.
- [49] Braakhuis AJ, Hopkins WG. Impact of dietary antioxidants on sport performance: A review [J]. Sports Med, 2015, 45(7): 939–955.
- [50] Tsao R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols [J]. Nutrients, 2010, 2(12): 1231–1246.
- [51] Howatson G, McHugh MP, Hill JA, *et al.* Influence of tart cherry juice on indices of recovery following marathon running [J]. Scand J Med Sci Sports, 2010, 20(6): 843–852.
- [52] Bell PG, Walshe IH, Davison GW, *et al.* Montmorency cherries reduce the oxidative stress and inflammatory responses to repeated days high-intensity stochastic cycling [J]. Nutrients, 2014, 6(12): 829–843

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

孟祥龙, 硕士, 主要研究方向为体育人文社会学。

E-mail: fengjianqiangsc@163.com