

运动员膳食营养管理研究进展

Research progress on management of athletes' dietary nutrition

荆西民

JING Xi-min

(河南机电职业学院体育健康学院, 河南 郑州 451100)

(College of Physical Education and Health, Henan Vocational College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou, Henan 451100, China)

摘要:文章对 SCI、中国知网等文献检索网站上发表的有关运动营养学论文进行了系统搜集、梳理以及分析,综述了目前国内外运动员运动膳食营养研究进展,探明了能量、碳水化合物、蛋白质和脂肪的代谢规律与营养管理策略,以期为中国运动营养领域理论发展和运动营养食品研发提供参考。

关键词:膳食营养;精准管理;功能成分;运动员

Abstract: By systematically selecting, combing and analyzing the published papers on the literature retrieval websites, such as SCI, CNKI, etc., this review summarized the current research progress of foreign and domestic sports dietary nutrition of athletes, and explored the metabolic laws and nutrition management strategies of energy, carbohydrates, protein and fat, in order to provide some references for theoretical development of sports nutrition and the research and manufacturing of sports nutrition food in China.

Keywords: dietary nutrition; precision management; functional ingredients; athletes

合理的膳食营养是保障运动员能量供给顺畅进行,维系机体各类代谢活动的主要途径。研究^[1-2]表明,过低的能量摄入将引起肌体关节疲劳损伤、内分泌系统紊乱及其肌肉酸性物质积累等不良生理反应,进而影响运动员的健康状况与竞技表现。此外,过高的能量补充则会导致个别项目的选手运动反应衰退、身体负担加剧、综合运动能力下降等负面影响^[3]。Joy 等^[4]调查发现,处于剧烈运动状态下运动员更易引发日常饮食失调、膳食营养过度(或不足),这就为针对运动员膳食营养监控与管理领域的相关研究与开发应用提出了现实要求。运动营养学(Sports Nutrition)这一旨在优化调节运动员日常训

练及其竞赛期间身体机能、维持高水平竞技水平,结合运动学、营养学、体育医学以及生物化学等跨学科的应用科学应运而生,在行业应用逐渐发展成为现代食品产业的重要分支之一^[5-6]。据不完全统计,仅 2017 年度以“sports nutrition”为关键词,在 SCI、SCCI、PubMed、Google Scholar 等英文文献检索平台上查得相关论文总数达 2 082 篇之众^[7]。然而,笔者通过中国知网,以“运动营养学”为检索主题,得出截止目前该领域的期刊发表论文仅有 93 篇,从中可看出中国该领域研究与国际同行仍然具有非常明显的差距。

以 2008 年北京奥运会的盛大召开为重要标志,近年来中国运动员在国际大型赛事中多次获得优异成绩,在竞技体育方面取得重要进展。截至 2018 年底,中国运动员在奥运会、世界杯、世界锦标赛等各类国际大赛中,共获得世界冠军 3 458 个,奥运冠军 237 个,累计创超世界纪录 1 332 次^[8]。2019 年 9 月 2 日,国务院印发《体育强国建设纲要》^[9],提出“建立中国特色现代化竞赛体系、推进职业体育发展等方面,提升竞技体育综合实力”,为包括竞技体育在内的体育事业全面发展指明了新的方向。作为现代职业体育领域的重要环节之一,运动员膳食营养管理对于保障运动员训练水平与竞技表现具有突出地位^[10-11]。早在 20 世纪 90 年代末期,中国自主研发设计的“运动营养生化监控恢复系统”,主要监测运动员综合体能、血液、自由基、内分泌和免疫系统以及肌肉蛋白代谢等参数变化,已被应用于女子曲棍球等部分体育项目中^[5,12]。此外,大量学者以探究运动过程中碳水化合物、脂肪、蛋白质(类)、维生素、电解质等功能性成分代谢活动与生理机制为主导方向的理论研究^[12-14],和以研发运动营养食品制备工艺为主要目标的应用层面^[15-17],共同推动了中国运动营养学领域不断迈向独立学科发展之路。

基于上述新的时代背景,为进一步提升运动员膳食营养精细化管理水平,文章拟通过在 PubMed、SCI、

基金项目:河南省教育厅课题(编号:2015-QN-0437)

作者简介:荆西民(1963—),男,河南机电职业学院副教授。

E-mail: 763556718@qq.com

收稿日期:2021-01-08

Google Scholar、中国知网、维普等文献检索网站以“sports nutrition”和“运动营养学”为关键词或主题,开展文献查阅、整理,并对这些文献进行较为系统的梳理、归纳,厘清运动营养管理研究的发展脉络、最新进展及其存在问题,并为后续研究提出相关展望。

1 运动营养领域发展概论

现代意义上的运动营养研究起源于近代体育事业的逐渐兴起和西方营养学体系的建立,至19世纪中后叶,随着有机化学物定量检测技术的不断完善,为糖类、脂肪和蛋白质三大能源物质为核心内容的运动营养监控与人为干预研究框架逐渐形成。早在20世纪20年代就已发现,碳水化合物作为能源可明显促进马拉松运动员比赛表现和缓解低血糖疲劳^[18];1975年,英国运动与训练学学会(BASES)创立,大量探究葡萄糖饮料对自行车项目运动员竞技表现的影响;1984年,囊括当时世界各地知名学者和营养师在内的“运动食品基金会”(SNF)在伦敦成立,为传播运动营养知识和制定营养指导指南作出了重要贡献;1991年瑞士洛桑展开的“食品·营养和运动表现”的运动营养学术会议上形成共识——“膳食对运动员的竞技表现具有显著影响,即优质、合理的膳食配给,无论是在训练,还是比赛前、中、后各阶段,都有助于促进运动员比赛潜力的发挥”^[19]。经过近一个世纪不断发展,随着肌肉活检、放射性同位素示踪、核磁共振、高血糖钳微透等试验检测技术的相继投入应用,膳食中的基础能源物质、电解质、激素以及维生素等代谢过程与作用机制越来越得以深入认识与理解。

中国运动营养领域研究整体上晚于国际20~30年。中国首个运动营养学专门研究机构—北京医科大学运动医学研究所运动营养生化研究室,是由陈吉棣教授在20世纪50年代后期创建的,为中国运动营养学科体系的创建、发展与营养食品工艺研发作出了突出贡献。1987年成立的国家体委运动医学研究所运动营养中心,目前已发展成为中国运动营养领域科研水平最为出众的官方研究机构^[20]。近年来,随着中国竞技体育事业的蓬勃发展以及国际兴奋剂要求的不断提升,各大综合性大学与体育专门性院校陆续开设运动营养学本科课程及科研课题,基于现代精密仪器分析技术和分子生物学、代谢组学等方法的应用,全面推动了中国运动营养领域向着定量试验、精准预测以及高效管理等更高阶段迈进^[13-14,21-22]。

2 运动营养学研究基本范畴

现代运动营养学奠基人之一的Clyde Williams认为,运动营养学主要研究“营养对人体赛前、赛中、赛后恢复能力影响的程度、强度、幅度与持续性”^[23]。传统运动营养学的研究内容主要包括:①运动过程中能量消耗、代谢规律及其需求状况;②蛋白质、脂肪、糖类三大热源物质

在运动状态下代谢过程、作用机制以及与运动表现的关系;③水和电解质对运动状态的影响;④维生素对运动状态的影响;⑤微量元素对运动状态的影响。近年来随着竞技体育活动风靡全球,应用营养学知识研发、制备各类运动功能性食(药)品^[24-25]以及研制、制订相关辅助医疗器材^[26]、营养供给指南^[27]等成为当前该领域的新兴热点之一。基于分子生物学、计量化学以及精密测试仪器艺术的临床运动营养学、应用运动营养学等将成为未来研究重点。

3 运动员营养供给管理及代谢机制

3.1 能量

长期以来,运动营养领域主要集中于通过营养摄入来保障运动员在运动过程中所造成的卡路里消耗,并赛后及时补充,以此优化训练和比赛成绩^[28-30]。研究^[31]发现,在中度以上的训练环境下(每周5~6次,每次2~3h),每小时约需要消耗能量2508~5016kJ,个别运动量较大的项目(例如自行车、举重等)所需能量值更高。研究^[32-33]表明,在参加环法自行车赛中,运动员的能量消耗最高可达50.160MJ/d,即一名体重约为60~80kg的运动员每日、每千克体重所耗能量为627~836kJ。体重更高的运动员(约100~150kg)每日卡路里消耗量高达25.080~50.160MJ^[34]。

对于能量补给具体方式而言,长期存在着两种截然不同的观点;其中一方认为,“通过合理的日常膳食供给及营养管理,运动员所消耗的能量基本能得以恢复”^[35-36];另一类较为主流的看法认为,“就大部分集体项目和运动消耗较高的个人项目而言,仅采用膳食营养调控方式,难以达到能量需求”^[33-34,37]。另一方面,在极端训练和比赛状况下,运动员很难适时补充足够的膳食营养,并可能引发肠胃不适^[38]。Loucks^[31]研究发现,运动员在训练过程中食用能量较低的膳食,将导致诸如游离脂肪团损耗、睡眠质量降低、荷尔蒙代谢紊乱等生理病症,以及训练专注度下降、情绪焦虑等心理问题。

对运动员膳食的营养学分析进一步证实,运动员能量补给的功效与个人差异、文化背景、项目类型等诸多因素具有密切关联^[39-40]。过低或降低的能量可利用率(LEA),近年来被用于评估女性运动员因能量摄入不够合理而引发下丘脑功能紊乱,并造成的少经/无经等临床症状^[41]。然而,就运动员日常训练和膳食管理而论,尽管获取运动员个体能量消耗状况并无技术性障碍,但是在剧烈训练状态下,运动员机体通常会发生一系列应激性生理骤变,例如抑制食欲、改变饥饿感接受模式等,从而诱使运动员对膳食的接受力降低^[40]。

3.2 碳水化合物

一般地,在训练及比赛过程下,运动员的体能保障主要通过碳水化合物、蛋白质、脂肪三大能源物质的消

耗^[7,15]。碳水化合物及其分解质作为主要的供能物质,大量研究集中于探究碳水化合物对运动员,特别是参加耐力性或集体性项目选手,提升竞技能力的作用机理^[42-44]。Romijn 等^[45]运用稳定同位素示踪和间接测热法探讨了运动员体内内源性脂肪与葡萄糖代谢之间的关系,表明血浆葡萄糖的组织摄取和肌肉糖原氧化与训练强度呈正相关;相反地,外围脂肪团在最低训练强度下被最大程度激活,血浆中脂肪酸浓度随着训练强度的升高呈降低趋势。

通常而言,成年人通过日常膳食 $[45\% \sim 55\%]$ 葡萄糖 $3 \sim 5 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 就可基本达到所需碳水化合物的需求。但是随着训练强度的增加,职业运动员每日所需碳水化合物当量将达到 $8 \sim 10 \text{ g}$ ^[46],且膳食中碳水化合物的供给最好以谷物、蔬菜和水果等植物原为主^[47]。在碳水化合物的运动代谢机理方面,Cermak 等^[48]研究发现,在整个训练期内,运动员经过 $2 \sim 3 \text{ h}$ 的滞后期后,对碳水化合物的氧化速率可达到 60 g/h ,建议处于训练期内的运动员每小时补充碳水化合物为 0.7 g/kg 。研究^[49-52]表明,不同类型的碳水化合物因参与转运的蛋白差异,在骨骼肌等组织的氧化速率存在明显差异,且葡萄糖、蔗糖或麦芽糖和果糖的混合产物具有更高的外源性碳水化合物氧化速率。一些研究^[53-55]也发现,高分子量支链淀粉有利于在胃中形成较低的渗透压,导致碳水化合物的氧化速率显著升高(通常可达 100 g/h)。

关于碳水化合物氧化速率与最佳训练状态的持续间隙周期的关系,也是近年来的热点方向。已有报道^[48,56-57]发现,中等以上训练强度下,运动员训练前、后碳水化合物的摄入与补充的间隙时长应控制在 $60 \sim 90 \text{ h}$ 。

3.3 蛋白质

运动员日常膳食中所需蛋白质的建议供给量,一直是运动营养学领域长期争论的焦点^[58-59]。早期研究^[7]建议,人体膳食营养中每日蛋白质供给量(RDA)以 $0.8 \sim 1.0 \text{ g/kg}$ 为宜;近年来,大量研究^[58-60]发现,就在职运动员而言,其每日蛋白质供给推荐值应达到 $1.4 \sim 1.8 \text{ g/kg}$ 才能维持机体正常蛋白质代谢平衡。一旦运动员摄入蛋白质不足,将会诱发机体氮循环失衡,进而引起蛋白质异化代谢受阻,最终导致肌组织耗损、受伤,甚至出现对训练不耐性等症状^[61-63]。对于参加健身或者有意愿提升个人健康的普通群体而言,近期一些研究^[60,64-65]表明,每日蛋白质的建议摄入量需达到 $1.2 \sim 2.0 \text{ g/kg}$ 。Morton 等^[66]对 49 篇文献中 1 863 名受访者开展 meta 分析发现,每日蛋白质的最佳摄入量阈值为 1.62 g/kg ,超过该值将不会增加体内脱脂质量。年龄较高、不参加训练的居民($53 \sim 71$ 岁)每日蛋白质摄入推荐量高于 DRA 值(达到 $1.0 \sim 1.2 \text{ g/kg}$)。研究^[67-68]发现,年长的人群肌肉代谢较慢,需要 40 g 剂量的蛋白质摄入才能有效刺激肌蛋白的

合成。Moore 等^[69]调查未参加过体育活动的青少年群体后发现, 20 g 剂量就能最大限度地促成肌蛋白的合成。因此,在中等强度训练下,建议运动员每日蛋白质摄入量维持在 $1.2 \sim 2.2 \text{ g/kg}$ 。

就蛋白质代谢特性而言,因其来源、组成氨基酸的谱系以及合成和分离方法上的差异,决定分解产物氨基酸和多肽的可利用率,进而对一系列重要合成蛋白(诸如 α -乳白蛋白、 β -乳球蛋白、糖巨肽、免疫球蛋白、乳过氧化物酶等)生理活动造成影响^[60]。与此同时,外源性蛋白质的消化、合成以及参与各类代谢活动的速率也是影响其代谢机制的重要因素。例如,Tang 等^[70]研究表明,提取自干酪素、乳清、大豆等的不同类型蛋白质,由于其消化速率的差异,对机体一系列代谢以及肌蛋白的合成造成不同程度的影响。

3.4 脂肪

运动员日常膳食摄入的脂肪建议值与非运动人群无明显差异。为了维持能量均衡、储备肌内三酰甘油以及补充必需的外源性脂肪酸,在运动营养领域脂肪供给也是重要议题之一^[71]。不同项目的运动员所需脂肪的推荐值因训练状态和目标而存在一定差别。已有研究^[72-73]证实,摄入高含量脂肪的膳食对于维持体内睾酮代谢浓度具有紧密关系。Fry 等^[74]研究发现,在发生训练过度的情景下,较高的脂肪摄入将会引起睾酮生理活动抑制。因此,在高密度训练下,运动员脂肪摄入量应达到日常能量供给的 50% 左右^[71]。在运动员实施减脂训练情况下,其每日膳食中脂肪摄入量应控制在 $0.5 \sim 1.0 \text{ g/kg}$,即当天总热量输入的 20% ^[75]。因此,对于运动员脂肪调控来看,指导其各类食物所含有的类型以及估算其重量是应用较为广泛的现实策略^[34,75]。另一方面,以往运动员长期摄入高脂肪食物,越来越多的证据表明并没有产生明显的功效,并且还有可能增加肠胃消化的负担^[76]。

然而,近年来一些研究披露,关于运动状态下高脂肪摄入与代谢机理的认识发生严重翻转。其中一种观点认为,对于脂肪的管理策略应遵循“训练低,比赛高”,指的是通过严格的周期性饮食建立的一种精准化管理模式:在再次摄入碳水化合物之前,运动员进行 $1 \sim 3$ 周以高脂肪、低碳水化合物为营养搭配的膳食计划。然而,来自肌肉内适应的证据^[77]表明,上述脂肪管理策略并非与观测资料相吻合。关于脂肪的膳食营养管理的认识还不够清晰,例如不同学者^[77-78]关于生酮节食功效及其作用机制的研究结果存在明显差异,今后该方向的研究需要开展更加深入与微观的探讨。

4 结束语

随着国家对体育事业的重视力度不断提高,以及人们的参与热情持久不息,针对运动员,特别是职业优秀运动员的膳食营养管理呈越来越专业化、精细化和计量化

的特征。尽管制约运动员竞技水平的因素众多,但是优质的、科学的膳食营养供应与管理是取得优异比赛成绩的必要条件。作为运动营养管理领域的核心所在,能量、碳水化合物、蛋白质及其脂肪的摄入—消耗的代谢平衡与精准监控,使运动员营养策略建立与应用成为可能。除了文中所综述的碳水化合物等基本能源物质的代谢机制及其管理建议,目前众多的新兴功能性运动食品的作用机理、功效状况以及日常管理也值得进一步梳理与探究。

参考文献

- [1] MAUGHAN R J, DEPIESSE F, GEYER H. The use of dietary supplements by athletes[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2007, 25(Suppl 1): S103-S113.
- [2] THOMPSON J L. Energy balance in young athletes[J]. *International Journal of Sport Nutrition*, 1998, 8(2): 160-174.
- [3] ALAUNYTE I, STOJECESKA V, PLUNKETT A. Iron and the female athlete: A review of dietary treatment methods for improving iron status and exercise performance[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2015, 12(1): 12-29.
- [4] JOY E, KUSSMAN A, NATTIV A. 2016 update on eating disorders in athletes: A comprehensive narrative review with a focus on clinical assessment and management[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(3): 154-162.
- [5] 宇辑. 中运动营养研究及应用综述[J]. *中国体育教练员*, 2015(1): 16-18.
YU Ji. Research and application of sports nutrition in[J]. *Chinese Sports Coaches*, 2015(1): 16-18.
- [6] 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): 208-212.
DENG Tao-tao, JIAO Ying, LI Qi-geng. Present situation and future development of sports nutrition food industry[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2018, 30(2): 208-212.
- [7] KERKSICK C M, WILBORN C D, ROBERTS M D, et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendations[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2018, 15(1): 7-18.
- [8] 中国政府网. 体育事业发展概况[EB/OL]. (2019-11-06)[2020-11-06]. http://www.gov.cn/guoqing/2012-04/19/content_2584193.htm.
China government network. Overview of sports development[EB/OL]. (2019-11-06)[2020-11-06]. http://www.gov.cn/guoqing/2012-04/19/content_2584193.htm.
- [9] 中国政府网. 国务院办公厅印发《体育强国建设纲要》[EB/OL]. (2019-09-02)[2020-11-06]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/02/content_5426540.htm.
The general office of the State Council printed and distributed the outline for building a sports power[EB/OL]. (2019-09-02)[2020-11-06]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/02/content_5426540.htm.
- [10] MANORE M M. Dietary recommendations and athletic menstrual dysfunction[J]. *Sports Medicine*, 2002, 32(14): 887-901.
- [11] COTUGNA N, VICKERY C E, MCBEE S. Sports nutrition for young athletes[J]. *The Journal of School Nursing*, 2005, 21(6): 323-328.
- [12] 杨则宜. 运动营养生物化学研究发展[J]. *中国运动医学杂志*, 2004, 23(2): 158-165, 199.
YANG Ze-yi. Research and development of sports nutrition biochemistry[J]. *Chinese Journal of Sports Medicine*, 2004, 23(2): 158-165, 199.
- [13] 魏冰, 张云龙, 王文莹, 等. 运动饮料对运动人体代谢和运动能力的作用[J]. *中国食品学报*, 2007, 7(3): 37-42.
WEI Bing, ZHANG Yun-long, WANG Wen-ying, et al. Effects of sports drinks on human metabolism and exercise ability[J]. *Chinese Journal of Food*, 2007, 7(3): 37-42.
- [14] 刘冬, 谢佳. 基于合理膳食的蛋白食品对运动员产生的生理功效分析[J]. *食品与发酵科技*, 2020, 56(3): 98-107.
LIU Dong, XIE Jia. Analysis of physiological effects of protein food based on reasonable diet on Athletes[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2020, 56(3): 98-107.
- [15] 马艳, 席本玉, 喻龙. 运动膳食营养的研究进展[J]. *食品安全治理检测学报*, 2019, 10(14): 4 603-4 607.
MA Yan, XI Ben-yu, YU Long. Research progress of sports diet nutrition[J]. *Journal of Food Safety Management and Testing*, 2019, 10(14): 4 603-4 607.
- [16] 孟佳珩, 侯建鹏. 运动营养食品及其功能性成分研究进展[J]. *食品安全治理检测学报*, 2019, 10(15): 5 001-5 006.
MENG Jia-heng, HOU Jian-peng. Research progress of sports nutritional food and its functional components[J]. *Journal of Food Safety Management and Testing*, 2019, 10(15): 5 001-5 006.
- [17] 靳东生. 中国运动营养食品发展研究[J]. *饮料工业*, 2020, 23(4): 70-73.
JIN Dong-sheng. Research on the development of sports nutritional food in China[J]. *Beverage Industry*, 2020, 23(4): 70-73.
- [18] LEVINE S A, GORDON B, DERICK C L. Some changes in the chemical constituents of the blood following a marathon race[J]. *Journal of the American Medical Association*, 1924, 82: 1 778-1 779.
- [19] MACLAREN D. The 'rise' of sports nutrition (Editorial note)[J]. *Journal of Sports Sciences*, 1999, 17(12): 933-935.
- [20] 焦颖. 运动营养学: 一门飞速发展的新学科[J]. *北京体育大学学报*, 1996, 19(4): 43-48.
JIAO Ying. Sports nutrition: A new subject with rapid development[J]. *Journal of Beijing University of Physical Education*, 1996, 19(4): 43-48.
- [21] 任娇艳. 草鱼蛋白抗疲劳生物活性肽的制备分离及鉴定技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2008: 13-16.
REN Jiao-yan. Study on preparation, separation and identification technology of anti fatigue bioactive peptide of grass carp protein[D]. Guangzhou: South China University of technology, 2008: 13-16.
- [22] 黄国阳. 2种运动食品对人体运动能力的影响对比研究[J]. *食品与机械*, 2019, 35(4): 213-216.

- HUANG Guo-yang. Comparative study on the effects of two sports foods on human exercise ability[J]. Food & Machinery, 2019, 35(4): 213-216.
- [23] MAUGHAN R J, WILLIAMS C, CAMPBELL D M, et al. Fat and carbohydrate metabolism during low intensity exercise: Effects of the availability of muscle glycogen [J]. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1978, 39(1): 7-16.
- [24] ARENAS-JAL M, SUNE-NEGRE J M, PEREZ-LOZANO P, et al. Trends in the food and sports nutrition industry: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(14): 5-21.
- [25] SCHWENK T L, COSTLEY C D. When food becomes a drug: Nona nabolic nutritional supplement use in athletes[J]. The American Journal of Sports Medicine, 2002, 30(6): 907-916.
- [26] HILDEBRANDT C, RASCHNER C, AMMER K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria[J]. Sensors, 2010, 10(5): 4 700-4 715.
- [27] ISAACS H M. Nancy Clark's sports nutrition guidebook (2nd ed)[J]. British Journal of Sports Medicine, 2000, 34(5): 404.
- [28] BURKE L M. Energy needs of athletes[J]. Canadian Journal of Applied Physiology, 2001, 26(Suppl 1): S202-S219.
- [29] MANORE M M. Weight management for athletes and active individuals: A brief review[J]. Sports Medicine, 2015, 45(Suppl 1): S83-S92.
- [30] BLACK K E, SKIDMORE P M, BROWN R C. Energy intakes of ultraendurance cyclists during competition, an observational study[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2012, 22(1): 19-23.
- [31] LOUCKS A B. Energy balance and body composition in sports and exercise[J]. Journal of Sports Sciences, 2004, 22(1): 1-14.
- [32] BROUNS F, SARIS W H, STROECKEN J, et al. Eating, drinking, and cycling. A controlled tour de France simulation study: Part I [J]. International Journal of Sports Medicine, 1989, 10(Suppl 1): S32-S40.
- [33] BROUNS F, SARIS W H, STROECKEN J, et al. Eating, drinking, and cycling. A controlled tour de Frances imulation study: Part II[J]. International Journal of Sports Medicine, 1989, 10(Suppl 1): S41-S48.
- [34] KREIDER R B. Physiological considerations of ultraendurance performance[J]. International Journal of Sport Nutrition, 1991(1): 3-27.
- [35] MURPHY C H, HECTOR A J, PHILLIPS S M. Considerations for protein intake in managing weight loss in athletes[J]. European Journal of Sport Science, 2014, 15(1): 21-28.
- [36] MEYER N, REGUANT-CLOSA A. "Eat as if you could save the planet and win!" Sustainability integration into nutrition for exercise and sport[J]. Nutrients, 2017, 9(4): 412.
- [37] VINER R T, HARRIS M, BERNING J R, et al. Energy availability and dietary patterns of adult male and female competitive cyclists with lower than expected bonemineral density[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2015, 25(6): 594-602.
- [38] WARDENAAR F C, DIJKHUIZEN R, CEELEN I J, et al. Nutrient intake by ultramarathon runners: Can they meet recommendations? [J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2015, 25(4): 375-386.
- [39] FUDGE B W, WESTERTERP K R, KIPLAMAI F K, et al. Evidence of negative energy balance using doubly labelledwater in elite Kenyan endurance runners prior to competition[J]. British Journal of Nutrition, 2006, 95(1): 59-66.
- [40] BURKE L M, DEAKIN V. Clinical sports nutrition[M]. Australia: McGraw Hill Education, 2015: 32-39.
- [41] MELIN A, TORNBERG A B, SKOUBY S, et al. Low-energy density and high fiber intake are dietary concerns in female endurance athletes[J]. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 2016, 26(9): 1 060-1 071.
- [42] BROOKS G A, MERCIER J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: The "crossover" concept[J]. Journal of Applied Physiology, 1994, 76(6): 2 253-2 261.
- [43] WILLIAMS C, ROLLO I. Carbohydrate nutrition and team sport performance[J]. Sports Medicine, 2015, 45(Suppl 1): S13-S22.
- [44] HAWLEY J A, LECKEY J J. Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise[J]. Sports Medicine, 2015, 45(Suppl 1): S5-S12.
- [45] ROMIJN J A, COYLE E F, SIDOSSIS L S, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration[J]. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 1993, 265(3): E380-E391.
- [46] BURKE L M, HAWLEY J A, WONG S H, et al. Carbohydrates for training and competition[J]. Journal of Sports Sciences, 2011, 29(Suppl 1): S17-S27.
- [47] JENTJENS R, JEUKENDRUP A E. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery[J]. Sports Medicine, 2003, 33(2): 117-144.
- [48] CERMAK N M, VAN LOON L J. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid[J]. Sports Medicine, 2013, 43(11): 1 139-1 155.
- [49] CURRELL K, JEUKENDRUP A E. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2008, 40(2): 275-281.
- [50] VENABLES M C, BROUNS F, JEUKENDURP A E. Oxidation of maltose and trehalose during prolonged moderate-intensity exercise[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2008, 40(9): 1 653-1 659.
- [51] ACHTEN J, JENTJENS R L, BROUNS F, et al. Exogenous oxidation of isomaltulose is lower than that of sucrose during exercise in men[J]. The Journal of Nutrition, 2007, 137(5): 1 143-1 148.
- [52] JENTJENS R, ACHTEN J, JEUKENDRUP A E. High rates of exogenous carbohydrate oxidation from multiple transportable carbohydrates ingested during prolonged exercise[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2004, 36(9): 1 551-1 558.

- [53] LEIPER J B, AULIN K P, SODERLUND K. Improved gastric emptying rate in humans of a unique glucose polymer with gel-forming properties[J]. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 2000, 35(11): 1 143-1 149.
- [54] STEPHENS F B, ROIG M, ARMSTRONG G, et al. Post-exercise ingestion of a unique, high molecular weight glucose polymer solution improve performance during a subsequent bout of cycling exercise[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2008, 26(2): 149-154.
- [55] OLIVER J M, ALMADA A L, VAN ECK L E, et al. Ingestion of high molecular weight carbohydrate enhances subsequent repeated maximal power: A randomized controlled trial[J]. *PLoS One*, 2016, 11(9): e0163009.
- [56] COLOMBANI P C, MANNHART C, METTLER S. Carbohydrates and exercise performance in non-fasted athletes: A systematic review of studies mimicking real-life [J]. *Nutrition Journal*, 2013, 12: 16.
- [57] POCHMULLER M, SCHWINGSHACKL L, COLOMBANI P C, et al. A systematic view and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2016, 13: 27.
- [58] TARNOPOLSKY M A, MACDOUGALL J D, ATKINSON S A. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1988, 64(1): 187-193.
- [59] CHESLEY A, MACDOUGALL J D, TARNOPOLSKY M A, et al. Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1992, 73(4): 1 383-1 388.
- [60] JAGER R, KERKSICK C M, CAMPBELL B I, et al. International society of sports nutrition position stand: Protein and exercise[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2017, 14: 20.
- [61] PHILLIPS S M, VAN LOON L J C. Dietary protein for athletes: From requirements to optimum adaptation[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29(Suppl 1): S29-S38.
- [62] PHILLIPS S M. A brief review of higher dietary protein diets in weight loss: A focus on athletes[J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(SUP2): S149-S153.
- [63] PHILLIPS S M, CHEVALIER S, LEIDY H J. Protein “requirements” beyond the RDA: Implications for optimizing health[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2016, 41(5): 565-572.
- [64] TIPTON K D, WITARD O C. Protein requirements and recommendations for athletes: Relevance of ivory tower arguments for practical recommendations[J]. *Clinics in Sports Medicine*, 2007, 26(1): 17-36.
- [65] WITARD O C, WARDLE S L, MACNAUGHON L S, et al. Protein considerations for optimizing skeletal muscle mass in healthy young and older adults[J]. *Nutrients*, 2016, 8: 181.
- [66] MORTON R W, MURPHY K T, MCKELLAR S R, et al. A systematic view, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2018, 52(6): 376-384.
- [67] YANG Yi-fan, BREEN L, BURD N A, et al. Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108(10): 1 780-1 788.
- [68] MOORE D R, CHURCHWARD-VENNE T A, WITARD O, et al. Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men[J]. *The Journals of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 2015, 70(1): 57-62.
- [69] MOORE D R, ROBINSON M J, FRY J L, et al. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 89(1): 161-168.
- [70] TANG J E, MOORE D R, KUJBIDA G W, et al. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: Effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2009, 107(3): 987-992.
- [71] VENKATRAMAN J T, LEDDY J, PENDERGAST D. Dietary fats and immune status in athletes: Clinical implications[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000, 32(7Suppl): S389-S395.
- [72] HAMALAINEN E K, ADLERCREUTZ H, PUSKA P, et al. Decrease of serum total and free testosterone during a low-fat high-fibre diet[J]. *The Journal of Steroid Biochemistry*, 1983, 18(3): 369-370.
- [73] DORGAN J F, JUDD J T, LONGCOPE C, et al. Effects of dietary fat and fiber on plasma and urine androgens and estrogens in men: A controlled feeding study[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 64(6): 850-855.
- [74] FRY A C, KRAEMER W J, RAMSEY L T. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1998, 85(6): 2 352-2 359.
- [75] LEUTHOLTZ B, KREIDER R. Exercise and sport nutrition[M]// WILSON T, TEMPLE N. *Nutritional health*. Totowa: Humana Press, 2001: 56-71.
- [76] BURKE L M. Re-examining high-fat diets for sports performance: Did we call the ‘nail in the coffin’ too soon? [J]. *Sports Medicine*, 2015, 45(Suppl 1): S33-S49.
- [77] BURKE L M, ROSS M L, GARVICAN-LEWIS L A, et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers[J]. *The Journal of Physiology*, 2017, 595(9): 2 785-2 807.
- [78] COX P J, KIRK T, ASHMORE T, et al. Nutritional ketosis alters fuel preference and thereby endurance performance in athletes[J]. *Cell Metabolism*, 2016, 24(2): 256-268.