

专家论坛专栏

编者按:运动可以改善体质、增进健康,随着居民健康意识的增强,运动健身已经成为人们日常生活的一部分。配合运动,食用针对不同运动性质、不同人群状况的运动营养食品,可以起到减轻运动损伤、促进运动恢复、提高运动成绩的效果。为此,本期栏目特邀专家对运动营养食品中营养成分和功能因子、骨膳食营养补充剂的发展现状和研究进展进行系统阐述,希望为运动营养食品的开发提供理论指导,为公众了解运动营养食品知识提供有益帮助。

(栏目策划:李 宁)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.03.002

文章编号:2095-6002(2017)03-0016-09

引用格式: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 Hua, CHANG Cuiqing. Research progress on nutritional components and functional factors in sports nutrition food[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017,35(3):16-24.

运动营养食品中营养成分和功能因子研究进展

艾 华, 常翠青

(北京大学第三医院 运动医学研究所营养研究室,北京 100191)

摘 要:运动营养食品是指满足运动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要而专门加工的食品。随着我国民众对健康理念认知的提高和广泛参与各种运动锻炼,运动营养食品市场的规模也越来越大。对当前运动营养食品中一些重要的热点营养成分和功能因子的研究状况和进展进行了综述,并对有潜力的研发方向进行展望,以期为我国运动营养食品的研发提供线索和思路。

关键词:运动营养食品;营养成分;功能因子

中图分类号:TS201.4

文献标志码:A

随着民众对健康理念的不断加深,运动锻炼越来越成为流行趋势,相关的运动营养食品市场规模也越来越大。2015年11月国家卫生和计划生育委员会发布的GB 24154—2015《运动营养食品通则》将运动营养食品定义为:满足运动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要而专门加工的食品。运动营养食品往往通过提取、浓缩、纯化、混合以及其他方法进行制备或加工。

运动营养食品的主要目标对象是运动人群,既包括专业运动员,也包括经常参加体育锻炼的普通

健身者。当然,一般体力劳动者也可以食用。

运动人群食用运动营养食品,一是为了补充营养以满足机体运动所需,二是为了提高运动能力和运动成绩。专业运动员对这两个目的同样看中,而普通健身者往往更加看重前者,以提高身体健康水平为主要目的。因此,产品设计上,专业型运动营养食品与普通型应该各有侧重。

运动营养食品中的有效成分很多,可大致分为两类:营养物质补充类,活性或功能因子类。前者包括机体所需的营养素或其代谢产物,补充这些营养

收稿日期:2017-04-21

基金项目:国家重点研发计划项目课题(2016YFD0400603)。

作者简介:艾 华,男,研究员,博士,博士生导师,主要从事运动营养的研究和临床工作。

物质可满足运动和健康需求;后者指那些不属于营养物质但在人体内具有潜在改善运动能力作用的动植物活性或功能成分,以提高运动能力为主要目的。

本文对当前运动营养食品中一些热点营养成分或功能因子的研究状况和进展做简要介绍和综述,以期运动营养食品的研发提供线索和思路,同时对未来有潜力的研发方向提出建议。

1 营养物质补充类别

运动增加营养素和营养成分的代谢和消耗,运动还使机体组织器官产生应激、适应性改变或者损伤,这些使得运动机体对某些营养素和营养成分的需求增加,而普通常规膳食可能无法及时、适量地满足这些需求。因此,营养物质补充类别运动营养食品就是为了额外补充这些不足而设计的。

1.1 蛋白质

蛋白质不仅参与运动引起的骨骼肌损伤性修复和组织适应性增生,还在运动中参与供能,故运动人群的蛋白质需要量增加。在营养物质补充类中,蛋白质属于一大类。蛋白质是增肌的主力产品,市场上多见乳清蛋白和大豆蛋白。研究显示,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^[1],可以提高合成速率,增加肌肉的质量和力量^[2]。乳清蛋白比酪蛋白更有利于萎缩性骨骼肌的功能恢复^[3],比大豆蛋白更有利于瘦体重增加^[4]。乳清蛋白的这些作用可能与其较快、较高的消化吸收利用率以及丰富的亮氨酸有关。由于乳清蛋白消化吸收快,亮氨酸含量高,可引起血液氨基酸和亮氨酸含量快速升高^[5]。有人观察到,乳清蛋白比酪蛋白能更好地刺激骨骼肌蛋白质合成^[6]。

大量研究表明,当膳食蛋白质摄入不足或优质蛋白质摄入较少时,补充蛋白质类运动营养食品,可以明显改善机体状况,有利改善运动能力。因此,对于蛋白质补充,强调的是在膳食蛋白质不充足或不平衡的情况下进行补充。此时补充蛋白质,改善运动能力的效果就很明显;如果膳食蛋白质已经很充分、很平衡,补充蛋白质的效果则不一定明显。有的学者怀疑或有的实验不能显示补充蛋白质对运动后肌肉蛋白质合成的促进作用和效果^[7],其实是忽略了或没有满足补充蛋白质的基本条件。由于不能排

除某些个体在某种情况下可能存在的膳食蛋白质不合理、不充足的情况,运动个体补充蛋白质还是有必要的。

一般认为,运动后补充蛋白质,可以增加肌肉蛋白质的合成速度,有利于骨骼肌对运动的适应性增大、增强反应和骨骼肌功能的恢复^[8]。而运动前和运动中补充蛋白质,则不一定能够起到改善运动能力的作用^[7,9]。

蛋白质的分解产物多肽(包括小肽或微肽)是当前研究热点。多肽比完整的蛋白质更容易消化吸收。运动后不久在消化系统还没有完全恢复正常工作的情况下补充多肽,可加快肽的酶解和氨基酸的吸收利用,有利于运动相关组织器官的快速修复以及增肌性合成代谢。乳清蛋白水解物的运动实验结果支持以上结论^[10-11]。此外还发现富含L-异亮氨酸和L-亮氨酸-L-异亮氨酸二肽的乳清蛋白水解产物,有助于促进骨骼肌葡萄糖转运蛋白(GLUT 4)从细胞核周围转位到细胞膜,从而提高 GLUT4 将肌细胞外葡萄糖转运进入肌细胞的能力,促进葡萄糖的氧化供能或肌糖原合成^[12]。

支链氨基酸特别是亮氨酸的研究涉及多方面。补充亮氨酸可以提高运动后骨骼肌肌原纤维蛋白合成的速率。由于亮氨酸约占乳清蛋白氨基酸的10%,可能对乳清蛋白的增肌作用起到非常重要的作用^[13]。另外 β -丙氨酸对改善肌细胞内运动酸化性疲劳的作用也备受瞩目。补充 β -丙氨酸可以提高肌肽(carnosine)含量,减轻疲劳和疲劳感,促进恢复,还能增加瘦体重,增加肌肉力量和运动能力^[14]。肌肽是由 β -丙氨酸和L-组氨酸组成的二肽,具有抗氧化、调节钙离子、缓冲酸碱的作用^[15]。但是 β -丙氨酸提高运动能力的效果有限。有分析指出,补充 β -丙氨酸似乎只在感官指标和生化指标的层面上显示运动肌肉疲劳的改善,但在运动成绩指标上,效果不太明显^[16-17]。其实对于一种营养素,不要指望能有药物般的作用。如果有的话,那就不是营养素,而是兴奋剂了。引起较多关注的还有 β -羟基- β -甲基丁酸(β -HMB),它是亮氨酸在体内的代谢产物,补充后可增强骨骼肌蛋白质的合成^[18],改善运动后肌肉的酸痛^[19],有助于增加瘦体重,减少运动引起的肌肉损伤^[20]。不过研究显示, β -HMB的增肌作用,似乎与年龄和运动强度有关,对于运动强度不太大的老年人,效果不明显^[21]。

肌酸是体内天然存在的物质,内源性肌酸在肝

脏和肾脏由精氨酸、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。磷酸肌酸向ADP提供高能磷酸键,形成ATP,为骨骼肌收缩提供能量。研究显示,补充肌酸,对短时间(小于30s)、间歇性、高强度、抗阻性运动有增力作用^[22]。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^[23-24]。荟萃分析(Meta分析)显示,口服肌酸与抗阻力训练同时进行,可使老年增肌和增力的提高更为明显^[25]。研究建议在正常膳食情况下,每天可以补充5g肌酸,同时配合抗阻力训练^[25-26]。因为补充肌酸可以增肌增力,对于耐力性运动也有益处^[22]。肌酸不是兴奋剂,服用几乎没有副作用。肌酸除了在增肌增力方面的作用外,对认知和心理活动、骨健康、神经肌肉功能和肌肉骨骼损伤修复方面也有积极的作用^[27]。因此,肌酸一直是经典的增肌增力方面的运动营养食品成分。

肉碱在体内可通过1分子赖氨酸和3分子蛋氨酸合成,肾脏和肝脏是合成的主要器官,骨骼肌是主要的储存和使用组织。机体也可从动物性食物获得肉碱,植物性食物中肉碱含量很低甚至没有。食物来源的肉碱约占每天需要的1/2~2/3。肉碱最重要的功能是以酰基肉碱的载体形式,将长链脂肪酸从线粒体外运送到线粒体内,进行 β -氧化,提供能量。另外,肉碱使用安全性很高,没有什么副作用^[28]。

一些综述认为大量运动可以消耗和减少骨骼肌中肉碱含量,补充肉碱可以通过刺激脂肪酸代谢提高运动能力^[29-30]。补充肉碱还可以减轻缺氧训练的有害影响,加速运动应激的恢复^[31],还可减轻急性运动导致的脂质过氧化和肌肉损伤^[32]。但也有综述认为,补充肉碱提高运动能力特别是耐力性运动能力的作用不明显^[28,33]。不过新近对55~70岁的健康老年人联合补充肉碱、肌酸和亮氨酸的研究显示出肌量和肌力增加的结果^[34]。

1996年我国允许肉碱使用于饮料、乳饮料、固体饮料、饼干和胶囊中,2005年允许用于婴幼儿配方奶粉,2010年允许用于运动饮料。使用标准应满足GB 14880—2012《食品安全国家标准 食品营养强化剂使用标准》。除此之外,肉碱还常见用于减肥食品中。

其他氨基酸衍生物或代谢产物作为运动营养食

品成分的作用也多有研究,包括谷氨酰胺、酪氨酸、牛磺酸等。

1.2 碳水化合物

碳水化合物是大多数运动的主要供能营养素,补充碳水化合物对保持或提高运动能力的作用已经得到肯定^[35],目前的研究主要集中在补充的时间、剂量、类型、组合等细节上面。运动前通过补充碳水化合物,使肝糖原和肌糖原储备充分,运动中以糖电解质溶液即运动饮料的形式及时补充碳水化合物,维持血糖的正常并提供一定量的能量物质,均可保持稳定的机能状态,保证运动能力的正常发挥,延缓或减轻中枢和外周疲劳的发生和程度。运动后立即摄入碳水化合物,有利于肌糖原和肝糖原储备的快速恢复^[36]。

不同组分的小分子糖混合补充,可充分利用肠道不同的消化酶和肠黏膜吸收通道,增加糖分子的整体吸收速度,同时又不使血糖增加过高,引起降糖性内分泌反应,抑制交感—肾上腺系统,影响运动能力。研发运动前和运动中不同类型和分子大小的糖组合配方,有很大的应用价值。

将淀粉等水解为2~10个葡萄糖分子构成的麦芽低聚糖,摄入后可保持肠道较低渗透压,避免肠道内保留或吸收较多水分。还因分子大小不同致使消化吸收速度不同,可稳定维持血糖浓度,避免血糖瞬间升高,引起降糖性内分泌反应。此类低聚糖营养品运动前和运动中使用较好,单糖可逐步入血,延长供能时间。葡萄糖链接的低聚糖一般以淀粉为原料,通过酶解技术制成,具有甜度低、渗透压低、口感好、保湿性好、不易结晶等特点,可应用于液体和固体运动营养食品。

1.3 脂类

尽管脂肪在运动营养食品中没有受到过多的关注,但有实验报告,补充 ω -3多不饱和脂肪酸(ω -3 PUFA)后,青、中年受试者骨骼肌蛋白质合成代谢增强^[37-38]。 ω -3 PUFA在其中可能起了增敏作用。 ω -3 PUFA是细胞膜的重要组分,与脂质信号传导和细胞膜生物特性调节有关。 ω -3 PUFA,特别是EPA和DHA,因其抗炎特性,与心血管健康息息相关^[39]。研究报道肌肉减少症与慢性低度炎症相关^[40],补充 ω -3 PUFA可抵抗慢性炎症,缓解肌肉减少,对维护心血管和大脑细胞有益处,可改善老年性肌少症。有研究显示补充 ω -3 PUFA后老年人骨骼肌蛋白质合成代谢增强^[41]。每天补充含有2g EPA和DHA

的鱼油,结合抗阻力练习,老年妇女在90 d后肌肉力量得到增强^[42]。不过,有人通过综述分析得出结论:目前还无法确证补充 ω -3 PUFA可以提高运动能力,有关补充 ω -3 PUFA可以有效减弱运动性炎症和免疫调节反应的资料也不够充足^[43]。可见, ω -3 PUFA用于运动营养食品的可行性还需进一步探讨证实。

另外,脂类中磷脂酸的作用值得关注。已发现磷脂酸可以激活骨骼肌哺乳动物雷帕霉素靶标(mammalian target of rapamycin, mTOR),刺激骨骼肌蛋白质的代谢,促进肌肉增大和力量增强^[44]。抗阻力运动可使骨骼肌细胞内源性磷脂酸直接结合并激活mTOR。细胞实验显示外源性磷脂酸也可间接提高mTOR活性。因此,可以通过抗阻力训练联合口服补充磷脂酸,同时从内源性和外源性两个方面,发挥磷脂酸介导mTOR的增肌作用。此外,磷脂酸在老年性肌肉萎缩和疾病性肌萎缩方面,似乎也有改善作用^[44]。

1.4 水和运动饮料

尽管许多人不把水纳入营养素的范围,但在运动营养概念中,水的作用却十分重要,机体良好的水合状态与运动能力息息相关。我国的运动饮料国家标准规定运动饮料必须含有的基本要素是水和一定含量的碳水化合物、钠离子、钾离子^[45]。在此基础上,可根据运动饮料的目标人群,添加其他营养物质或活性成分。运动饮料或可属于能量饮料或功能饮料的范畴。功能饮料大部分都含有咖啡因和碳水化合物,有的还含有某些氨基酸、维生素、矿物质以及某些植物化学类物质^[46]。不管是运动饮料或者功能饮料,主要目的还是补水,同时补充运动中损耗的电解质和能量,以保持运动机体的体温平衡、水电平衡、酸碱平衡以及能量平衡。运动饮料对维持运动能力以及促进运动后恢复的作用得到一致肯定。目前通用型或大众性运动饮料早已占据市场,值得开发的是那些特殊型或小众性的运动饮料,例如针对增肌群体添加以亮氨酸为主的支链氨基酸的运动饮料。

1.5 其他

研究发现碳酸氢钠、柠檬酸钠、乳酸钠、乳酸钙补充剂可增加细胞外液的酸缓冲能力,其中碳酸氢钠(按0.3 g/(bw·kg))可能是改善高强度运动能力效果最好的。如果碳酸氢钠联合 β -丙氨酸一起补充,可从细胞外液和细胞内液两方面同时改善运动

性酸积累的问题,从而延缓或减轻疲劳,提高运动能力^[47]。

2 活性或功能因子类别

2.1 天然脂解物质

增加运动中或运动后体脂分解能力,是提高耐力运动能力和运动减肥效果的重要一环。研究显示,动植物中一些天然物质具有刺激脂解的作用,如果与运动联合,脂解的效应可以累加。此类产品对于减控体重项目的运动员和减肥控体重的普通健身者均具有吸引力。但是,一些脂解物质的真实效果仍然存在争议。已经发现咖啡因、绿茶提取物(茶碱)、藤黄果提取物(羟基柠檬酸)、辣椒素、人参(皂甙)、丝肽、二十八醇、肉碱、牛磺酸等可通过增强脂肪分解代谢作用,提高耐力运动能力。其中,以咖啡因和绿茶提取物的作用最为可靠^[48]。其他那些宣称具有脂解作用和提高运动耐力的物质,还需获得更多的实验数据和现场数据的支持。

甜菜碱(betaine)是从甜菜分离的甘氨酸的甲基衍生物,在肝脏中代谢为二甲基甘氨酸(dimethylglycine)和肌氨酸(sarcosine)。动物和人体研究表明,甜菜碱对耐力和抗阻力运动有积极作用。此外补充甜菜碱还可以促进减脂或增加瘦体重。不过,也有一些研究报告甜菜碱没有明显的作用。研究显示,甜菜碱的作用可能与促进脂肪分解和抑制脂肪合成有关,机理涉及脂代谢相关蛋白的表达调节、胰岛素样生长因子-1(IGF-1)和生长激素分泌增加、胰岛素受体信号通路激活、肌酸和蛋白质合成增加等过程。甜菜碱的补充剂量为500~9 000 mg/d^[49]。

2.2 硝酸盐

研究显示,补充富含硝酸盐的甜菜根汁或硝酸盐,可加快高强度运动中氧的摄入量 and 提升运动耐力^[50-51]。甜菜根(beta vulgaris rubra, red beetroot)是硝酸盐(NO_3^-)的重要膳食来源,甜菜根中还含有其他生物活性成分如酚类(类黄酮、酚酸、酚酰胺)、维生素C、类胡萝卜素、甜菜碱等,具有抗氧化、抗炎和血管保护作用,已经在降低血压、减轻炎症、对抗氧化应激、保护血管内皮和恢复脑血管血流等方面得到实际应用^[52]。荟萃分析指出,补充硝酸盐可提高耐力运动的能力,但需进一步摸索最佳补充剂量和最佳效果的条件^[53]。有人比较了高强度与低强

度、长时间与短时间、连续性与间歇性、正常氧与低度氧等不同的运动状况,总结认为硝酸盐补充可能有助于提高运动能力^[54]。有人报告,补充5~6 mmol的硝酸盐,3 h内观察到耗氧量下降。每天补充同剂量的硝酸盐,可以连续15 d观察到相同的结果。有几种类型的运动,包括骑车、步行、跑步、伸膝运动等,都报告了类似的结果。补充硝酸盐可使高强度连续运动的时间延长16%~25%而不疲劳。体育爱好者和中等程度受训的运动员补充硝酸盐后,4,10,16.1 km自行车运动成绩能够提高1%~2%^[55]。短期服用富含硝酸盐的甜菜根饮料,可以增加肌肉氧合速率,加快氧化代谢的调节,并增强运动耐力。补充NO₃⁻可能特异性作用于II型肌纤维,改善其生理功能^[56]。

研究显示NO₃⁻的这些作用是通过降低血压、增加血流量以及提高运动组织微循环局部氧分压等生理机制实现的^[57]。补充硝酸盐使运动中消耗氧量减少的机理,可能与线粒体呼吸和肌肉能量收缩调节有关^[58]。研究表明,补充无机硝酸盐,可导致次极量运动中摄氧量显著降低,骨骼肌功效增强。硝酸盐的生理机制尚未完全清楚,但可能与其在体内转化为亚硝酸盐以及一氧化氮有关。亚硝酸盐和一氧化氮可能通过调控肌质网钙离子或肌动蛋白与肌球蛋白之间相互作用来影响肌肉收缩的效率,并且还可以提高线粒体氧化磷酸化的效率^[55]。

2.3 咖啡因

研究证明,咖啡因在提高运动耐力方面有作用,但在力量型或冲刺型运动方面的结果却不相一致^[59]。研究结果一般认可中、高剂量的咖啡因(5~13 mg/(bw·kg))对运动能力的促进作用,但可能有一些不良副作用。而低剂量的咖啡因(<3 mg/(bw·kg),约200 mg)也可提高某些运动项目的成绩。咖啡因提高运动能力的作用与中枢神经系统的兴奋刺激有关。使用低剂量咖啡因的副作用极少,还可提高或保持运动期间的警醒、机敏、情绪和思维。但应注意,低剂量咖啡因的效果会因人而异^[60]。

绿茶通过作用交感神经系统,引起大脑神经兴奋,并使能量物质氧化代谢增强,从而影响运动表现。绿茶有2个主要成分与此作用有关,一个是咖啡因,另一个是儿茶素^[61]。

由于咖啡在日常生活长期食用,人们对咖啡因的安全性一般没有疑问,导致含有咖啡因的产品越来越多,有饮料、片剂、胶囊、其他固体形式,使用

的目的包括减肥、运动助力、提神等。但是作为提取物单体以及与其他提取物混合使用,使得咖啡因可能与咖啡的情况有所不同。有人建议应对长期使用咖啡因的副作用进行深入研究^[46]。研究观察到,儿童少年高咖啡因摄入(>5 mg/(bw·kg·d))可能增加焦虑等的风险,而低摄入量没有这样的副作用,并且可以提高运动能力。证据表明,儿童少年每天的咖啡因消耗量应限制在2.5 mg/(bw·kg·d),相当于一大杯茶或一小杯咖啡^[62]。

国内外研究人员对存在于动植物中潜在的可改善运动能力的活性或功能因子的研发一直在进行。除上述活性因子外,多酚、皂苷、黄酮等活性成分的研究也开展较多。

3 研究方向展望

3.1 发酵食品活性物质

已经发现一些发酵类食品具有运动营养食品的功能作用^[63]。有人观察到牛奶^[64-65]、土豆^[66]、豆浆^[67]、木瓜^[68]、猪胎盘^[69-71]、大米糠^[72]、红景天^[73]、鹿茸^[74]等发酵食品或提取物有改善运动能力的作用。发酵食品的原料来源广泛多样,几乎可以囊括所有食物和某些非食物,可供发酵的微生物也种类繁多。食物发酵后,可产生一些原料食物中没有的新物质。可以选择、尝试不同的有益发酵微生物对不同食品进行发酵,从中发现有潜力的活性成分,成为运动营养食品的新资源。

3.2 海洋来源的活性物质

从海洋生物中寻找、提取活性物质是另一个方向。已经研发的海洋活性物质包括环氧合酶抑制剂、海洋类固醇、大环内酯类、抗氧化剂、产热物质、改善免疫力和软骨保护的物质、几丁质、壳聚糖、 ω -3 UPFA等^[75]。对肌肉酸痛有作用的海洋性活性物质有雨生红球藻(*Haematococcus pluvialis*)中的虾青素,螺旋藻(*Spirulina*)中的藻蓝蛋白^[75-76]。抗氧化、抗炎作用的海洋性活性物质有雨生红球藻中的虾青素,螺旋藻中的藻蓝蛋白,蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)中的叶黄素和玉米黄质,盐生杜氏藻(*Dunaliella salina*)中的 β -胡萝卜素,鱼腥藻中的超氧化物歧化酶,节旋藻(*Arthrospira*)中的 γ -亚麻酸,*Stylocheilus longicauda*中的大环内酯类化合物,紫球藻(*Porphyridium*)中的 γ -氨基丁酸等^[75-78]。促进脂肪动员的海洋性活性物质有裙带菜(*Undaria pin-*

natifida)中的墨角藻黄素(fucoxanthin)^[75,79]。抗蛋白分解,提高肌肉功能的海洋性蛋白质有杜氏藻(*Dunaliella*)和节旋藻(*Arthrospira platensis*)中的蛋白质,鞭金藻(*I. galbana*)中的碳酸酐酶蛋白质^[75-76]等。

3.3 功效成分的组合配方

利用已知的营养功效成分,设计具有特定作用的运动营养食品组合配方,是当前研发的重点。运动往往涉及机体的诸多代谢通路,也涉及多种营养物质或功效成分的消耗。补充运动营养食品必须考虑相关营养物质和功能因子的同时应用。设计合理的组合配方运动营养食品可以起到事半功倍的效果。例如运动饮料就是一种配方运动营养食品。再例如,运动时氧消耗增加,氧代谢增强,活性氧等自由基大量生成。同时,机体的抗氧化防御机制适应性上调,以抑制氧化应激。通过长期锻炼适应,随着机体的氧化应激机制逐渐增强,氧化应激反应会有所下降。在此过程中,适时适量补充抗氧化营养素如维生素E、维生素C、 β -胡萝卜素、锌、铜、硒以及其他抗氧化活性物质如番茄红素等,则对机体抗氧化和抗氧化适应产生有利作用。这些抗氧化物质往往在不同的途径和层面对抗自由基,相互不可替代,最好补充齐整。这就要求针对性设计具有适当剂量功能成分的抗氧化运动营养配方食品。还有含有优质蛋白质、亮氨酸和肌酸的老年增肌配方食品,碳酸氢盐(细胞外液抗酸)和 β -丙氨酸(细胞内液抗酸)联合组方的抗酸运动营养食品^[80]等。另外,运动性损伤康复的组方营养食品市面上也比较少见,值得研发。

参考文献:

- [1] PATEL S. Emerging trends in nutraceutical applications of whey protein and its derivatives[J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2015, 52(11): 6847 - 6858.
- [2] MCLELLAN T M. Protein supplementation for military personnel; a review of the mechanisms and performance outcomes[J]. *Journal of Nutrition*, 2013, 143(11): 1820 - 1833.
- [3] MARTIN V, RATEL S, SIRACUSA J, et al. Whey proteins are more efficient than casein in the recovery of muscle functional properties following a casting induced muscle atrophy[J]. *PLOS One*, 2013, 8(9): 75401 - 75408.
- [4] VOLEK J S, VOLK B M, GOMEZ A L, et al. Whey protein supplementation during resistance training augments lean body mass[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2013, 32(2): 122 - 135.
- [5] BURD N A, YANG Y F, MOORE D R, et al. Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108(6): 958 - 962.
- [6] PENNINGS B, BOIRIE Y, SENDEN J M, et al. Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 93(5): 997 - 1005.
- [7] MCLELLAN T M, PASIAKOS S M, LIEBERMAN H R. Effects of protein in combination with carbohydrate supplements on acute or repeat endurance exercise performance: a systematic review[J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(4): 535 - 550.
- [8] PASIAKOS S M, LIEBERMAN H R, MCLELLAN T M. Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review[J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(5): 655 - 670.
- [9] VAN LOON L J. Is there a need for protein ingestion during exercise? [J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(s): 105 - 111.
- [10] MOURA C S, LOLLO P C, MORATO P N, et al. Whey protein hydrolysate enhances HSP90 but does not alter HSP60 and HSP25 in skeletal muscle of rats[J]. *PLOS One*, 2014, 9(1): e83437.
- [11] LOLLO P C, AMAYA-FARFAN J, FARIA I C, et al. Hydrolysed whey protein reduces muscle damage markers in Brazilian elite soccer players compared with whey protein and maltodextrin: a twelve-week in-championship intervention [J]. *International Dairy Journal*, 2014, 34(1): 19 - 24.
- [12] MORATO P N, LOLLO P, MOURA C S, et al. A dipeptide and an amino acid present in whey protein hydrolysate increase translocation of GLUT-4 to the plasma membrane in Wistar rats[J]. *Food Chemistry*, 2013, 139(1/4): 853 - 859.
- [13] CHURCHWARD-VENNE T A, BREEN L, DI DONATO D M, et al. Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: a double-blind, randomized trial[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*,

- 2014, 99(2): 276–286.
- [14] CERMAK N M, VAN LOON L J. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid[J]. *Sports Medicine*, 2013, 43(11): 1139–1155.
- [15] BLANCQUAERT L, EVERAERT I, DERAIVE W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance[J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2015, 18(1): 63–70.
- [16] BERTI ZANELLA P, DONNER ALVES F, GUERINI DE SOUZA C. Effects of beta-alanine supplementation on performance and muscle fatigue in athletes and non-athletes of different sports: a systematic review[J/OL]. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*. [2017-04-02]. <http://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y9999N00A16070507&acquisto=1>.
- [17] BELLINGER P M. Beta-alanine supplementation for athletic performance: an update[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2014, 28(6): 1751–1770.
- [18] ANTHONY J C, YOSHIZAWA F, ANTHONY T G, et al. Leucine stimulates translation initiation in skeletal muscle of postabsorptive rats via a rapamycin-sensitive pathway[J]. *Journal of Nutrition*, 2000, 130(10): 2413–2419.
- [19] MORTON J P, KAYANI A C, MCARDLE A, et al. The exercise-induced stress response of skeletal muscle, with specific emphasis on humans[J]. *Sports Medicine*, 2009, 39(8): 643–662.
- [20] LUCKOSE F, PANDEY M C, RADHAKRISHNA K. Effects of amino acid derivatives on physical, mental, and physiological activities[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015, 55(13): 1793–1807.
- [21] PHILLIPS S M. Nutritional supplements in support of resistance exercise to counter age-related sarcopenia[J]. *Advances in Nutrition*, 2015, 6(4): 452–460.
- [22] TWYLCROSS-LEWIS R, KILDUFF L P, 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.
- [23] BRANCH J D. Effect of creatine supplementation on body composition and performance: a meta-analysis[J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2003, 13(2): 198–226.
- [24] RAWSON E S, VENEZIA A C. 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.
- [25] DEVRIES M C, PHILLIPS S M. Creatine supplementation during resistance training in older adults: a meta-analysis[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2014, 46(6): 1194–1203.
- [26] CANDOW D G, CHILIBECK P D, FORBES S C. Creatine supplementation and aging musculoskeletal health[J]. *Endocrine*, 2014, 45(3): 354–361.
- [27] HAVENETIDIS K. The use of creatine supplements in the military[J]. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 2016, 162(4): 242–248.
- [28] PEKALA J, PATKOWSKA-SOKOŁA B, BODKOWSKI R, et al. L-carnitine-metabolic functions and meaning in humans life[J]. *Current Drug Metabolism*, 2011, 12(7): 667–678.
- [29] BENVENGA S. Effects of L-carnitine on thyroid hormone metabolism and on physical exercise tolerance[J]. *Hormone and Metabolic Research*, 2005, 37(9): 566–571.
- [30] CHA Y S. Effects of L-carnitine on obesity, diabetes, and as an ergogenic aid[J]. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2008, 17(s): 306–308.
- [31] KARLIC H, LOHNINGER A. Supplementation of L-carnitine in athletes: does it make sense[J]. *Nutrition*, 2004, 20(7/8): 709–715.
- [32] PARANDAK K, ARAZI H, KHOSHKAHAESH F, et al. The effect of two-week L-carnitine supplementation on exercise-induced oxidative stress and muscle damage[J]. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2014, 5(2): 123–128.
- [33] SPRIET L L, PERRY C G, TALANIAN J L. Legal prevent nutritional supplements to assist energy metabolism[J]. *Essays in Biochemistry*, 2008(44): 27–43.
- [34] EVANS M, GUTHRIE N, PEZZULLO J, et al. Efficacy of a novel formulation of L-carnitine, creatine, and leucine on lean body mass and functional muscle strength in healthy older adults: a randomized, double-blind placebo-controlled study[J]. *Nutrition & Metabolism*, 2017, 14: 7–23.
- [35] HAWLEY J A, LECKEY J J. Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise[J]. *Sports Medicine*, 2015, 45(1): 5–12.
- [36] WILLIAMS C, ROLLO I. Carbohydrate nutrition and team sport performance[J]. *Sports Medicine*, 2015, 45(1): 13–22.
- [37] SMITH G I, ATHERTON P, REEDS D N, et al. Omega-3

- polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women[J]. *Clinical Science*, 2011, 121(5/6): 267 – 278.
- [38] MCGLORY C, GALLOWAY S D, HAMILTON D L, et al. Temporal changes in human skeletal muscle and blood lipid composition with fish oil supplementation [J]. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 2014, 90: 199 – 206.
- [39] YUSOF H M, MILES E A, CALDER P. Influence of very long-chain n-3 fatty acids on plasma markers of inflammation in middle-aged men[J]. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 2008, 78: 219 – 28.
- [40] BEYER I, METS T, BAUTMANS I. Chronic low-grade inflammation and age-related sarcopenia [J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 2012, 15(1): 12 – 22.
- [41] SMITH G I, ATHERTON P, REEDS D N, et al. Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 93(2): 402 – 412.
- [42] RODACKI C L, RODACKI A L, PEREIRA G A, et al. Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2012, 95(2): 428 – 436.
- [43] SHEI R J, LINDLEY M R, MICKLEBOROUGH T D. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in the optimization of physical performance[J]. *Military Medicine*, 2014, 179(11): 144 – 156.
- [44] SHAD B J, SMEUNINX B, ATHERTON P J. The mechanistic and ergogenic effects of phosphatidic acid in skeletal muscle[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2015, 40(12): 1233 – 1241.
- [45] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 运动饮料: GB 15266—2009 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [46] GURLEY B J, STEELMAN S C, THOMAS S L. Multi-ingredient, caffeine-containing dietary supplements: history, safety, and efficacy [J]. *Clinical Therapeutics*, 2015, 37(2): 275 – 301.
- [47] LANCHA JUNIOR A H, PAINELLI V D, ARTIOLI G G. Nutritional strategies to modulate intracellular and extracellular buffering capacity during high-intensity exercise[J]. *Sports Medicine*, 2015, 45(1): 71 – 81.
- [48] KIM J, PARK J, LIM K. Nutrition supplements to stimulate lipolysis: a review in relation to endurance exercise capacity[J]. *Journal of Nutritional Science and Vitaminy*, 2016, 62(3): 141 – 161.
- [49] CHOLEWA J M, GUIMARÃES F L, ZANCHI N E. Effects of betaine on performance and body composition: a review of recent findings and potential mechanisms [J]. *Amino Acids*, 2014, 46(8): 1785 – 1793.
- [50] BREESE B C, MCNARRY M A, MARWOOD S A, et al. Beetroot juice supplementation speeds O₂ uptake kinetics and improves exercise tolerance during severe-intensity exercise initiated from an elevated metabolic rate [J]. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 2013, 305(12): 1441 – 1450.
- [51] PAWLAK-CHAOUCH M, BOISSIERE J, GAMELIN F X, et al. Effect of dietary nitrate supplementation on metabolic rate during rest and exercise in human: a systematic review and a meta-analysis [J]. *Nitric Oxide*, 2016, 53: 65 – 76.
- [52] CLIFFORD T, HOWATSON G, WEST D J, et al. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease [J]. *Nutrients*, 2015, 7(4): 2801 – 2822.
- [53] MCMAHON N F, LEVERITT M D, PAVEY T G. The effect of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance in healthy adults: a systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Medicine*, 2016: 1 – 22.
- [54] JONES A M. Influence of dietary nitrate on the physiological determinants of exercise performance: a critical review [J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2014, 39(9): 1019 – 1028.
- [55] JONES A M, VANHATALO A, BAILEY S J. Influence of dietary nitrate supplementation on exercise tolerance and performance [J]. *Nestle Nutrition Institute Workshop*, 2013, 75: 27 – 40.
- [56] BAILEY S J, VARNHAM R L, DIMENNA F J, et al. Inorganic nitrate supplementation improves muscle oxygenation, O₂ uptake kinetics, and exercise tolerance at high but not low pedal rates [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2015, 118(11): 1396 – 1405.
- [57] CLEMENTS W T, LEE S R, BLOOMER R J. Nitrate ingestion: a review of the health and physical performance effects [J]. *Nutrients*, 2014, 6(11): 5224 – 5264.
- [58] BAILEY S J, WINYARD P, VANHATALO A, et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-

- intensity exercise in humans [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2009, 107(4): 1144–1155.
- [59] TREXLER E T, SMITH-RYAN A E. Creatine and caffeine: considerations for concurrent supplementation [J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2015, 25(6): 607–623.
- [60] SPRIET L L. Exercise and sport performance with low doses of caffeine [J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(2): 175–184.
- [61] TURKOZU D, TEK N A. A minireview of effects of green tea on energy expenditure [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(2): 254–258.
- [62] RUXTON C. The suitability of caffeinated drinks for children: a systematic review of randomised controlled trials, observational studies and expert panel guidelines [J]. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 2014, 27(4): 342–357.
- [63] 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.
- [64] IWASA M, AOI W, MUNE K, et al. Fermented milk improves glucose metabolism in exercise-induced muscle damage in young healthy men [J]. *Nutrition Journal*, 2013(12): 83–90.
- [65] AOI W, NAITO Y, NAKAMURA T, et al. Inhibitory effect of fermented milk on delayed-onset muscle damage after exercise [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2007, 18(2): 140–145.
- [66] CHUANG C Y, SHI Y C, YOU H P, et al. Antidepressant effect of GABA-rich monascus-fermented product on forced swimming rat model [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(7): 3027–3034.
- [67] SATO T, SHINOHARA Y, KANEKO D, et al. Fermented soymilk increases voluntary wheel running activity and sexual behavior in male rats [J]. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2010, 35(6): 749–754.
- [68] ARUOMA O I, HAYASHI Y, MAROTTA F, et al. Applications and bioefficacy of the functional food supplement fermented papaya preparation [J]. *Toxicology*, 2010, 278(1): 6–16.
- [69] MITSUI Y, BAGCHI M, MARONE P A, et al. Safety and toxicological evaluation of a novel, fermented, peptide-enriched, hydrolyzed swine placenta extract powder [J]. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 2015, 25(1): 13–20.
- [70] KIM H Y, HAN N R, KIM N R, et al. Effect of fermented porcine placenta on physical fatigue in mice [J]. *Experimental Biology and Medicine*, 2016, 241(17): 1985–1996.
- [71] NAM S Y, KIM H M, JEONG H J. Anti-fatigue effect by active dipeptides of fermented porcine placenta through inhibiting the inflammatory and oxidative reactions [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2016, 84: 51–59.
- [72] KIM K M, YU K W, KANG D H, et al. Anti-stress and anti-fatigue effect of fermented rice bran [J]. *Phytotherapy Research*, 2002, 16(7): 700–702.
- [73] KANG D Z, HONG H D, KIM K I, et al. Anti-fatigue effects of fermented *Rhodiola rosea* extract in mice [J]. *Preventive Nutrition & Food Science*, 2015, 20(1): 38–42.
- [74] JANG S, PARK E D, SUH H J, et al. Enhancement of exercise endurance capacity by fermented deer antler in BALB/c mice [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2014, 78(10): 1716–1722.
- [75] GAMMONE M A, GEMELLO E, RICCIONI G, et al. Marine bioactives and potential application in sports [J]. *Marine Drugs*, 2014, 12(5): 2357–2382.
- [76] DE JESUS-RAPOSO M F, DE MORAIS R M, DE MORAIS A M. Health applications of bioactive compounds from marine microalgae [J]. *Life Sciences*, 2013, 93(15): 479–486.
- [77] PLAZA M, HERRERO M, CIFUENTES A, et al. Innovative natural functional ingredients from microalgae [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(16): 7159–7170.
- [78] SUN Y, WANG C. The optimal growth conditions for the biomass production of *isochrysis galbana* and the effects that phosphorus, Zn^{2+} , CO_2 , and light intensity have on the biochemical composition of *isochrysis galbana* and the activity of extracellular CA [J]. *Biotechnology Bio-process Engineering*, 2009, 14: 225–231.
- [79] WOO M N, JEON S M, SHIN Y C, et al. Anti-obese property of fucoxanthin is partly mediated by altering lipid-regulating enzymes and uncoupling proteins of visceral adipose tissue in mice [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2009, 53(12): 1603–1611.
- [80] SAHLIN K. Muscle energetics during explosive activities and potential effects of nutrition and training [J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(2): 167–173.

Research Progress of *Lycium barbarum* Polysaccharide

WANG Changlu, WANG Nifei, LI Zhenjing

(School of Food Engineering and Biotechnology/Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: *Lycium barbarum* polysaccharide (LBP) is one of the major ingredients responsible for those biological activities in *Lycium barbarum* L. . It has been the hot spot in recent years because of its various important biological activities, such as antioxidant, immunomodulation and antitumor. The purpose of the present review is to summarize previous and current references regarding the preparation, biological activities as well as development of LBP. The preparation of LBP includes extraction, separation, and purification. The extraction methods contain water extraction and alcohol precipitation, alkali extraction, ultrasonic extraction, and microwave-assisted. Separation and purification methods consist of Sevage, TCA, protease, active carbon, polymer-salt aqueous two-phase systems and other methods. The above methods are used to remove free protein, pigments and other impurities from polysaccharides. After that, precipitation, cellulose ion exchange column chromatography, and gel filtration chromatography are used to purify single polysaccharide. Besides, this article introduces the application of LBP in the pharmaceutical, food, livestock feed, and other areas. The future research directions are suggested for the further study and utilization of LBP.

Keywords: *Lycium bararum*; polysaccharide; biological activities; utilization

(责任编辑:叶红波)

(上接第24页)

Research Progress on Nutritional Components and Functional Factors in Sports Nutrition Food

AI Hua, CHANG Cuiqing

(Nutrition Section, Institute of Sports Medicine, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China)

Abstract: Sports nutrition food is defined as food that meet the physiological metabolism, exercise ability and special needs for certain nutrients of exercisers. With the improvement of people's awareness of health concept and extensive participation in various exercise training, sports nutrition food market is also growing. In this paper, the research status and progress of some important hotspot nutrients and functional factors in the current sports nutrition food are reviewed, and the potential research and development direction is forecasted in order to provide clues and ideas for the development of sports nutrition food in China.

Keywords: sports nutrition food; nutritional components; functional factors

(责任编辑:李 宁)