

运动营养补充剂的研究进展

娜迪拉·巴吾尔江, 蔡美琴

摘要:

运动可引起体内能源物质的消耗及内环境的改变, 进而影响人体的运动能力和运动表现, 使用营养补充剂可以补充能源物质, 维持生物体内的环境稳态。本文综述了β-丙氨酸、硝酸盐、植物多酚以及多组分运动补充剂等近年来国内外热点研究的补充剂在提高运动能力、降低氧耗、减少肌肉损伤等方面的研究进展, 为运动员提供更多的选择。

关键词: β-丙氨酸; 硝酸盐; 植物多酚; 多组分运动补充剂; 运动表现

引用: 娜迪拉·巴吾尔江, 蔡美琴. 运动营养补充剂的研究进展[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(2): 179-183. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16481

Advances on sports nutrition supplements Nadila BAWUERJIANG, CAI Mei-qin (School of Public Health, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China). Address correspondence to CAI Mei-qin, E-mail: caimeiqin@sjtu.edu.cn • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

Physical exercise can induce depletion of internal energy substrates and changes in internal environment homeostasis, thus influencing exercise ability and performance. The ingestion of appropriate supplements can supply energy substances and maintain internal environment homeostasis. The paper reviewed the beneficial effects of beta-alanine, nitrate, polyphenol, and multi-ingredient performance supplements on enhancing exercise ability, reducing oxygen cost, reducing muscle damage, and so on, in order to offer more choices to athletes.

Keywords: beta-alanine; nitrate; polyphenol; multi-ingredient performance supplements; exercise performance

Citation: Nadila BAWUERJIANG, CAI Mei-qin. Advances on sports nutrition supplements[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(2): 179-183. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16481

运动有助于维持身体健康, 提高氧气摄入量及利用率、增强代谢活性等。然而, 剧烈运动会增加人体的负担, 随着运动强度的提高和时间的增加, 超氧阴离子、羟基和过氧自由基等活性氧会过度产生。活性氧的产生一旦超过内源性抗氧化系统的防御能力, 便会引起氧化应激^[1]。运动还可消耗能源物质, 导致乳酸等代谢产物在体内堆积。血液及骨骼肌细胞内所储存的缓冲物质不能及时缓冲运动中生成的酸性产物时, 可导致血液和骨骼肌细胞酸性增强。氧化应激及酸性物质会损坏膜脂和膜蛋白, 引起肌肉微小损伤, 使肌肉的输出功率下降, 产生疲劳。人体自身有一套比较完善的抗自由基体系, 抗氧化酶可以清除体内自

由基, 防止有害自由基对机体的伤害, 维持体内自由基平衡, 保证机体健康^[2]。当运动超过生理负荷时, 运动员可通过补充抗氧化剂、缓冲物质以及能源物质来提高运动成绩。本文对近年来国内外研究较多的β-丙氨酸、硝酸盐、植物多酚以及以肌酸为主要成分的多组分运动补充剂作一综述。

1 β-丙氨酸

β-丙氨酸是一种可以由肝脏产生的非蛋白质氨基酸, 与组氨酸在体内共同组成肌肽。肌肽作为一种自然存在的二肽, 在体内有多种生理功能。β-丙氨酸自身增进身体机能的能力有限, 但作为合成肌肽的限速前体, 可以通过增加肌肉中肌肽的含量而影响运动表现^[3-4]。肌肽咪唑环上的氮原子在生理pH值下更容易接受一个质子, 相对于体内的碳酸氢盐缓冲系统可以更快速地在高强度运动时发挥缓冲作用。同时肌肽也能通过消除自由基、螯合过渡金属等反应, 延

• 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[作者简介] 娜迪拉·巴吾尔江(1991—), 女, 硕士生; 研究方向: 运动员营养; E-mail: nadirah@126.com

[通信作者] 蔡美琴, E-mail: caimeiqin@sjtu.edu.cn

[作者单位] 上海交通大学公共卫生学院, 上海 200025

迟运动疲劳的发生并降低氧化应激反应^[5]。近年来,也有研究提出了肌肽穿梭假说(the carnosine shuttle hypothesis),肌肽可作为 $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{+}$ 交换器,提高运输到肌节的 Ca^{2+} 数量并缓冲肌节处的 H^{+} ,调节运动引起的pH值波动,缓解疲劳。 Ca^{2+} 在心肌和骨骼肌兴奋收缩耦联、收缩后的放松、调节糖原代谢、神经递质的释放及突触传递等方面均有重要作用^[6]。

补充 β -丙氨酸可以显著提高人体肌肽浓度,提高运动能力。针对运动员的人群试验,补充剂量多为每日4~6g,单次服用2g及以下,一日3~4次,持续2周及以上,才能观察到补充效果。单次大剂量非缓释形式的($>800\text{mg}$)补充会引起皮肤刺痛感等触觉异常现象,加上pH值快速变化以及排泄率增高等原因使得提高运动能力的效果并不理想^[7]。试验表明,每日4~6g,为期4周的 β -丙氨酸补充可以提高64%肌肉肌肽^[3],补充10周可提高80%^[8],并可改善高强度运动时的表现及训练质量。Kendrick等^[9]试验表明,无论基线肌肽水平如何, β -丙氨酸的补充均可以提高肌肉肌肽浓度。Bex等^[10]研究表明,每日补充6g β -丙氨酸后,运动员肌肉肌肽浓度升高稍高于非运动员,这说明对于高水平的优秀运动员, β -丙氨酸的补充也能起到效果。同时研究还发现,进餐同时补充 β -丙氨酸可以提高肌肉的肌肽负荷水平,Stegen等^[11]研究表明,在进餐的同时服用 β -丙氨酸可以使比目鱼肌肉肌肽含量提高64%,而两餐之间补充仅提高41%,这同时也提示胰岛素可能在肌肽负荷中发挥了作用。

β -丙氨酸对于短时间高强度的运动提高作用较为明显,同时还可以延缓神经疲劳的发生,进而提高运动效率。Hobson等^[12]的荟萃分析发现,在运动持续时间为1~4min时,补充 β -丙氨酸能明显提高运动能力。运动时间小于1min时,体内的氧气充足,不会产生乳酸,体内pH值的降低不是影响运动能力的主要原因。而对于持续时间超过4min的运动,ATP可通过有氧代谢途径得到满足,所以 β -丙氨酸对4min以上的运动帮助较小。Ducker等^[13]试验表明,在进行28d的 β -丙氨酸补充后(每天80mg/kg),赛艇运动员2000m赛艇成绩相对于补充前有所提高,安慰剂组则降低,但并未提高整体的运动表现($P=0.055$)。补充 β -丙氨酸还可以提高肌肉肌肽含量,从而延迟神经肌肉疲劳的发生。心跳稳定阈值强度[the physical working capacity at heart rate threshold, PWC(HRT)]是检测运动疲劳发生的国际通用指标,代表心率可维持一段时间稳定

时的最大运动负荷。Smith-Ryan等^[14]以电子制动踏车测力计测量PWC(HRT),发现通过28d的 β -丙氨酸补充(1.6g/次,4次/d),补充剂组的PWC(HRT)增量优于安慰剂组,补充剂组增高24.2瓦,安慰剂组增高11.2瓦($P=0.001$)。

2 硝酸盐

硝酸盐在多种食物中均含量丰富,尤其是在菠菜、生菜等绿叶蔬菜及甜菜根中,每100g鲜重含有的硝酸盐大于250mg($>4\text{mmol}$),主要以硝酸钠的形式存在。膳食中的硝酸盐在体内转化为亚硝酸盐储存在血液中,在低氧以及酸性环境中,例如运动时骨骼肌局部缺血和缺氧的状态,亚硝酸盐更易还原为一氧化氮^[15]。一氧化氮可以通过调节血流量、葡萄糖平衡以及线粒体的呼吸影响骨骼肌功能,在血管及代谢过程中均发挥重要作用。补充硝酸盐可以提高血液中硝酸盐浓度,降低静息血压,同时也可以降低亚极量运动(submaximal exercise)时的氧耗,提高运动员的耐力及运动表现。

补充硝酸盐的形式多为甜菜根汁以及硝酸钠,维持时间多为3~6d,最长为15d。补充甜菜根汁可以降低静息状态下耗氧量并提高运动能力。Vanhatalo等^[16]对8名健康成年男性进行为期15d(0.5L/d ,含5.2mmol NO_3^-/d)甜菜根汁的补充后发现,在中等强度的台阶测试中,服用补充剂2.5h后与服用前相比,服用后5、15d与安慰剂相比,平稳状态下耗氧量均显著下降。甜菜根汁中还含有一些有独立活性的物质或与 NO_3^- 有协同作用的物质,例如甜菜碱、维生素、多酚等。Lansley等^[17]用硝酸盐耗尽的甜菜根汁做对照研究,试验组甜菜根汁含硝酸盐6.2mmol,对照组甜菜根汁硝酸盐含量小于0.005mmol,两组均服用6d(0.5L/d),在4~6d时发现,试验组步行及中强度跑时耗氧量下降,高强度跑时耐力提高了15%,伸膝运动至力竭的时间也有提高,同时试验组血亚硝酸盐含量、血压与对照组比均有差异,证明了硝酸盐有减少运动耗氧量提高耐力的作用。对于优秀运动员,相对于运动至力竭的时间,在相同的距离内缩短运动时间更有实际意义。Bond等^[18]对14名赛艇运动员进行每日0.5L的甜菜根汁补充,6d后进行6次500m划艇试验,发现甜菜根汁极可以减少运动员0.4%的运动时间,第4~6次重复时,运动时间减少了1.7%,说明甜菜根汁对重复时间的减少有统计学意义。硝酸盐补充也可以提高运

动效率, Larsen 等^[19]的研究发现, 补充硝酸盐后, 耐力训练中静息状态下耗氧量下降了4%~5%, 完成规定运动的时间提高了0.9%, 同时减轻了疲劳和氧化应激。

3 多酚类

多酚类化合物是广泛存在于植物体内的一类具有强抗氧化活性的次生代谢物, 按照其化学结构可分为酚酸类、黄酮类、芪类以及木质素类, 每一类均包含上百种衍生物且可继续分为亚类。各类多酚因其化学结构不同, 在体内的作用机制也不尽相同。黄酮类中黄酮醇及黄烷类相关研究较多。黄酮醇在蔬菜水果等食物中较常见, 主要包括槲皮素及山柰酚; 黄烷以茶叶及巧克力中较高浓度的儿茶酚为人们所知。木质素主要存在于富含油脂的种子及一些特定的水果蔬菜中。芪类在食物中不常见, 但白藜芦醇及其衍生物的研究较多^[20]。食物中通常含有不止一种多酚物质, 例如儿茶素及其衍生物多以单体、改良单体及二聚体的形式存在, 所以儿茶素的补充剂量应当同时考虑共轭的儿茶素以及在体内各种代谢物的含量^[13, 21], 并了解多酚类物质的整体生物利用度(即除去不可代谢形式以外的所有多酚物质)。

多酚物质的补充可以提高运动耐力及运动表现。Nieman 等^[22]对未经训练的成年人每日补充1000 mg 槲皮素2周, 并在60%最大耗氧量时进行12 min的斜坡跑, 补充剂组运动距离增加了2.9% ($P=0.038$)。另一项针对自行车运动员的30 km骑行试验发现, 补充槲皮素使运动时间减少了3.1%, 同时最后5 km的运动时间缩短了2%, 表明槲皮素的补充对运动的作用不仅局限在运动的起始阶段^[23]。通过荟萃分析结果也可推测, 多酚类补充剂在对象为经常锻炼的个体以及测试强度较大时, 能更高效地提高运动能力^[24]。

多酚物质可以减少或消除运动产生的自由基, 调节细胞氧化还原状态, 降低体内的氧化应激, 从而减少机体损伤并加快疲劳的恢复。Lafay 等^[25]在比赛季对优秀运动员进行了为期2个月的双盲、安慰剂控制的交叉试验后发现, 补充30日葡萄提取物(多酚含量为400 mg/d)以及30日安慰剂后, 运动员在补充安慰剂时尿液中脂质损伤标志物(异前列烷)含量有所上升, 而补充多酚时并未出现。以ORAC法(oxygen radical absorbance capacity, ORAC)来评价葡萄提取物对抗氧化能力的提高作用, 发现补充剂组血液ORAC值由补充前的($13\,885 \pm 360$) $\mu\text{mol/L}$ 提高到了

($14\,996 \pm 335$) $\mu\text{mol/L}$ ($P<0.05$), 而安慰剂组并未提高。针对训练营中赛艇选手的调查发现, 每日补充花青素34.5 mg(野樱桃汁150 mL/次, 每日3次), 经过2000 m的划桨运动负荷试验24 h后, 反应脂质过氧化水平的硫代巴比妥酸反应物含量显著下降^[26]。而另一项同样针对赛艇选手的试验发现, 以胶囊的形式补充酚酸及黄酮类提取物(400 mg/次, 每日3次, 为期5周), 虽然相对于上一试验多酚物质的补充量较高, 却并未发现红细胞氧化还原参数的测定值有变化^[24]。

4 多组分运动补充剂

多组分运动补充剂(multi-ingredient performance supplements, MIPS), 包含多种具有提高运动能力的成分, 主要通过增强肌肉力量提高运动成绩, 广受运动员的喜爱, 尤其是以力量训练为主的运动员^[27]。MIPS成分中以肌酸最为常见, 其他主要常见成分为咖啡因、支链氨基酸以及 β -丙氨酸。肌酸作为主要成分, 可以增加肌肉中肌酸和磷酸肌酸的含量, 增加糖原合成并快速提供能量, 能够促进肌肉增长。以往的研究也表明, MIPS中每种成分也能通过不同的生理机制起到提高运动能力的作用, 因此推测多组分的补充剂可能可起到累加效应^[28]。

Lowery 等^[29]研究发现 MIPS 可以提高肌肉力量, 进行8周 MIPS 补充(常见成分及槲皮素、丙氨酰谷氨酰胺、硝酸盐及维生素B), 配合每周3次阻抗训练, 相对于安慰剂组 MIPS 显著提高了卧推时的力量 ($P<0.01$, MIPS组18.4%, 安慰剂组9.6%)及股四头肌厚度 ($P<0.01$, MIPS组11.8%, 安慰剂组4.5%)。Willems 等^[30]选择了由乳清蛋白、谷氨酰胺、肌酸及 β -羟基- β -丁酸甲酯等组成的 MIPS, 经过12周每日2次的补充及系统训练后发现, 相对于安慰剂组, MIPS 组完成侧拉 ($P=0.02$)及卧推 ($P=0.03$)次数增加(重量为训练前单次最大重量80%)。同时, MIPS 也可以增加去脂体重。Smith 等^[31]研究表明, 3周的高强度间歇性训练后, MIPS 组(包含乳清蛋白、冬虫夏草、肌酸、瓜氨酸、人参、咖啡因等)与服用相同热量安慰剂组相比, 可以显著增加瘦体重(由54.2 kg增至55.4 kg, $P=0.035$)。Ormsbee 等^[32]实验选用的 MIPS 除常见成分外还含有乳清蛋白和酪蛋白, 补充后也发现, 配合6周的阻抗训练, MIPS 组相对于对照组瘦体重显著增加 ($P=0.017$); MIPS 还可以提高无氧运动能力, 此实验中 MIPS 组峰值功率由(932.7 ± 172.5) W

提高到(1119.2 ± 183.8)W($P=0.002$)。

还有多种与肌酸相关并对运动有提高作用的物质,需要进一步证实。例如丙酮酸肌酸可以通过增加糖原和脂肪的供能比例,减少肌肉中蛋白质的消耗,提高肌肉质量。洪平等^[33]的实验表明,系统性训练结合补充丙酮酸肌酸,相较于补充左旋肉碱,可以更大幅度地减少脂肪含量,降低脂肪百分比($P<0.05$),且运动能力改善提高幅度更大。甘氨酸也是合成肌酸的重要原料,因此补充甘氨酸也可能具有提高机体运动能力的作用。目前甘氨酸对运动保护作用的研究甚少,曹进等^[34]的实验提示,4周的甘氨酸补充可以提高小鼠游泳至力竭的时间[甘氨酸组(151.0 ± 13.5)s,无补充组(133.9 ± 4.41)s, $P<0.01$],但尚无人体试验结果。

综上,运动补充剂通过不同的机制提高运动表现,且针对不同运动类型效果不同。在进行实验设计时应充分考虑补充剂特性,合理设计运动计划及测评标准,不同的测评方式可能会得出截然不同的结果。近年来有研究表明, β -丙氨酸对运动能力的提高作用可能与兴奋-收缩耦联机制关系密切,而非单纯地提高肌肉肌肽含量,针对肌肽穿梭假说可以进一步探索。硝酸盐补充剂与运动表现研究中,膳食来源硝酸盐对实验结果的影响需要进行控制与调节。多酚类物质在不同形式下生物利用率不同,与其他营养素同服时的交互作用不可知,个体间生物利用率不同,所以多酚作为补充剂促进运动员运动能力的作用,还需要更多的人群研究来保证数据的可信度。MIPS可以将更多种类、不同功效的补充剂组合,达到更好的提高运动表现的效果。

参考文献

- [1] Yavari A, Javadi M, Mirmiran P, et al. Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants[J]. Asian J Sports Med, 2015, 6(1): e24898.
- [2] 赵保路. 自由基、营养、天然抗氧化剂与衰老[J]. 生物物理学报, 2010, 26(1): 26-36.
- [3] Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, et al. The absorption of orally supplied β -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis[J]. Amino Acids, 2006, 30(3): 279-289.
- [4] Dunnett M, Harris RC. Influence of oral β -alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius[J]. Equine Vet J, 1999, 31(S30): 499-504.
- [5] Kohen R, Yamamoto Y, Cundy KC, et al. Antioxidant activity of carnosine, homocarnosine, and anserine present in muscle and brain[J]. Proc Nat Acad Sci U S A, 1988, 85(9): 3175-3179.
- [6] Everaert I, Taes Y, De Heer E, et al. Low plasma carnosinase activity promotes carnosinemia after carnosine ingestion in humans[J]. Am J Physiol, 2012, 302(12): F1537-F1544.
- [7] Trexler ET, Smith-Ryan AE, Stout JR. International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine[J]. J Int Soc Sports Nutr, 2014, 12: 30.
- [8] Hill CA, Harris RC, Kim HJ, et al. Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity[J]. Amino Acids, 2007, 32(2): 225-233.
- [9] Kendrick IP, Kim HJ, Harris RC, et al. The effect of 4 weeks β -alanine supplementation and isokinetic training on carnosine concentrations in type I and II human skeletal muscle fibres[J]. Eur J Appl Physiol, 2009, 106(1): 131-138.
- [10] Bex T, Chung W, Baguet A, et al. Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. untrained muscles[J]. J Appl Physiol, 2014, 116(2): 204-209.
- [11] Stegen S, Blancquaert L, Everaert I, et al. Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading[J]. Med Sci Sports Exerc, 2013, 45(8): 1478-1485.
- [12] Hobson RM, Saunders B, Ball G, et al. Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis[J]. Amino Acids, 2012, 43(1): 25-37.
- [13] Ducker KJ, Dawson B, Wallman KE. Effect of beta-alanine supplementation on 2000-m rowing-ergometer performance[J]. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2013, 23(4): 336-343.
- [14] Smith-Ryan AE, Woessner MN, Melvin MN, et al. The effects of beta-alanine supplementation on physical working capacity at heart rate threshold[J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2013, 34(5): 397-404.
- [15] Dejam A, Hunter CJ, Schechter AN, et al. Emerging role of nitrite in human biology[J]. Blood Cells Mol Dis, 2004, 32(3): 423-429.
- [16] Lansley KE, Winyard PG, Fulford J, et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O_2 cost of walking and running: a placebo-controlled study[J]. J Appl Physiol, 2011, 110

- (3): 591-600.
- [17] Vanhatalo A, Bailey SJ, Blackwell JR, et al. Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise[J]. *Ajp Regulatory Integrative & Comparative Physiology*, 2010, 299(4): R1121-1131.
- [18] Bond H, Morton L, Braakhuis AJ. Dietary nitrate supplementation improves rowing performance in well-trained rowers[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2012, 22(4): 251-256.
- [19] Larsen FJ, Weitzberg E, Lundberg JO, et al. Dietary nitrate reduces maximal oxygen consumption while maintaining work performance in maximal exercise[J]. *Free Radic Biol Med*, 2010, 48(2): 342-347.
- [20] 邵芳芳, 尹卫平, 梁菊. 重要的植物多酚及其抗氧化性能的研究概况[J]. *西北药学杂志*, 2010, 25(1): 66-68.
- [21] Williamson G, Manach C. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies[J]. *Am J Clin Nutr*, 2005, 81(S1): 243S-255S.
- [22] Nieman DC, Williams AS, Shanely RA, et al. Quercetin's influence on exercise performance and muscle mitochondrial biogenesis[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(2): 338-345.
- [23] Macrae HS, Mefferd KM. Dietary antioxidant supplementation combined with quercetin improves cycling time trial performance[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2006, 16(4): 405-419.
- [24] Skarpanska-Stejnborn A, Pilaczynska-Szczesniak L, Basta P, et al. The influence of supplementation with artichoke (*Cynara scolymus* L.) extract on selected redox parameters in rowers[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2008, 18(3): 313-327.
- [25] Lafay S, Jan C, Nardon K, et al. Grape extract improves antioxidant status and physical performance in elite male athletes[J]. *J Sports Sci Med*, 2009, 8(3): 468-480.
- [26] Pilaczynska-Szczesniak L, Skarpanska-Stejnborn A, Deskur E, et al. The influence of chokeberry juice supplementation on the reduction of oxidative stress resulting from an incremental rowing ergometer exercise[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2005, 15(1): 48-58.
- [27] Hoffman JR, Kang J, Ratamess NA, et al. Examination of a pre-exercise, high energy supplement on exercise performance[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2009, 6(1): 2.
- [28] Hoffman JR, Ratamess NA, Ross R, et al. Effect of a pre-exercise energy supplement on the acute hormonal response to resistance exercise[J]. *J Strength Cond Res*, 2008, 22(3): 874-882.
- [29] Lowery RP, Joy JM, Dudeck JE, et al. Effects of 8 weeks of Xpand® 2X pre workout supplementation on skeletal muscle hypertrophy, lean body mass, and strength in resistance trained males[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2013, 10(1): 44.
- [30] Willems ME, Sallis CW, Haskell JA. Effects of multi-ingredient supplementation on resistance training in young males[J]. *J Hum Kinet*, 2012, 33: 91-101.
- [31] Smith AE, Fukuda DH, Kendall KL, et al. The effects of a pre-workout supplement containing caffeine, creatine, and amino acids during three weeks of high-intensity exercise on aerobic and anaerobic performance[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2010, 7(1): 10.
- [32] Ormsbee MJ, Mandler WK, Thomas DD, et al. The effects of six weeks of supplementation with multi-ingredient performance supplements and resistance training on anabolic hormones, body composition, strength, and power in resistance-trained men[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2012, 9(1): 49.
- [33] 洪平, 李稚, 陈耿, 等. 补充丙酮酸肌酸、肌酸和肉碱对运动员身体成分及运动能力的影响[J]. *中国体育科技*, 2010, 46(3): 91-97.
- [34] 曹进, 樊晓飞, 李良菊, 等. 甘氨酸补充对力竭性运动小鼠部分生化指标的影响[J]. *重庆医学*, 2015, 44(31): 4327-4329.
- (收稿日期: 2016-06-30; 录用日期: 2016-09-13)
- (英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 陶黎纳)