

中链甘油三酯抗疲劳作用及其机制研究

韩培涛¹, 李晓莉², 钱平³, 曲敏⁴, 杨田苗¹, 邵剑钢²

(1. 93975 部队, 乌鲁木齐 830000; 2. 军事经济学院, 武汉 430035; 3. 后勤保障部军需装备研究所, 北京 100010;
4. 湖北省疾病预防控制中心, 武汉 430061)

摘要: 研究中链甘油三酯(MCT)的抗疲劳作用及其相关的机制。将 KM 雄性小鼠 100 只随机分为 5 组, 每组 20 只, 每组再随机分成 2 个小组, 每小组 10 只, 分别为安静对照组(CC₁和 CC₂)、游泳对照组(SC₁和 SC₂)、低剂量组(SL₁和 SL₂)、中剂量组(SM₁和 SM₂)、高剂量组(SH₁和 SH₂)。1 小组 SC₁、SL₁、SM₁和 SH₁在灌胃给药 30 d 后用于无负重游泳 60 min 实验, 测定各生化指标; 2 小组 SC₂、SL₂、SM₂和 SH₂小鼠在灌胃给药 30 d 后用于负重游泳力竭实验, 测定负重游泳力竭时间。结果表明: 与游泳对照组相比, MCT 可以显著延长小鼠负重游泳力竭时间, 降低运动后血清尿素氮含量和血清乳酸含量, 减少血糖和肝糖原消耗, 提高肝脏超氧化物歧化酶活性、谷胱甘肽含量和游离脂肪酸含量, 降低肝脏丙二醛含量, 提高血清乳酸脱氢酶活性。因此, MCT 具有抗疲劳的作用, 且以低剂量组效果最明显。

关键词: 中链甘油三酯; 抗疲劳; 负重游泳力竭

中图分类号: TS201; R151

文献标识码: A

文章编号: 1003 - 7969(2018)01 - 0056 - 05

Anti - fatigue effect of medium chain triglycerides and its mechanism

HAN Peitao¹, LI Xiaoli², QIAN Ping³, QU Min⁴,

YANG Tianmiao¹, SHAO Jiangang²

(1. 93975 Troops, Urumqi 830000, China; 2. Military Economy Academy, Wuhan 430035, China;
3. The Quartermaster Research Institute, Beijing 100010, China; 4. Hubei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Wuhan 430061, China)

Abstract: The anti - fatigue effect of medium chain triglycerides (MCT) and related mechanism were studied. 100 healthy male KM mice were randomly divided into five groups: quiet control group (CC₁ and CC₂), swimming control group (SC₁ and SC₂), low dose group (SL₁ and SL₂), middle dose group (SM₁ and SM₂) and high dose group (SH₁ and SH₂), each group had 20 mice, and then each group was randomly divided into two groups, each group had 10 mice. The first group of mice SC₁, SL₁, SM₁ and SH₁ would be swimming without load for 60 min after the gastric perfusion of MCT for 30 d, and then the biochemical indicators were measured. The second group of mice SC₂, SL₂, SM₂ and SH₂ would be exhausted burden swimming after the gastric perfusion of MCT for 30 d, and then the burden swimming exhaustive time was measured. The results showed that compared with swimming control group, MCT could significantly prolong the burden swimming exhaustive time, reduce the serum urea nitrogen and serum lactic acid contents, reduce blood glucose and liver glycogen consumption, improve liver SOD activity, GSH content and FFA content, reduce the content of liver MDA and increase serum LDH activity. So MCT had anti - fatigue effect, and the effect was the most obvious in low dose group.

Key words: medium chain triglycerides; anti - fatigue; exhausted burden swimming

收稿日期: 2017 - 03 - 22; 修回日期: 2017 - 08 - 16

作者简介: 韩培涛(1991), 男, 硕士, 研究方向为军需装备技术(E-mail) 1206198235@qq.com。

通信作者: 李晓莉, 教授, 博士生导师, 博士(E-mail) 69952964@qq.com。

当代社会, 竞争压力的增大、生活学习节奏的加快以及体力脑力劳动强度的增强等因素导致疲劳在

人群中很普遍。据世界卫生组织(WHO)调查结果显示,全球有35%以上的人处于疲劳状态,中年男性中疲劳人群所占的比例高达60%^[1]。疲劳是机体内部涉及多种生理生化反应的一个复杂的过程,是脑力或者体力活动达到一定阶段后必然出现的一种生理现象,既标志着原有工作能力的暂时性下降,又有可能是机体发展到疾病状态的预示^[2]。

中链甘油三酯(MCT)是含有8~12个碳原子的中链脂肪酸同甘油酯化形成的甘油三酯,在自然界中主要存在于椰子油、棕榈仁油、母乳、牛奶及其制品中,是一种新型的功能油脂。MCT独特的理化性质及代谢特点使得MCT具有一般植物油不具有的功能性质,如预防肥胖、改善糖脂代谢、抗菌、提高运动耐力等功能性质。国内外有报道MCT具有提高运动耐力及抗疲劳的作用,但是关于其潜在的机制鲜有报道。本实验探讨了MCT的抗疲劳作用及其相关机制。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验样品

实验样品为MCT粉剂,由无锡超科食品有限公司提供。生产日期为2016年04月01日,有效期至2018年03月31日,产品批号为:43160401。

1.1.2 实验动物

健康雄性KM小鼠,等级SPF级,体重18~22g,共100只,由湖北省实验动物研究中心提供,实验动物生产许可证号为SCXK(鄂)2015-0018,实验动物质量合格证号为NO.42000600014395。

1.1.3 实验试剂

肝/肌糖原试剂盒、血清乳酸测试盒、游离脂肪酸试剂盒、丙二醛测试盒、GSH测试盒、SOD试剂盒,均购自南京建成生物工程研究所;浓硫酸,冰醋酸均为分析纯。

1.1.4 实验仪器

贝克曼AU680全自动生化分析仪:日本Beckman Coulter K. K.公司;Multiskan GO 1510酶标仪:芬兰ThermoFisher公司;高速离心机:德国Eppendorf公司;DK-600S三用恒温水箱:上海精宏实验设备有限公司;FM-20全自动雪花制冰机:上海汗诺仪器有限公司;Direct-Q3超纯水器:法国Millipore公司;二氧化碳培养箱:日本SANYO公司。

1.2 实验方法

1.2.1 动物分组

小鼠适应性喂养3d后,将100只小鼠随机分成5组,每组20只,然后每组当中再随机分成2个

小组,每小组10只,用苦味酸染色标记1~10号并称初重。分组情况为:安静对照组CC₁和CC₂(每天灌胃纯水)、游泳对照组SC₁和SC₂(每天灌胃纯水)、低剂量组SL₁和SL₂(每天灌胃1250mg/kg的MCT)、中剂量组SM₁和SM₂(每天灌胃2500mg/kg的MCT)、高剂量组SH₁和SH₂(每天灌胃5000mg/kg的MCT)。各组均按照20mL/(kg·d)的灌胃容量进行灌胃,MCT粉剂利用纯水分别配制成低、中、高3个剂量,连续灌胃30d。SC₁、SL₁、SM₁、SH₁组在灌胃30d后进行无负重游泳60min,测定游泳后血清尿素氮(BUN)含量、血糖(GLU)含量、血清乳酸(LD)含量、血清乳酸脱氢酶(LDH)的活性、肝脏丙二醛(MDA)含量、肝脏谷胱甘肽(GSH)含量、肝脏游离脂肪酸(FFA)含量、肝脏超氧化物歧化酶(SOD)的活性、肝糖原含量;SC₂、SL₂、SM₂、SH₂组在灌胃30d后进行负重游泳力竭实验,测定负重游泳力竭时间。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 体重测定

实验开始及最后一次灌胃前用电子天平称量小鼠初重及终重,灌胃30d期间每周灌胃前用电子天平称量小鼠体重,根据小鼠体重调整灌胃量。

1.2.2.2 负重游泳力竭时间测定

第2小组小鼠进行负重游泳力竭实验时,小鼠自游泳开始至死亡视为力竭,用秒表记录小鼠自负重游泳开始到力竭所用时间即为小鼠负重游泳力竭时间。

1.2.2.3 生化指标测定

第1小组无负重游泳60min后,肝糖原含量、血清LD含量、肝脏SOD活性、肝脏MDA和GSH含量以及肝脏FFA含量通过试剂盒进行测定;GLU、血清BUN、血清LDH送到检测部利用全自动生化分析仪进行检测。

1.2.3 统计分析

数据采用SPSS17.0统计软件处理,结果均采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,首先对各组数据进行非参数检验的正态性检验,然后各组之间用单因素方差分析,方差齐性检验采用方差同质性检验;任意两组均数间的两两比较,方差齐时采用LSD法,方差不齐时采用Dunnnett's T3法。

2 结果与讨论

2.1 MCT对小鼠体重的影响(见表1)

由表1可见,各组小鼠实验开始时体重均无显著性的差异($P > 0.05$),从3周开始至结束时,高剂量组小鼠的体重显著低于安静对照组和游泳对照组

小鼠体重($P < 0.05$),且实验结束时高剂量组小鼠体重的增加量也显著低于安静对照组($P < 0.05$),低、中剂量组小鼠体重的增加量的均数小于对照组,

但是没有统计学意义。结果表明,高剂量组的 MCT 可以抑制小鼠体重增长,但是关于 MCT 抑制体重增长的具体机制仍需进一步研究。

表 1 MCT 对小鼠体重的影响($\bar{x} \pm s$)

组别	初重	1 周	2 周	3 周	终重	增重
CC	24.7 ± 1.7	31.7 ± 2.2	35.9 ± 3.0	38.5 ± 3.4	40.8 ± 3.6	16.0 ± 3.7
SC	25.2 ± 1.8	31.2 ± 1.9	35.6 ± 2.5	38.8 ± 2.8	40.6 ± 3.1	15.5 ± 2.9
SL	24.2 ± 2.3	31.2 ± 3.1	35.4 ± 3.1	37.5 ± 3.3	39.1 ± 4.0	14.8 ± 3.7
SM	24.5 ± 1.8	31.3 ± 2.4	35.5 ± 2.7	37.6 ± 3.1	39.5 ± 3.4	15.1 ± 2.9
SH	24.4 ± 1.8	30.4 ± 2.9	34.4 ± 3.2	36.5 ± 3.5 ^{*△}	38.2 ± 3.5 ^{*△}	13.8 ± 3.0 [*]

注: * 表示与 CC 组比较, $P < 0.05$; △ 表示与 SC 组比较, $P < 0.05$ 。

2.2 MCT 对小鼠负重游泳力竭时间的影响 (见表 2)

表 2 MCT 对小鼠负重游泳力竭时间的影响($\bar{x} \pm s$)

组别	负重游泳力竭时间/s
SC ₂	245 ± 54
SL ₂	341 ± 69 [*]
SM ₂	296 ± 89
SH ₂	272 ± 48

注: * 表示与 SC₂ 组比较, $P < 0.05$ 。

本实验中对于 MCT 抗疲劳效果的评价采用的是运动耐力实验与生化指标检测相结合的方法。疲劳最直接和客观的表现就是运动耐力的下降,

而游泳力竭时间是反映运动耐力的重要指标^[3],因此可以通过游泳力竭时间反应小鼠的运动耐力,进而反应其抗疲劳效果。由表 2 可见,本实验低、中、高剂量组相比于对照组,其负重游泳力竭时间分别提高 39%、21% 和 11%,且低剂量组小鼠的结果有显著的统计学意义($P < 0.05$)。结果表明:MCT 可以延长小鼠负重游泳的力竭时间,且以低剂量组效果最明显。因此,可判定负重游泳实验结果呈阳性,且低剂量组 MCT 提高小鼠运动耐力效果最明显。

2.3 MCT 对小鼠血清 BUN、GLU、LD、LDH 的影响 (见表 3)

表 3 MCT 对小鼠血清生化指标的影响($\bar{x} \pm s$)

组别	BUN/(mmol/L)	GLU/(mmol/L)	LD/(mmol/L)	LDH/(IU/L)
CC ₁	8.19 ± 0.93	8.99 ± 1.14	9.13 ± 0.94	496.50 ± 88.49
SC ₁	8.72 ± 0.59	4.66 ± 0.61 ^{**}	9.53 ± 0.75	544.33 ± 106.07
SL ₁	7.72 ± 0.82 [△]	5.81 ± 0.65 ^{**△}	8.08 ± 0.61 ^{*△}	677.00 ± 97.32 ^{**△△}
SM ₁	7.71 ± 0.56 [△]	5.70 ± 1.33 ^{**△}	7.63 ± 1.34 ^{**△△}	541.00 ± 44.28
SH ₁	8.23 ± 1.09	6.93 ± 0.85 ^{**△△}	7.89 ± 1.28 ^{**△△}	523.50 ± 63.55

注: * 表示与 CC₁ 组比较, $P < 0.05$; ** 表示与 CC₁ 组比较, $P < 0.01$; △ 表示与 SC₁ 组比较, $P < 0.05$; △△ 表示与 SC₁ 组比较, $P < 0.01$ 。下同。

尿素氮(BUN)是运动过程中蛋白质和氨基酸分解代谢供能的最终产物^[4]。运动时的供能物质主要有糖、脂肪、蛋白质。当机体长时间大强度运动时,糖类和脂肪供能不足时,蛋白质与氨基酸分解代谢增强进行供能,体内尿素氮的含量将会相应增加。尿素氮的积累会危害身体,严重的会导致氮质血症,而氮质血症是尿毒症前期症状,目前尿素氮被用来诊断肾脏或者代谢方面一些疾病,例如慢性肾脏病,因此消除多余的 BUN 积累具有很重要的临床作用^[5-6]。机体对运动负荷的适应能力越弱,蛋白质及氨基酸分解代谢产生尿素氮也越多。因此,血清尿素氮的含量可以作为抗疲劳效果评价的一个敏感指标。由表 3 可见,本实验低、中剂量组小鼠体内尿

素氮的含量显著低于游泳对照组($P < 0.05$)。表明低、中剂量组 MCT 可以显著降低小鼠在运动过程中蛋白质及氨基酸的分解代谢,进而降低蛋白质消耗对机体的损伤,提高机体对运动负荷的适应能力,起到抗疲劳的作用。

血糖(GLU)是指血液中的糖,在大部分情况下是指葡萄糖。血糖为各组织细胞的活动提供能量,且中枢神经系统只能利用血糖作为唯一的能量来源,所以血糖必须维持在一定的范围内才能满足体内各器官和组织的需要。当机体进行长时间大强度运动时,肌糖原逐步消耗,含量降低,血糖氧化分解供能使得血糖浓度降低,从而刺激肝糖原分解释放葡萄糖入血来维持血糖浓度的恒定,但是当剧烈运

动后期,肌糖原、肝糖原耗竭时,血糖水平降低,引起疲劳的产生,因此血糖可以作为抗疲劳评价的一个指标。由表3可见,无负重游泳60 min后,游泳组小鼠血糖含量均极显著低于安静对照组小鼠血糖含量($P < 0.01$),说明游泳运动消耗了小鼠体内的血糖;低、中、高剂量组小鼠无负重游泳60 min后,其体内血糖含量均显著或极显著高于游泳对照组($P < 0.05, P < 0.05, P < 0.01$)。说明不同剂量的MCT均可以减少血糖的大量消耗,维持运动后小鼠的血糖水平,进而延缓疲劳的产生。

机体在进行剧烈运动过程中,对能量需求增大,有氧代谢供能不足,氧气供应有限时,则需要通过糖酵解供能,乳酸(LD)是糖酵解的产物。在这个过程中产生大量的乳酸,产生的乳酸如果得不到及时的清除将在机体内部堆积,会导致肌肉中氢离子的浓度上升、肌肉pH下降,使得肌肉的收缩能力下降、与运动相关的酶的活性降低以及脑细胞的工作能力降低,从而使得机体运动能力降低产生疲劳^[7]。因此,血清乳酸可以作为评价抗疲劳效果的一个指标。由表3可见,本实验低、中、高剂量组小鼠无负重游泳60 min后,其血清乳酸含量均显著或极显著低于游泳对照组($P < 0.05, P < 0.01, P < 0.01$)。说明MCT可以减少运动过程中血清乳酸的生成。

乳酸脱氢酶(LDH)是催化丙酮酸和乳酸可逆反应的氧化还原酶,是有氧氧化、糖酵解及糖异生途径中的一个重要酶,广泛存在于机体组织内^[8]。在机体乳酸堆积过程中,乳酸脱氢酶可以催化乳酸转变为丙酮酸,减少机体内部乳酸的堆积,延缓疲劳的发生或者加速疲劳的恢复,所以血清乳酸脱氢酶的活性是反映乳酸清除速度的重要指标,其活力越高抗疲劳效果越明显^[9]。由表3可见,无负重游泳60 min后,低剂量组小鼠血清中乳酸脱氢酶活性极显著高于游泳对照组($P < 0.01$),中、高剂量组小鼠血清乳酸脱氢酶活性与游泳对照组相比几乎没有变化。表明低剂量组MCT可以提高无负重游泳60 min后小鼠血清中乳酸脱氢酶的活性,加快对乳酸的清除速度,达到抗疲劳的效果。

2.4 MCT对小鼠肝脏组织MDA、SOD、GSH的影响(见表4)

表4 MCT对小鼠肝脏抗氧化能力的影响($\bar{x} \pm s$)

组别	MDA/(nmol/mg)	SOD/(U/mg)	GSH/(mg/g)
CC ₁	1.01 ± 0.11	48.75 ± 5.43	9.12 ± 1.14
SC ₁	1.12 ± 0.09	46.03 ± 3.08	4.61 ± 1.96**
SL ₁	1.03 ± 0.07	49.84 ± 4.05	10.24 ± 0.83 ^{△△}
SM ₁	1.03 ± 0.13	46.81 ± 5.93	8.45 ± 2.27 ^{△△}
SH ₁	1.00 ± 0.11 [△]	47.50 ± 3.30	8.71 ± 1.77 ^{△△}

MDA是自由基与生物膜不饱和脂肪酸作用的产物,是一种稳定存在的物质,可以通过对MDA的定量检测来反映机体内脂质过氧化物的程度,间接地反映出自由基水平和细胞损伤的程度。由表4可见,本实验中游泳对照组小鼠肝脏MDA的含量高于安静对照组,提示剧烈运动使得小鼠体内自由基产生量增加,脂质过氧化程度升高。低、中、高剂量组小鼠无负重游泳60 min后,其肝脏MDA含量均低于游泳对照组,且高剂量组有统计学意义($P < 0.05$)。结果表明MCT可以抑制运动过程中脂质过氧化物的生成,降低对细胞膜、线粒体膜等生物膜的损伤以及自由基对细胞的损伤,起到抗疲劳的作用,且高剂量组MCT效果最明显。

SOD活性与机体抗疲劳作用具有密切的关系,SOD可以通过清除自由基,保护细胞膜免受自由基的攻击达到预防疲劳发生的功效。由表4可见,本实验低、中、高剂量组小鼠无负重游泳60 min后,肝脏中SOD活性均高于游泳对照组,且低剂量组效果最明显。结果表明,MCT可以通过提升肝脏抗氧化酶SOD的活性,从而提高机体清除运动过程中产生自由基的能力,减少自由基对机体的损伤,延缓疲劳的产生,且低剂量组效果最明显。

GSH是由蛋氨酸、甘氨酸和半胱氨酸组成的小分子多肽,是一种低分子自由基清除剂,可以通过抑制自由基生成来防止自由基破坏细胞^[10],进而延缓疲劳的产生。由表4可见,本实验中游泳对照组肝脏GSH含量极显著低于安静对照组($P < 0.01$),且低、中、高剂量组小鼠肝脏GSH含量极显著高于游泳对照组($P < 0.01, P < 0.01, P < 0.01$)。表明MCT可以通过提升肝脏GSH的含量来提高机体的抗氧化能力和清除自由基的能力,进而提高机体的抗疲劳能力,且以低剂量组效果最明显。

2.5 MCT对小鼠肝糖原和肝脏游离脂肪酸的影响(见表5)

表5 MCT对小鼠肝糖原和肝脏游离脂肪酸的影响($\bar{x} \pm s$)

组别	肝糖原/(mg/g)	肝脏游离脂肪酸/(mmol/g)
CC ₁	8.37 ± 2.28	0.053 7 ± 0.010 6
SC ₁	6.83 ± 1.14	0.068 9 ± 0.008 8**
SL ₁	9.13 ± 1.32 [△]	0.070 6 ± 0.008 4**
SM ₁	7.81 ± 1.03	0.078 4 ± 0.006 9** [△]
SH ₁	6.73 ± 1.43	0.096 5 ± 0.014 6** ^{△△}

肝糖原是糖在机体内部储存的一种形式,其氧化利用是运动供能的主要来源。在进行大强度运动时,随着肌糖原的消耗,为了维持血糖的稳定,肝糖原开始分解消耗,当肝糖原耗竭时,将导致血糖浓度

降低,大脑供能不足,从而影响运动能力,产生疲劳。如果受试样品组肝糖原含量明显高于对照组,且差异有统计学意义,则说明受试样品可以通过增加肝糖原储备达到抗疲劳的目的^[11]。由表5可见,本实验低剂量组小鼠肝糖原含量显著高于游泳对照组($P < 0.05$),中剂量组相比游泳对照组有升高的趋势但没有统计学意义($P > 0.05$),高剂量组与游泳对照组几乎没有变化。结果表明MCT可以提高小鼠体内肝糖原的储备,达到抗疲劳的作用,且以低剂量组效果最明显。

脂肪在机体内存在着两种反应:一个是脂肪酸与甘油合成甘油三酯的再酯化过程;另一个是甘油三酯水解成脂肪酸和甘油的脂解作用。在运动过程中增加脂肪的脂解过程,可以减缓糖原耗竭和蛋白质分解代谢供能,延缓疲劳产生,提高机体的运动耐力^[12-14]。由表5可见,本实验游泳组小鼠肝脏中游离脂肪酸的含量均极显著高于安静对照组($P < 0.01$),表明机体在运动过程中增加了脂肪的动员和利用,使得肝脏中游离脂肪酸含量增加。在长时间有氧运动中,脂肪是主要的供能物质,适当增加脂肪的脂解和利用,可以显著提高机体的运动耐力和抗疲劳能力^[15]。本实验中,各剂量组小鼠肝脏游离脂肪酸的含量均高于游泳对照组并有一定的剂量效应关系,说明MCT可以增加机体对于脂肪的动员和利用,提高机体的抗疲劳能力,且肝脏游离脂肪酸的含量与MCT的剂量呈一定的正相关,这可能是由于随着MCT灌胃剂量的增加,MCT水解生成的游离脂肪酸含量也增加。但是过度的脂肪动员产生高浓度的游离脂肪酸会对骨骼肌、肝脏等器官产生不良影响,从而导致机体整体运动能力的下降,产生疲劳。因此,本实验中、高剂量组MCT的小鼠的运动耐力低于低剂量组MCT。

3 结论

实验结果表明:MCT可以延长小鼠负重游泳力竭时间,节约蛋白质和糖原,稳定血糖含量,通过提高LDH的活性减少乳酸等代谢产物对机体的损伤,提高脂肪的动员能力和肝脏的抗氧化能力,减少肝

脏脂质过氧化程度,达到提高运动耐力及抗疲劳的作用,且以低剂量组MCT效果最为明显。

参考文献:

- [1] MACLAREN D P, GIBSON H, PARRY B M, et al. An review of metabolic and physiological factors in fatigue[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 1989, 17(1): 29-66.
- [2] 李八方. 功能食品与保健食品[M]. 山东 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1997.
- [3] 李冰, 王静凤, 傅佳, 等. 刺参对运动小鼠抗疲劳作用的研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(15): 244-247.
- [4] 张颖捷, 杜万红. 国内外抗疲劳研究进展[J]. *实用预防医学*, 2012, 19(7): 1112-1116.
- [5] WANG J, LI S S, FAN Y Y, et al. Anti-fatigue activity of the water-soluble polysaccharides isolated from *Panax ginseng* C. A. Meyer [J]. *J Ethnopharmacol*, 2010, 130(2): 421-423.
- [6] SHAVIT L, LIFSCHITZ M, GALPERIN I. Influence of enteric nutrition on blood urea nitrogen (BUN) in very old patients with chronic kidney disease (CKD) [J]. *Arch Gerontol Geriatr*, 2012, 54(8): 228-231.
- [7] 方宏义, 崔晨. 肌肉乳酸堆积与运动性疲劳关系的再认识[J]. *辽宁体育科技*, 2015, 37(4): 61-63.
- [8] 李杨, 黄元汛, 冀楠. 运动补剂对机体乳酸脱氢酶和肌酸激酶的影响[J]. *医学理论与实践*, 2009, 22(9): 1062-1064.
- [9] 张睿, 赵玉红, 王忠政. 鹿茸水提取物对小鼠抗疲劳功能的影响[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(4): 365-367.
- [10] 张丽芬, 郭玉萍, 周军, 等. 运动对人体自由基代谢的影响[J]. *现代生物医学进展*, 2012, 12(17): 3388-3393.
- [11] JIN H M, WEI P. Anti-fatigue properties of tartary buckwheat extracts in mice [J]. *Int J Mol Sci*, 2011, 12(8): 4770-4780.
- [12] 李洁. 脂代谢及其与运动性疲劳的关系[J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 34(4): 109-113.
- [13] 张越华, 曾和平. 脂肪酸在生命过程中的作用研究进展[J]. *中国油脂*, 2006, 31(12): 11-15.
- [14] 陈银基, 鞠兴荣, 周光宏. 饱和脂肪酸分类与生理功能[J]. *中国油脂*, 2008, 33(3): 35-39.
- [15] 王晞, 李丹. 耐力运动对脂代谢的影响研究[J]. *南京体育学院学报(自然科学版)*, 2005, 4(2): 21-24.