

肉苁蓉对大鼠力竭游泳能力和心肌线粒体抗氧化能力的影响

周海涛¹, 曹建民², 林强^{1*}

(1. 北京联合大学, 北京 100023; 2. 北京体育大学, 北京 100084)

[摘要] **目的:**研究肉苁蓉对大鼠运动能力及心肌线粒体抗氧化能力的影响。**方法:**7 周龄清洁级雄性 Wistar 大鼠 120 只随机分为静止 ig 水组(C 组)、静止 ig 肉苁蓉组(M 组), 运动 ig 水组(T 组)、运动 ig 肉苁蓉 1~4 组(TM1~4 组)。每天 ig 1 次。TM1~4 组 ig 剂量依次为 6.01, 9.97, 13.94, 17.90 g·kg⁻¹, ig 体积为 5 mL·kg⁻¹, C, T 2 组 ig 等量蒸馏水。4 周力竭游泳训练后, 测定体重、力竭游泳时间及心肌线粒体中丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)含量等与疲劳作用相关的指标。**结果:**TM 各组体重大于 T 组($P < 0.05$), 力竭游泳时间均长于 T 组($P < 0.01$), TM 各组间无显著性差异。力竭游泳导致大鼠心肌线粒体中 MDA 含量显著升高, T 组及 TM 1~4 组分别升高至(5.96 ± 0.71), (5.05 ± 0.36), (5.05 ± 0.92), (5.06 ± 0.16), (5.05 ± 0.25) μmol·L⁻¹, 且 TM 各组明显低于 T 组($P < 0.01$); SOD, GSH-Px 活性显著下降(T 组及 T1~T4 组 SOD 分别下降至(209.7 ± 817.21), (249.85 ± 10.93), (253.98 ± 9.64), (259.311 ± 4.57), (259.461 ± 5.73) U·mL⁻¹, GSH-Px 分别下降至(57.95 ± 11.95), (68.58 ± 6.01), (70.63 ± 5.83), (70.78 ± 7.04), (72.56 ± 4.34) U·mg⁻¹, 且 TM 各组明显高于 T 组($P < 0.01$); TM 各组间各项指标无显著性差异。**结论:**肉苁蓉具有提高大鼠运动能力和心肌线粒体抗氧化酶活性的作用, 从而减轻自由基对心肌线粒体膜和肌浆网膜造成损伤, 抑制大强度力竭运动造成的心肌线粒体氧化损伤, 延缓疲劳发生; 有显著作用的剂量为 6.01 g·kg⁻¹。

[关键词] 肉苁蓉; 运动能力; 抗自由基; 心肌; 线粒体

[中图分类号] R285.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2012)06-0229-05

Effect of Cistanches Herba on the Swimming Ability and Oxidation Resistance of Mitochondrial in Rats

ZHOU Hai-tao¹, CAO Jian-min², LIN Qiang^{1*}

(1. Beijing Union University, Beijing 100023, China; 2. Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

[Abstract] **Objective:** To study the effect of Cistanche Herba on swimming ability antioxidant resistance of mitochondrial in rats **Method:** One hundred and twenty male Wistar rats were randomly divided into static ig water group (C group), still ig Cistanche Herba group (M group), exercise ig water group (T group), group exercise ig Cistanches Herba 1-4 (TM 1-4 group). A professional device ig 1 times a day. TM 1-4 ig dose group were 6.01, 9.97, 13.94, 17.90 g·kg⁻¹, ig volume 5 mL·kg⁻¹, C, T two groups ig distilled water. 4 weeks after exhaustive swimming training, measured body weight, swimming time and heart mitochondria in malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px) levels and other indicators related with fatigue. **Result:** TM weight of each group is greater than the T group ($P < 0.05$), swimming time longer than T group ($P < 0.01$), TM each group no significant differences. Result of exhaustive swimming in the MDA content in rat heart mitochondria was significantly increased, T-group and TM 1-4 group were increased to (5.96 ± 0.71), (5.05 ± 0.36), (5.05 ± 0.92), (5.06 ± 0.16), (5.05 ± 0.25) μmol·L⁻¹, and that the TM groups were significantly different lower than the T group ($P < 0.01$); SOD, GSH-Px activity was significantly decreased (T-group and T1-T4 group, SOD decreased to (209.78 ± 17.21), (249.85 ± 10.93), (253.98 ±

[收稿日期] 20110928(004)

[第一作者] 周海涛, 硕士, 讲师, 从事运动人体科学研究, Tel: 13611383040, E-mail: zsettle@sina.com

[通讯作者] * 林强, 博士, 教授, 从事天然产物分离与保健食品研究, Tel: 13910232705, E-mail: linqiang@buu.edu.cn

9.64), (259.31 ± 14.57), (259.46 ± 15.73) U · mL⁻¹, GSH-Px decreased to (57.95 ± 11.95), (68.58 ± 6.01), (70.63 ± 5.83), (70.78 ± 7.04), (72.56 ± 4.34) U · mg⁻¹, and that the TM groups were significantly higher than the T group ($P < 0.01$); TM of each group showed no significant difference. **Conclusion:** Cistanches Herba has improved exercise capacity in rat heart mitochondria and the role of antioxidant enzymes, there by reducing free radicals on myocardial sarcoplasmic reticulum and mitochondrial membrane damage, inhibition of high-intensity exhaustive exercise cause myocardial mitochondrial oxidative damage, delay fatigue occurred; have a significant effect at a dose of 6.01 g · kg⁻¹.

[**Key words**] Herba Cistanches; exercise capacity; anti-free radical; myocardium; mitochondria

肉苁蓉为列当科肉苁蓉属多年寄生草本植物。主产于我国内蒙、新疆等省(区)及伊朗、蒙古、印度等国^[1-3]。因其生长在荒漠中,具有极好的药用价值,素有“沙漠人参”之美誉。李时珍曰:“此物补而不峻,故有从容之兮”。其味甘、咸、性温。有补肾阳、益精血、润燥滑肠、抗疲劳之功效。在我国,其药用历史有1 800年之久,始载于《神农本草经》,列为上品。历代药书均有记载。据统计,在历代增力中药处方中肉苁蓉的出现率占第一位,而在抗衰老类方剂中仅次于人参居第二位^[4]。目前已知肉苁蓉中化学成分主要为肉苁蓉总苷(GCs,主要活性成分为苯乙醇苷类);烃类;生物碱;黄酮类;氨基酸;环烯醚萜类;*D*-甘露醇、 β -谷甾醇;多糖及无机微量元素等^[5-12]。当前主要应用其补肾壮阳及润肠通便之功效,而针对缓解运动性疲劳功效的应用相对较少。本文拟通过对大鼠 ig 不同剂量的肉苁蓉提取物以观察其对大鼠运动能力以及心肌线粒体抗氧化能力的影响,探索其清除大鼠力竭运动后心肌线粒体自由基代谢产物,减轻自由基对心肌线粒体的损伤,消除疲劳,增强运动能力的作用,从而为肉苁蓉更好的应用于运动营养食品领域提供理论依据。

1 材料

1.1 动物 清洁级雄性 Wistar 大鼠 120 只,7 周龄,平均体重(256.9 ± 15.2)g,北京大学医学部实验动物科学部提供,合格证编号 SCXK(京)2006-0008。在整个实验过程中,实验室内温度保持在(22 ± 2)℃,相对湿度 55% ~ 75%,光照时间随自然变化。所有实验大鼠均以基础饲料(北京大学医学部实验动物科学部提供)和蒸馏水常规饲养,自由饮食。实验时间为 35 d,正式训练时间为 4 周。

1.2 用药 肉苁蓉 *Cistanche deserticola* Y. C. Ma,产地内蒙,北京同仁堂购得,并经天津中瑞药业有限公司高占友高级工程师鉴定。提取方法:将干燥带鳞叶的肉苁蓉粉碎成粗粉,用 60% 乙醇水浴提取 3 次,每次 2 h。合并提取液冷藏 24 h 过滤,滤液减压

回收乙醇,浓缩成浸膏(2 g 生药/1 g 浸膏),备用^[13]。

1.3 试剂 丙二醛(MDA),采用比色法测定;超氧化物歧化酶(SOD),采用黄嘌呤氧化酶法测定;谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)采用化学比色法测定,均采用南京建成生物工程研究所提供试剂盒,并严格按照使用说明操作。

2 方法

2.1 动物分组 为使实验大鼠适应新环境,首先将购回的大鼠分笼适应性饲养 7 d,适应期的第 4 天下午以随机分组法,分为 7 组,即静止 ig(灌胃)水组(C 组)、静止 ig 肉苁蓉组(M 组 6.01 g · kg⁻¹),运动 ig 水组(T 组)、运动 ig 肉苁蓉 1 ~ 4 组(TM 1 ~ 4 组),每组 15 只(剔除不符合实验要求的大鼠)。

2.2 训练及测试方案 T 组及 TM 各组大鼠均采用游泳运动。采用长 100 cm,宽 50 cm,高 60 cm 的玻璃泳槽作为大鼠游泳训练装置,水深 50 cm,水温(31 ± 2)℃,为防止大鼠在水面漂浮不动,特在游泳箱底部放置佳宝“AP1500”型水泵形成流动水。训练 4 周,第 1 周不负重,第 2 周负 2% 体重,第 3 周负 4% 体重,第 4 周负 5% 体重,每次游泳训练至力竭。训练期间,采用专业灌胃器,每天 ig 1 次。TM 1 ~ 4 组 ig 剂量依次为 6.01,9.97,13.94,17.90 g · kg⁻¹的肉苁蓉提取物,ig 体积为 5 mL · kg⁻¹,C, T 2 组 ig 等量蒸馏水。大鼠的 ig 剂量是根据人体用量综合确定。据《全国中草药汇编》(上册)^[14]查得人体的肉苁蓉用量为 2 ~ 6 钱(约为 66.78 ~ 198.9 g),根据人与实验动物药物剂量的换算方法,计算得出大鼠的肉苁蓉高低剂量区间为:6.01 ~ 17.90 g · kg⁻¹。力竭标准以动物下沉后 10 s 不露出水面为度。处死前的最后 1 次为无负重力竭游泳训练,力竭判断标准同上,记录达力竭的游泳时间。测定大鼠开始游泳至力竭所用时间为大鼠力竭运动能力^[15],运动后即处死。处死时采用戊巴比妥钠 65 mg · kg⁻¹麻醉,冰盘暴露腹腔,迅速取心室肌组织,加入分离介质后在冰浴中剪

碎,匀浆器匀浆后置离心管,据 Vaghy 报道方法在 0 ~ 4 °C 下采用差速离心分离线粒体^[16]。

2.3 统计学方法 采用 SPSS 12 软件对所有数据进行处理,数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示,显著性检验为 *t* 检验。 $P < 0.05$ 有统计学意义。

3 结果

3.1 体重及运动能力 各组大鼠体重均呈上升趋势。其中 C 组大鼠体重最大;M 组与 C 组接近,但无显著性差异;TM 各组间接近,但无显著性差异,且均少于 M 组 ($P < 0.05$),大于 T 组 ($P < 0.05$)。TM 各组力竭游泳时间均长于 T 组 29.45 min 以上

($P < 0.01$);而 TM 各组间无显著性差异。见表 1。

3.2 心肌线粒体 MDA^[17], GSH-Px^[18], SOD^[17] 含量 力竭运动引起大鼠心肌线粒体 MDA 含量升高, T 组高于 C 组 ($P < 0.01$);TM 各组高于 M 组 ($P < 0.05$);TM 各组均低于 T 组 ($P < 0.01$)但仍高于 C 组;GSH-Px 含量下降, T 组低于 C 组 ($P < 0.01$), TM 各组低于 M 组 ($P < 0.05$);TM 各组高于 T 组 ($P < 0.01$),但仍低于 C 组;SOD 含量下降, T 组低于 C 组 ($P < 0.01$), TM 各组低于 M 组 ($P < 0.05$);TM 各组高于 T 组 ($P < 0.01$),但仍低于 C 组;TM 各组间各项指标无显著性差异。见表 2。

表 1 补充肉苁蓉前后大鼠体重及补充后负重游泳至力竭时间 ($\bar{x} \pm s, n = 15$)

组别	剂量/g·kg ⁻¹	补充前体重/g	补充后体重/g	力竭游泳时间/min
静止 ig 水	-	254.25 ± 15.28	435.12 ± 35.42	-
运动 ig 水	-	255.25 ± 15.46	389.12 ± 18.42 ¹⁾	120.53 ± 41.25
静止 ig 肉苁蓉	6.01	257.25 ± 17.28	427.12 ± 25.42	-
运动 ig 肉苁蓉	6.01	256.29 ± 16.09	406.19 ± 25.97 ^{2,4)}	149.98 ± 18.03 ³⁾
	9.97	254.03 ± 14.34	412.86 ± 25.52 ^{2,4)}	151.91 ± 13.83 ³⁾
	13.94	255.13 ± 13.33	413.93 ± 23.54 ^{2,4)}	152.29 ± 15.57 ³⁾
	17.90	255.53 ± 16.10	414.81 ± 19.95 ^{2,4)}	152.96 ± 14.57 ³⁾

注:与静止 ig 水组对比¹⁾ $P < 0.01$;与运动 ig 水组对比²⁾ $P < 0.05$,³⁾ $P < 0.01$;与静止 ig 肉苁蓉组对比⁴⁾ $P < 0.05$ 。

表 2 肉苁蓉对力竭大鼠心肌线粒体 MDA 含量, GSH-Px, SOD 活力的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 15$)

组别	剂量/g·kg ⁻¹	MDA/μmol·L	GSH-Px/U·mg ⁻¹	SOD/U·mL ⁻¹
静止 ig 水	-	4.68 ± 0.82	80.36 ± 9.88	271.54 ± 15.68
运动 ig 水	-	5.96 ± 0.71 ¹⁾	57.95 ± 11.95 ¹⁾	209.78 ± 17.21 ¹⁾
静止 ig 肉苁蓉	6.01	4.56 ± 0.39	85.72 ± 14.23	290.35 ± 20.31
运动 ig 肉苁蓉	6.01	5.05 ± 0.36 ^{2,5)}	68.58 ± 6.01 ^{3,4)}	249.85 ± 10.93 ^{3,4)}
	9.97	5.05 ± 0.92 ^{2,5)}	70.63 ± 5.83 ^{3,4)}	253.98 ± 9.64 ^{3,4)}
	13.94	5.06 ± 0.16 ^{2,5)}	70.78 ± 7.04 ^{3,4)}	259.31 ± 14.57 ^{3,4)}
	17.90	5.05 ± 0.25 ^{2,5)}	72.56 ± 4.34 ^{3,4)}	259.46 ± 15.73 ^{3,4)}

注:与静止 ig 水组对比¹⁾ $P < 0.01$;与运动 ig 水组对比²⁾ $P < 0.05$,³⁾ $P < 0.01$;与静止 ig 肉苁蓉组对比⁴⁾ $P < 0.05$,⁵⁾ $P < 0.01$ 。

4 讨论

4.1 肉苁蓉对大鼠体重及力竭运动能力的影响 体重方面,在整个实验过程中, M 组呈逐渐增长的趋势,与 C 组无显著性差异,说明补充肉苁蓉不会对大鼠的生长发育产生不良影响。T 组小于 C 组 ($P < 0.01$), TM 各组小于 M 组 ($P < 0.05$),说明负重力竭性游泳对大鼠的生长发育产生了一定的影响。TM 各组大于 T 组 ($P < 0.05$),说明补充肉苁蓉对于大鼠负重力竭性游泳过程中的生理机能调节和促进生长发育具有一定作用。而 TM 各组间未出现

显著性差异,则说明补充肉苁蓉虽然对负重力竭性游泳过程中大鼠的生理机能调节和生长发育具有一定功效,但根据人体用量综合确定服用的不同剂量之间无显著差异。TM 各组未出现疲劳症状;T 组只有部分出现一定疲劳症状,但未出现体形瘦弱,皮毛杂乱无光泽甚至脱落等症状说明递增负荷的训练未对大鼠造成过度疲劳。

力竭运动能力方面,力竭时间是机体的抗应激能力、抗疲劳能力等多种作用的综合体现,是衡量机体运动能力的重要直接指标^[19]。TM 各组比 T 组延

长了 29.45 ~ 32.43 min ($P < 0.01$), 而 TM 各组间无显著性差异。说明服用肉苁蓉可以有效延长大鼠力竭游泳时间, 缓解运动性疲劳, 但根据人体用量综合确定服用的不同剂量之间无显著差异。

肉苁蓉延缓运动性疲劳的机制可能为以下几方面: 肉苁蓉可以提高抗氧化酶活性, 从而提高大鼠运动时自由基的消除^[20-21]; 肉苁蓉中含有多种多酚类、苷类物质, 其直接具有消除自由基的功能^[20-22]; 肉苁蓉具有补肾壮阳作用, 可以改善大负荷运动造成的下丘脑-垂体-性腺轴机能, 促进大鼠睾酮的分泌, 有利于机体合成代谢, 具有抗疲劳功效^[23]; 肉苁蓉中含有多种有效成分促进机体能量代谢, 起到抗疲劳作用^[24-26]。

4.2 肉苁蓉对心肌线粒体的抗氧化能力的影响

在正常情况下体内自由基的产生和清除处于一个动态平衡状态^[27]。力竭运动时, 机体耗氧量增加 1 020 倍, 而肌纤维的耗氧量是安静时的 100 倍, 其中大部分的氧气在心肌线粒体呼吸链中被氧化成水, 但有 2% ~ 5% 的氧气被还原成自由基^[28]。自由基与 70 多种疾病有关, 也是诱发疲劳和致使疲劳不易恢复的原因之一。骨骼肌特别是心肌组织有较高的基础代谢率, 且心肌抵御氧自由基的能力较差, 对过氧化作用具有高敏感性, 容易受到自由基的攻击产生自由基损伤。

组织线粒体中 MDA 是细胞脂质过氧化的一种主产物, 生物膜脂质不饱和脂肪酸极易受到自由基的攻击而发生过氧化, 所以组织线粒体 MDA 含量是目前公认的衡量机体自由基代谢的敏感指标^[29]。其生成量不仅反映氧自由基生成与否, 而且还反映脂质过氧化程度, 因而测定 MDA 含量可推测脂质过氧化程度。

机体内存在清除自由基、减轻其危害的主要物质是抗氧化酶, 其中 SOD 是处于自由基防御前沿的抗氧化酶之一^[30]。SOD 是需氧生物体内数千种酶中以氧自由基为底物的唯一酶, 该酶对底物显示很强的专一性, 而且催化效能很高。其通过催化超氧阴离子形成过氧化氢而清除超氧阴离子, 保护机体免受损伤, 同时一定范围内, 自由基代谢增强时, SOD 会代偿性增加。另外, SOD 使超氧阴离子成为细胞内自由基的排污槽, Koppeno^[31]以热力学理论支持了“排污槽”的设想, 并研究发现 SOD 清除超氧阴离子自由基, 正好适合超氧阴离子自由基充当为电子转移的自由基“排污槽”。故 SOD 活性的高低是机体抗氧化能力强弱的标志。

GSH-Px 是机体广泛存在的一种重要的抗氧化酶, 主要存在于细胞液与线粒体内, 与 SOD, CAT 一同构成了对抗机体活性氧的三道防线, 可催化 GSH 对过氧化氢的还原反应, 从而起到保护细胞膜结构和功能完整的作用^[32]。

从实验结果分析: T 组与 C 组相比较: 大鼠心肌线粒体中 MDA 含量显著升高 ($P < 0.05$), SOD, GSH-Px 含量显著降低 ($P < 0.01$); TM 各组与 M 组相比较: 大鼠心肌线粒体中 MDA 含量显著升高 ($P < 0.01$), SOD, GSH-Px 活力显著降低 ($P < 0.05$)。说明肉苁蓉一方面通过改善机体供氧能力, 改善运动机体微循环, 增强机体免疫力, 使 SOD 增加, 活力增强, 降低心肌的过氧化脂质 (LPO) 含量; 另一方面可以通过减少机体超氧阴离子自由基的生成, 而使 SOD 的消耗相应降低。两方面的共同作用能够调节机体维持 SOD 的动态平衡, 非常显著提高大鼠力竭运动心肌组织 SOD 活性, 对清除机体自由基、减轻自由基对线粒体膜和肌浆网膜造成损伤, 以及减轻对酶蛋白的氧化损伤起到积极作用, 从而延缓疲劳发生。

TM 各组间 MDA 含量, SOD, GSH-Px 活力差别较小, 无显著性差异。说明肉苁蓉具有改善大鼠因大强度力竭运动引起的自由基代谢紊乱、抑制心肌线粒体氧化损伤、缓解疲劳的作用; 有显著作用的剂量为 $6.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 超过此剂量的肉苁蓉并不能进一步显著提高大鼠运动能力和抗自由基的能力。

[参考文献]

- [1] 程齐来, 陈君. 肉苁蓉属植物研究概况 [J]. 中药材, 2004, 27(10): 789.
- [2] 罗廷彬, 陈亚宁, 任崑, 等. 肉苁蓉研究进展 [J]. 干旱区研究, 2002, 19(4): 56.
- [3] 张勇, 吴焕, 王顺年, 等. 中药肉苁蓉商品药材和原植物资源调查 [J]. 植物资源与环境, 1993, 2(1): 10.
- [4] 孟庆艳, 谢梓飞, 罗锋, 等. 管花肉苁蓉中苯乙醇苷类成分的提取工艺优选 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(2): 28.
- [5] 朱咏华, 罗泽民. 肉苁蓉的研究进展及前景分析 [J]. 湖南林业科技, 2000, 27(4): 19.
- [6] 李丽, 时东方, 桂语歌, 等. 肉苁蓉中苯乙醇苷化合物的抗氧化活性研究 [J]. 安徽农业科学, 2007, 37(32): 15835.
- [7] Hirni Kobayashi, Hiroko Karasawa, Toshio Miyase, et al. Studies on the constituents cistanchis herba. III. isolation and structures of new phenylpropanoid

- glycosides, cistanosides A and B[J]. Chem Pharm Bull, 1984, 32(10):3009.
- [8] Hiromi Kobayashi, Hiroko Karasawa, Toshio Miyase, et al. Studies on the constituents cistanchis herba. IV. isolation and structures of two new phenylpropanoid glycosides, cistanosides C and D [J]. Chem Pharm Bull, 1984, 32(10):3880.
- [9] Hiromi Kobayashi, Hiroko Karasawa, Toshio Miyase, et al. Studies on the constituents cistanchis herba. V. isolation and structures of two new phenylpropanoid glycosides, cistanoside E and F [J]. Chem Pharm Bull, 1985, 33(4):1452.
- [10] Hiromi Kobayashi, Hiroko Oguchi, Nonuo Takizawa, et al. New phenylethanoid glycosides from *Cistanoside tubulosa* (SCHRENK) Hook. f [J]. Chem Pharm Bull, 1987, 35(8):3309.
- [11] 徐朝晖,杨峻山,吕瑞绵,等. 肉苁蓉化学成分的研究[J]. 中草药, 1999, 30(4):244.
- [12] 罗尚夙,顾莹,刘永和. 肉苁蓉化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 1986, 11(11):681.
- [13] 薛德钧,刘能俊,胡福泉,等. 肉苁蓉提取物对人体抗衰老作用研究[J]. 中国现代应用药学, 1997, 14(5):17.
- [14] 全国中草药汇编编写组. 全国中草药汇编[M]. 北京:人民卫生出版社, 388.
- [15] Voces J. Effects of administration of the standardized Panax ginseng extract G115 on hepatic antioxidant function after exhaustive exercise [J]. Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol, 1999, 123(2):175.
- [16] Vághy P L, Johnson J D, Matlib M A, et al. Selective inhibition of Na⁺-induced Ca²⁺ release from heart mitochondria by diltiazem and certain other Ca²⁺ antagonist drugs [J]. J Biol Chem, 1982, 257(11):6000.
- [17] Dekkers J C. The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise-induced muscle damage [J]. Sports Med, 1996, 21(3):213.
- [18] Lawrence C H. Effect of Ginseng Saponins on Exercise performance in non-trained rats [J]. Planta Med, 1998, 64(2):130.
- [19] 王丛笑,周军. 对中药抗运动性疲劳研究中动物模型的一些思考[J]. 中国实验方剂学杂志, 2009, 15(3):83.
- [20] 王晓雯,李琳琳,木胡牙提,等. 肉苁蓉总甙对小鼠组织的抗氧化作用[J]. 中国中药杂志, 1998, 23(9):554.
- [21] 王晓雯,蒋晓燕,邬利娅·伊明,等. 肉苁蓉总苷体外清除自由基及对OH·引发的DNA损伤的保护作用[J]. 中国药理学杂志, 2001, 36(1):29.
- [22] 周海涛,曹建民,林强. 红景天对大鼠力竭游泳能力和心肌线粒体的抗氧化能力的影响[J]. 沈阳体育学院学报, 2010, 10:57.
- [23] 常波. 中医药与运动性疲劳[J]. 西安体育学院学报, 2005, 5:64.
- [24] 王耀光. 小鼠力竭运动后GSH变化及MDA、ATP与肌肉机能恢复关系的研究[J]. 山东体育学院学报, 1997, 13(3):35.
- [25] 李素琴. 运动训练与糖与蛋白质营养补充[J]. 南京体育学院学报, 2001, 19(2):18.
- [26] 冯春. 中长跑运动员运动性血红蛋白下降和运动性贫血的诊断及其营养恢复的探讨[J]. 运动医疗站, 2004(11):56.
- [27] Husain K, Somani S M. Response of cardiac antioxidant system to alcohol and exercise training in the rat [J]. Alcohol, 1997, 14(3):301.
- [28] Urso M L, Clarkson P M. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation [J]. Toxicology, 2003; 189:41.
- [29] Chen P J, Hirata F. The effects of long-term training at various loads on immunity and neuroendocrine responses in rats [J]. J NIFS KJ, 1998, 9:19.
- [30] 孙存普,张建中,段绍瑾,等. 自由基生物学导论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 1999:6.
- [31] 刘俊,秦志峰,刘运莲,等. 运动训练对小鼠肌肉组织自由基损伤的影响[J]. 南华大学学报:医学版, 2003, 31(1):22.
- [32] Dillard C J. Effects of exercise vitamin E and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation [J]. J Appl Phys, 1978, 45:927.

[责任编辑 聂淑琴]