

- (1): 5-19.
- [9] Sano R, Reed J C. ER stress-induced cell death mechanisms [J]. *Biochim Biophys Acta*, 2013, 1833(12): 3460-3470.
- [10] Sun X K, Dai L Z, Zhang H, et al. Neuritin attenuates neuronal apoptosis mediated by endoplasmic reticulum stress *in vitro* [J]. *Neurochem Res*, 2018, 43(7): 1383-1391.
- [11] Yang Y, Liu L, Naik I, et al. Transcription factor C/EBP homologous protein in health and disease [J]. *Front Immunol*, 2017, 8: 1612.
- [12] 张羽飞, 孟娜娜, 李厚忠, 等. 柚皮苷对糖尿病大鼠心肌病氧化应激及内质网应激的影响 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(3): 596-602.

天棘膏对小鼠抗疲劳的影响

左洁杰^{1,2}, 高茸², 赵皖京², 杨阔^{2,3}, 王镜^{1,2}, 刘肖², 钟芮娜¹, 詹皓², 袁海龙^{2*}

(1. 成都中医药大学药学院, 四川成都 611137; 2. 空军特色医学中心, 北京 100142; 3. 江西中医药大学药学院, 江西南昌 330004)

摘要: 目的 研究天棘膏对小鼠抗疲劳的影响。方法 将小鼠随机分为空白组、洋参含片组(洋参含片 0.234 g/kg)及天棘膏低、中、高剂量组(天棘膏 5.85、11.70、17.55 g/kg), 每组 12 只, 1 次/d, 连续灌胃给药 15 d。末次给药 1 h 后, 各组小鼠负重游泳, 并记录力竭的时间; 无负重游泳 90 min 后, 测定血清中 Glu、BLA、TG、TC、BUN 水平, 肝脏中 SOD, GSH-Px, MDA 及肌肉 Gly 水平。结果 与空白组比较, 天棘膏组低、中、高剂量组小鼠负重游泳时间延长($P<0.05$), Glu、Gly 水平上调($P<0.05$), BLA、BUN 的水平降低($P<0.05$); 高剂量组 TG、TC 的水平降低($P<0.05$); 此外, 天棘膏中、高剂量组小鼠肝组织中 SOD 和 GSH-Px 上调, 而 MDA 的水平下降($P<0.05$)。结论 天棘膏具有抗疲劳作用, 通过调节氧化系统, 增强体内抗氧化酶的活性, 促进自由基的清除, 减少自由基引起的脂质过氧化反应, 减少氧化损伤。

关键词: 天棘膏; 抗疲劳; 游泳

中图分类号: R285.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2020)03-0615-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2020.03.013

Antifatigue effects of Tian-Ji-Gao on mice

ZUO Jie-jie^{1,2}, GAO Rong², ZHAO Wan-jing², YANG Kuo^{2,3}, WANG Jing^{1,2}, LIU Xiao², ZHONG Rui-na¹, ZHAN Hao², YUAN Hai-long^{2*}

(1. College of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 2. Department of Pharmacy, Air Force Medical Center, Beijing 100142, China; 3. College of Pharmacy, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China)

ABSTRACT: AIM To investigate the antifatigue effects of Tian-Ji-Gao on mice. **METHODS** Mice were randomly divided into blank group, ginseng lozenge group (ginseng lozenge 0.234 g/kg), and low-dose, medium-dose, and high-dose Tian-Ji-Gao groups (Tian-Ji-Gao 5.85, 11.70, 17.55 g/kg) for intragastric administration once daily, for 15 days. One hour after the last dose, the mice in each group swam with heavy loads had their exhaustion time recorded; and after 90-min swimming without heavy load, mice' serum levels of Glu, BLA, TG, TC and BUN, SOD, GSH-px, MDA in liver and muscle Gly were measured. **RESULTS** In contrast to mice of the blank group, mice of all Tian-Ji-Gao groups were observed with prolonged weight-bearing swimming time ($P<0.05$), increased levels of Glu and Gly ($P<0.05$), and reduced levels of BLA and BUN ($P<0.05$); and the

收稿日期: 2019-10-22

基金项目: 军事飞行人员用药目录研究 (BKJ15J005)

作者简介: 左洁杰 (1995—), 女, 硕士生, 从事中药新制剂、新剂型、新技术研究。Tel: 18408274886, E-mail: 1101396383@qq.com

*通信作者: 袁海龙 (1970—), 男, 研究员, 博士生导师, 从事中药新型给药系统。Tel: (010) 66933367, E-mail: yhlpharm@126.com

high-dose group shared reduced TG and TC levels ($P<0.05$). In addition, mice of both medium-dose and high-dose Tian-Ji-Gao groups displayed up-regulated hepatic SOD and GSH-Px, and decreased MDA levels ($P<0.05$).

CONCLUSION The antifatigue properties of Tian-Ji-Gao may be explained by its regulation upon the oxidation system, enhancement of the antioxidant enzymes activity, promotion of the free radicals elimination, reduction of the free radicals-induced lipid peroxidation, and thereby less oxidative damage.

KEY WORDS: Tian-Ji-Gao; anti-fatigue; swim

疲劳是机体对体力消耗或压力的正常反应, 同时也是生理功能紊乱的信号, 其表现包括疲倦虚弱、缺乏精力、注意力不集中、体力和工作能力下降等^[1-2]。一般情况下, 疲劳对普通人不会产生严重的影响, 但对于某些特殊作业的人群, 例如航天航空、军事飞行、驾驶来说, 疲劳会降低人体对情境意识的感知, 导致判断能力和操作能力下降, 影响飞行或驾驶安全^[3]。此外, 由运动强度、压力过大或短暂失眠导致的疲劳能够通过休息、睡眠、营养补充等常规措施自然解除, 且不会影响正常生命活动, 但是伴随着抑郁、癌症等疾病产生的疲劳, 短时间难以恢复, 且持续6个月以上可能会对人们的情绪、社交及工作能力产生负面影响^[1-2]。因此, 通过药物干预疲劳成为了一种必然选择。合理使用中枢兴奋、抑制药物调节人们睡眠或提高运动能力, 从而延缓疲劳, 但此类药物的不良反应相对较大, 使用受到严格限制^[4]。因此开发安全有效的药食同源的抗疲劳药物具有极其深远的意义。

天棘膏是用红景天、西洋参、沙棘三味中药经传统的熬制工艺制成的稠膏, 用于抗疲劳。研究表明^[5-7], 这三味中药分别具有抗疲劳的作用, 并且药食两用, 制成膏剂后安全有效、携带方便。本研究通过小鼠负重游泳实验来验证天棘膏抗疲劳作用及机制, 以期为天棘膏的应用提供依据。

1 材料

1.1 动物 雄性ICR小鼠, 体质量18~22 g, 购自北京斯贝福生物技术有限公司。动物生产许可证号SCXK(京)2016-0002。

1.2 药物与试剂 天棘膏(由红景天、沙棘、西洋参组成, 华润三九医药股份有限公司代制, 批号20190312); 康富来牌洋参含片(广东康富来药业有限公司, 批号KH009)。乳酸测试盒(批号20190110)、糖原测试盒(批号20181222)、尿素氮测试盒(批号20181206)、丙二醛测试盒(批号20190109)、总超氧化物歧化酶测试盒(批号20181030)、谷胱甘肽过氧化物酶测试盒(批号20181029)、甘油三酯测试盒(批号20181219)、

总胆固醇测试盒(批号20181220)均购自南京建成生物工程研究所; 葡萄糖测试盒(批号20181007137)购自上海荣盛生物药业有限公司。

1.3 仪器 小鼠游泳箱(60 cm×40 cm×40 cm, 自制), PL-203电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; JY92-IIIn超声细胞粉碎机(宁波新芝生物科技股份有限公司); Neofuge 15R台式高速冷冻离心机(力康生物医疗科技股份有限公司); MX-F涡旋混合器(武汉赛维尔生物科技有限公司); KH-III全自动研磨仪(武汉赛维尔生物科技有限公司); Epoch酶标检测仪(美国BioTek公司)。

2 方法

2.1 分组、给药 将SPF级雄性ICR小鼠适应性喂养1周后, 按照体质量随机分空白组、洋参含片组(0.234 g/kg)、天棘膏低、中、高剂量组(5.85、11.70、17.55 g/kg), 每组12只。天棘膏组按照各组给药剂量给予天棘膏, 洋参含片组给予洋参含片0.234 g/kg, 空白组给予生理盐水, 灌胃给药1 d/次, 连续灌胃15 d。

2.2 小鼠负重游泳 实验期间, 每隔1 d称1次体质量, 并分别于第1、5、10天灌胃1 h后对所有小鼠进行10 min的游泳训练, 最后1次灌胃1 h后, 称定小鼠体质量, 然后在小鼠尾根部1 cm处负荷体质量4%的铅皮, 放入游泳箱中[60 cm×40 cm×40 cm, (30±1)℃]。力竭判断标准, 小鼠头部沉入水中, 经10 s仍不能返回水面且翻正反射消失视为力竭。记录游泳开始时间至力竭的时间作为小鼠游泳时间^[8]。

2.3 血清指标测定 最后1次灌胃1 h后, 进行无负重游泳90 min, 休息1 h后, 摘眼球取血, 室温下静置30 min, 3 000 r/min离心10 min, 分离血清, 置-80℃冰箱中保存^[9-10]。运用试剂盒检测血清中葡萄糖(glucose, Glu)、血乳酸(blood lactic acid, BLA)、甘油三酯(triglyceride, TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)水平。

2.4 组织指标检测 分离出肝脏和腓肠肌, 置-80℃冰箱中保存。运用试剂盒检测肝脏中超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD), 谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px), 丙二醛 (malonaldehyde, MDA) 及肌肉中糖原 (muscle glycogen, Gly) 水平。

2.5 统计学分析 采用 SPSS 21.0 统计学软件进行分析。计量资料以 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 2 组间比较采

用 *t* 检验, 多组间比较采用方差分析, 组间两两比较采用 SNK 检验, 以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

3 结果

3.1 对小鼠体质量的影响 各组小鼠体质量呈逐渐增加趋势, 相同天数小鼠各组体质量差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 表明天棘膏对小鼠体质量的增长无影响, 见表 1。

表 1 天棘膏对小鼠体质量的影响 ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Effects of Tian-Ji-Gao on mice body weight ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	体质量/g		
		第 1 天	第 8 天	第 15 天
空白组	—	26.35 ± 0.93	33.80 ± 1.48	37.62 ± 2.31
天棘膏低剂量组	5.85	26.59 ± 1.04	33.25 ± 2.01	36.63 ± 2.54
天棘膏中剂量组	11.70	27.35 ± 1.32	33.56 ± 2.59	36.78 ± 3.50
天棘膏高剂量组	17.55	26.43 ± 1.30	32.12 ± 1.83	35.45 ± 2.27
洋参含片组	0.234	26.80 ± 1.25	33.90 ± 1.25	37.64 ± 1.41

3.2 对小鼠负重游泳时间的影响 与空白组比较, 天棘膏低、中、高剂量组及洋参含片组小鼠负重游泳时间延长 ($P < 0.05$), 延长率分别为 52.55%、52.91%、80.43%、62.63%, 见表 2。

表 2 天棘膏对小鼠负重游泳时间的影响 ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

Tab. 2 Effects of Tian-Ji-Gao on weight-loaded swimming time of mice ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	负重游泳时间/ min	延长率/%
空白组	—	8.43 ± 2.94	—
天棘膏低剂量组	5.85	12.86 ± 2.78 *	52.55
天棘膏中剂量组	11.70	12.89 ± 3.03 *	52.91
天棘膏高剂量组	17.55	15.21 ± 2.16 *	80.43
洋参含片组	0.234	13.71 ± 3.55 *	62.63

注:与空白组比较, * $P < 0.05$ 。

3.3 对小鼠体内能量代谢的影响

3.3.1 对小鼠血清 Glu 及肌肉 Gly 水平的影响 与空白组比较, 天棘膏低、中、高剂量组及洋参含片组小鼠血清 Glu 和肌肉 Gly 水平均升高 ($P < 0.05$), 见表 3。

表 3 天棘膏对小鼠血清 Glu 和肌肉 Gly 水平的影响 ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

Tab. 3 Effects of Tian-Ji-Gao on serum Glu and muscle Gly levels in mice ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Glu / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	Gly / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
空白组	—	5.06 ± 1.43	0.18 ± 0.07
天棘膏低剂量组	5.85	6.37 ± 1.73 *	0.27 ± 0.08 *
天棘膏中剂量组	11.70	8.18 ± 1.15 *	0.33 ± 0.10 *
天棘膏高剂量组	17.55	10.62 ± 1.58 *	0.36 ± 0.11 *
洋参含片组	0.234	10.44 ± 1.46 *	0.45 ± 0.12 *

注:与空白组比较, * $P < 0.05$ 。

3.3.2 对小鼠血清 TC 及 TG 水平的影响 与空白组比较, 天棘膏高剂量组小鼠血清 TC 水平降低 ($P < 0.05$), 天棘膏中、高剂量组小鼠血清 TG 水平降低 ($P < 0.05$), 见表 4。

表 4 天棘膏对小鼠血清 TC 及 TG 水平的影响 ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

Tab. 4 Effects of Tian-Ji-Gao on serum TC and TG levels in mice ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	TC/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	TG/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
空白组	—	7.22 ± 0.81	2.41 ± 0.38
天棘膏低剂量组	5.85	6.72 ± 0.67	2.67 ± 0.51
天棘膏中剂量组	11.70	6.60 ± 0.60	1.82 ± 0.18 *
天棘膏高剂量组	17.55	6.00 ± 0.60 *	1.79 ± 0.31 *
洋参含片组	0.234	7.05 ± 0.81	2.15 ± 0.32

注:与空白组比较, * $P < 0.05$ 。

3.3.3 对小鼠 BLA 及 BUN 水平的影响 与空白组比较, 天棘膏低、中、高剂量组及洋参含片组小鼠 BLA、BUN 水平均降低 ($P < 0.05$), 见表 5。

表 5 天棘膏对小鼠 BLA 及 BUN 水平的影响 ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

Tab. 5 Effects of Tian-Ji-Gao on BLA and BUN levels in mice ($n = 12$, $\bar{x} \pm s$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	BLA/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	BUN/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
空白组	—	21.29 ± 1.83	18.57 ± 2.26
天棘膏低剂量组	5.85	16.82 ± 2.47 *	15.10 ± 1.71 *
天棘膏中剂量组	11.70	15.54 ± 2.24 *	14.29 ± 1.42 *
天棘膏高剂量组	17.55	15.29 ± 1.33 *	12.90 ± 2.27 *
洋参含片组	0.234	15.97 ± 2.00 *	14.32 ± 1.16 *

注:与空白组比较, * $P < 0.05$ 。

3.4 对小鼠体内氧化应激的影响 与空白组比较, 天棘膏中、高剂量组和洋参含片组小鼠肝组织

SOD、GSH-Px 水平升高 ($P<0.05$), MDA 水平降低 ($P<0.05$) 见表 6。

表 6 天棘膏对小鼠肝组织 SOD、GSH-Px 及 MDA 水平的影响 ($n=12$, $\bar{x}\pm s$)

Tab. 6 Effects of Tian-Ji-Gao on hepatic SOD, GSH-Px and MDA levels of mice ($n=12$, $\bar{x}\pm s$)

组别	剂量/(g·kg ⁻¹)	SOD/(U·mg prot ⁻¹)	GSH-Px/(U·mg prot ⁻¹)	MDA/(nmol·mg prot ⁻¹)
空白组	—	653. 96±60. 38	602. 70±119. 88	1. 26±0. 29
天棘膏低剂量组	5. 85	707. 76±72. 35	682. 15±177. 26	1. 20±0. 21
天棘膏中剂量组	11. 70	765. 90±66. 90 [*]	769. 34±92. 43 [*]	1. 02±0. 19 [*]
天棘膏高剂量组	17. 55	768. 73±67. 29 [*]	878. 19±157. 69 [*]	0. 71±0. 17 [*]
洋参含片组	0. 234	752. 73±96. 42 [*]	859. 38±192. 52 [*]	0. 87±0. 18 [*]

注:与空白组比较, ^{*} $P<0.05$ 。

4 讨论

负重游泳实验是评估药物的抗疲劳作用最常用的方法^[11-13]。在抗疲劳实验中, 西洋参^[11]、丹参^[14]、红景天^[15]等均可作为阳性对照药物应用, 其中西洋参^[16-18]应用最普遍, 因此本实验选择洋参含片作为阳性对照药物。小鼠负重游泳实验发现, 天棘膏可显著增加小鼠负重游泳时间, 表明天棘膏可以提高小鼠运动耐力, 具有抗疲劳作用。不同剂量天棘膏组, 游泳时间及各生物指标差异不显著, 表明天棘膏抗疲劳作用不具备量效关系, 其可能原因是给药剂量设置差异过小。

机体运动时需要消耗大量的能源物质, 如糖类、脂肪和蛋白质。糖类主要包括 Glu 和 Gly, 在运动中常被优先利用, Glu 可直接被消耗产生大量能量, Gly 则是维持糖酵解、氧化磷酸化及血糖水平的主要物质, 若糖类被消耗太多, 血糖不足, Gly 的储备减少, 能量供应不足则易产生疲劳^[19]。除此之外, 糖酵解会产生大量的 BLA, BLA 过多会打破体内酸碱平衡, 影响 ATP 转化及产生, 抑制能量代谢, 减弱肌丝张力, 引起疲劳^[12, 19]。糖类物质供能不足时, 脂肪会分解产生能量, 因此通过提高脂肪的供能比例, 可以减少糖类物质的消耗, 增加糖原的储备^[1, 10]。本研究中, 与空白组比较, 小鼠长时间游泳运动后, 天棘膏组小鼠 Glu 及 Gly 水平均显著升高, BLA 水平显著降低, 高剂量组小鼠血清 TG 与 TC 水平均显著降低, 表明天棘膏可以通过促进脂肪类物质的分解供能, 减少糖类物质的利用, 增加糖原的储备, 减少 BLA 的产生来延缓疲劳。BUN 是蛋白质和氨基酸的代谢产物, 剧烈活动时, 糖类和脂肪难以提供充足的能量, 蛋白质和氨基酸就会分解释放能量, 所以 BUN 水平越高, 机体对负荷运动的适应能力或耐受力越差^[12, 20-21]。本研究中, 天棘膏组小鼠 BUN

水平均显著低于空白组, 表明天棘膏可以通过减少 BUN 的产生来缓解疲劳。

力竭运动过程中会消耗大量的氧气和能量, 同时产生大量的活性氧自由基, 过量的活性氧自由基会攻击细胞膜上不饱和脂肪酸, 发生脂质过氧化而损坏细胞, 另外也会和蛋白质、核酸反应, 进一步对细胞造成损伤, 从而加剧机体的疲劳^[22-23]。MDA 是脂质过氧化的最终产物, 其本身也会影响与 ATP 合成酶相关的线粒体呼吸链, 可以间接反映机体氧化损伤及疲劳的程度^[24]。本研究中, 天棘膏中、高剂量组小鼠肝组织 MDA 水平显著低于空白组, 表明天棘膏可以通过减少脂质过氧化反应或加速 MDA 的消除来延缓疲劳。SOD、GSH-Px 是机体内重要的抗氧化酶, SOD 可将超氧自由基转化为 H_2O_2 和 O_2 ^[25]; GSH-Px 将 H_2O_2 或氢过氧化物还原成 H_2O 和醇^[26]。本研究中, 天棘膏中、高剂量组 SOD、GSH-Px 水平均显著高于空白组, 表明天棘膏可以增强体内抗氧化酶活性, 促进自由基的清除, 减少氧化损伤。

综上所述, 天棘膏能增加小鼠负重游泳时间, 提高小鼠运动耐力, 具有抗疲劳作用, 其抗疲劳机制主要是提高脂肪类物质的供能比例, 减少糖类物质的消耗, 增加糖原的储备, 减少 BLA 和 BUN 的产生; 调节氧化系统, 增强体内抗氧化酶的活性, 促进自由基的清除, 减少自由基引起的脂质过氧化反应, 减少氧化损伤。

参考文献:

- [1] 杨秦. 玛咖抗疲劳的有效成分及机理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [2] Finsterer J, Mahjoub S Z. Fatigue in healthy and diseased individuals[J]. Am J Hosp Palliat Care, 2014, 31(5): 562-575.
- [3] 李晅, 詹皓, 郭华, 等. 空军飞行人员飞行疲劳状况调查与分析[J]. 人民军医, 2014, 57(11): 1167-1169.

- [4] 詹皓. 飞行疲劳评价方法与缓解措施的研究进展 [J]. 空军医学杂志, 2011, 27(3): 153-157; 177.
- [5] 谢磊, 李由, 刘新民, 等. 小鼠游泳耐力实验系统的建立与红景天抗疲劳作用的验证 [J]. 中国比较医学杂志, 2016, 26(5): 71-76.
- [6] 刘格宁. 沙棘叶粗提物对力竭性游泳大鼠肝脏的影响 [D]. 太原: 山西大学, 2012.
- [7] 周思敏, 田怀军, 黄庆愿, 等. 西洋参醇提取液对模拟高原暴露小鼠的抗疲劳作用研究 [J]. 解放军药学学报, 2013, 29(4): 297-300.
- [8] 李宁. 新黄芪茯苓复方抗缺氧、抗疲劳效应及对缺氧心肌蛋白表达影响的研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2018.
- [9] 胡超, 刘玉敏, 陶荣珊, 等. 鹿茸多肽的抗疲劳作用机制研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(4): 469-476.
- [10] Lamou B, Taiwe G S, Hamadou A, et al. Antioxidant and anti-fatigue properties of the aqueous extract of *moringa oleifera* in rats subjected to forced swimming endurance test [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2016, 2016: 3517824.
- [11] 牛真真, 郭遥遥, 赵新玲, 等. 谷胱甘肽对小鼠的抗疲劳作用及其机制 (英文) [J]. 食品科学, 2019, 40(17): 216-222.
- [12] Geng P, Siu K C, Wang Z M, et al. Antifatigue functions and mechanisms of edible and medicinal mushrooms [J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 9648496.
- [13] Zhao P, Wang J, Zhao W, et al. Antifatigue and antiaging effects of Chinese rice wine in mice [J]. *Food Sci Nutr*, 2018, 6(8): 2386-2394.
- [14] 邹宁, 吕剑涛, 宁立涛, 等. 天麻素抗疲劳和耐缺氧的实验研究 [J]. 上海中医药杂志, 2010, 44(11): 64-65.
- [15] 段金成, 罗顺迪, 曹祖高, 等. 西归粗多糖对游泳力竭小鼠的抗运动性疲劳作用 [J]. 中成药, 2018, 40(3): 681-684.
- [16] 杨巨峰, 王奇, 孙晶, 等. 黑枸杞水提物对小鼠疲劳及运动性心肌损伤的改善作用 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 296-299; 312.
- [17] 何恩鹏, 汤莉莉, 郭玉江. 亚精胺对小鼠骨骼肌自由基代谢影响及抗疲劳的效果研究 [J]. 食品科学, 2014, 35(9): 229-233.
- [18] 孔娜, 虞泓, 张艳艳, 等. 兰坪虫草的缓解运动疲劳功能 [J]. 食品科学, 2018, 39(21): 149-154.
- [19] Osman W N W, Mohamed S. Standardized *Morinda citrifolia* L. and *Morinda elliptica* L. leaf extracts alleviated fatigue by improving glycogen storage and lipid/carbohydrate metabolism [J]. *Phytother Res*, 2018, 32(10): 2078-2085.
- [20] 朱海云, 杨清宝, 杨茗, 等. 左卡尼汀通过改变小鼠乳酸和糖原含量延缓疲劳的实验研究 [J]. 中国新药杂志, 2019, 28(8): 1017-1020.
- [21] Han C, Li F, Liu Y, et al. Modified Si-Ni-San Decoction ameliorates central fatigue by improving mitochondrial biogenesis in the rat hippocampus [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2018, 2018: 9452127.
- [22] Wang X, Qu Y, Zhong Y, et al. Antifatigue potential activity of *Sarcodon imbricatus* in acute excise-treated and chronic fatigue syndrome in mice via regulation of nrf2-mediated oxidative stress [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2018, 2018: 9140896.
- [23] Zhang Y, Liu Y, Zhu K, et al. Acute toxicity, antioxidant, and antifatigue activities of protein-rich extract from *Oviductus ranae* [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2018, 2018: 9021371.
- [24] Liu Y, Li L, An S, et al. Antifatigue effects of *Antrodia cinnamomea* cultured mycelium via modulation of oxidative stress signaling in a mouse model [J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 9374026.
- [25] Lin C Y, Jhang Y S, Lai S C, et al. Antifatigue properties of tanshinone IIA in mice subjected to the forced swimming test [J]. *Pharm Biol*, 2017, 55(1): 2264-2269.
- [26] 郭瑞. 白藜芦醇抗疲劳作用及其机理研究 [J]. 食品研究与开发, 2018, 39(24): 174-179.