

复方牛磺酸维生素饮料缓解小鼠体力疲劳作用研究

郑立新, 吴玉平, 蔡祥焜, 杨彩玲, 魏长垒, 田世民*

(中国检验检疫科学研究院综合检测中心, 国家质检总局毒理重点实验室, 北京 100176)

摘要: 目的 研究复方牛磺酸维生素饮料缓解小鼠体力疲劳的作用。**方法** 将 200 只健康雄性 ICR 小鼠分成 4 组, 第 1 组负重游泳, 第 2 组测肝糖原和肝脏丙二醛(hepatic malondialdehyde, MDA), 第 3 组测高尿素模型小鼠血清尿素氮(urea nitrogen, UREA)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)、肝脏 MDA, 第 4 组测血乳酸(blood lactic acid, BLA), 每组 50 只, 组内按体重分成去离子水阴性对照组、糖水对照组、3 个复方牛磺酸维生素饮料剂量组[3.33、6.67、20.00 mL/(kg·d) 6.25 倍浓缩液]。各组连续灌胃 30 d 后, 分别检测小鼠负重游泳时间、肝糖原、肝脏 MDA、血清 UREA、LDH、BLA 等疲劳相关的指标。**结果** 复方牛磺酸维生素饮料对各组小鼠体重无影响($P > 0.05$), 在中剂量能显著延长小鼠负重游泳时间($P < 0.05$), 显著增加小鼠肝糖原含量($P < 0.05$), 显著降低高尿素模型小鼠血清 LDH($P < 0.01$), 在高剂量能显著降低高尿素模型小鼠血清中 UREA($P < 0.01$)、血清 LDH($P < 0.05$)、肝脏 MDA 含量($P < 0.05$), 对 BLA 曲线下面积无影响($P > 0.05$)。**结论** 此配方的复方牛磺酸维生素饮料对 ICR 小鼠具有缓解体力疲劳的功能。

关键词: 复方牛磺酸; 维生素饮料; 小鼠; 缓解体力疲劳

Effect of compound taurine vitamin drink on alleviating physical fatigue in mice

ZHENG Li-Xin, WU Yu-Ping, CAI Xiang-Kun, YANG Cai-Ling, WEI Chang-Lei, TIAN Shi-Min*

(Chinese Academy of Inspection and Quarantine Comprehensive Test Center, AQSIQ Key Laboratory of Toxicology, Beijing 100176, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of compound taurine vitamin drink on alleviating physical fatigue in mice. **Methods** A total of 200 healthy male ICR mice were divided into 4 batches. The first batch was used to detect the loading swimming time. The second batch was used to detect the hepatic glycogen, hepatic MDA. The third batch was used to detect the UREA, LDH and hepatic MDA of the high UREA model mice, and the fourth batch was used to detect the BLA. Each batch (50 mice) was randomly divided into deionized water control group, sugar control group and 3 compound taurine vitamin drink dosage groups [3.33, 6.67, 20.00 mL/(kg·d) 6.25 times concentrated solution] according to the body weights. After continual intragastric administration for 30 days, the time of weight-loading swimming, hepatic glycogen, MDA, UREA, LDH, and BLA were detected. **Results** The sample had no significant influence on the body weight in mice ($P > 0.05$). The middle dosage group could efficiently extend the

*通讯作者: 田世民, 教授, 主要研究方向为食品/保健食品安全及功能。E-mail: tianshimin@caiqtest.com

*Corresponding author: TIAN Shi-Min, Professor, Chinese Academy of Inspection and Quarantine Comprehensive Test Center, AQSIQ Key Laboratory of Toxicology, No.18, Xihuan South Road, Beijing Economic-Technological Development Area-Huilongsen, Beijing 100176, China. E-mail: tianshimin@caiqtest.com

time of weight-loading swimming ($P<0.05$), increase the hepatic glycogen content of mice ($P<0.05$), and reduce the LDH content of high UREA model mice ($P<0.01$). The high dosage group could significantly reduce the UREA ($P<0.01$), LDH ($P<0.05$) and MDA ($P<0.05$) content of high UREA model mice. It had no significant influence on the area under curve of the BLA ($P>0.05$). **Conclusion** This drink recipe has the effect of alleviating physical fatigue in mice.

KEY WORDS: compound taurine; vitamin drink; mice; alleviate physical fatigue

1 引言

随着生活节奏的加快,工作压力增加,以疲劳为主症的亚健康问题日益突出,严重影响了人们的生活质量和工作效率^[1]。疲劳产生的机制十分复杂,与能量耗竭、代谢产物堆积、离子代谢紊乱、内分泌调节障碍、保护性抑制、氧自由基损伤等因素有关^[2]。近些年来,具有增强体能、延缓疲劳产生、促进体力恢复、能消除疲劳感作用,同时又不含违禁成分和毒副作用的抗疲劳功能饮料受到消费者关注和青睐,也是当今运动医学界的一个热门研究热点^[3,4]。根据《2016年版中国功能饮料市场调研与发展趋势预测报告》,在2012~2014年,中国功能饮料市场规模年均增速在15%以上,从121亿元增长至161亿元。抗疲劳作用的功能饮料正处于一个加速发展期,消费者认可度也逐步提升,在未来一定会有较大的发展空间,市售的缓解体力疲劳功能饮料种类繁多,其功效成分配方及用量各有不同^[5]。有许多国内外报道^[6-12],以牛磺酸、肌醇、咖啡因、赖氨酸和B族维生素作为功效成分配合使用时,具有抗疲劳的功能,目前已被应用于抗疲劳保健产品的研发中。本实验研究的复方牛磺酸维生素饮料,以牛磺酸、咖啡因、L-赖氨酸盐酸盐、肌醇、烟酰胺、葡萄糖酸锌和B族维生素配制而成的功能性饮料,并通过游泳耐力试验和生化指标的测定对不同用量组合的配方进行了缓解体力疲劳效果的研究,以期获得较为理想的抗疲劳功能饮料。

2 材料与方法

2.1 材料和试剂

UREA 试剂盒(批号: 180901, 北京中生北控生物科技股份有限公司); RANDOX 多项复合质控(批号: 1281UN, 英国 RANDOX 公司); LDH 试剂盒(批号: 180661, 北京中生北控生物科技股份有限公司); 肝糖原测定试剂盒(蒽酮法)(批号: 20190219, 南京建成生物工程研究所); MDA 测定试剂盒(批号: 20190326, 南京建成生物工程研究所); 总蛋白定量(考马斯亮蓝法)试剂盒(批号: 20190319, 南京建成生物工程研究所); 乳酸检测芯片(批号: CL1901, 德国 EKF 公司); 破膜液(批号: H18185G, 德国 EKF 公司); 乳酸标准溶液(批号: M18045, 德国 EKF 公司)。

2.2 实验动物

健康 SPF 级雄性 ICR 小鼠 200 只, 体重 18~22 g, 由北京维通利华实验动物技术有限公司提供[生产许可证号: SCXK(京)2016-0006]。

2.3 主要仪器

BSA2202S-CW 动物天平(德国赛多利斯公司); ME203E 电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; TBA-120FR 全自动生化分析仪(日本东芝公司); C-line 15 葡萄糖/乳酸分析仪(德国 EKF 公司); HH-S 数显恒温游泳箱(金坛市华龙实验仪器厂); Synergy H1M 酶标仪(美国伯腾仪器有限公司)。

2.4 实验方法

2.4.1 复方牛磺酸维生素饮料制备

称量各原辅料与白砂糖糖浆调配后, 进行过滤、灭菌、灌装而成。每 100 mL 含: 牛磺酸 320 mg, 咖啡因 20 mg, 肌醇 20 mg, 赖氨酸 20 mg, 锌 2.4 mg, 烟酰胺 4 mg, 维生素 B 61.6 mg, 维生素 B₁₂ 2.8 μg, 白砂糖 14.7 g。复方牛磺酸维生素饮料人体推荐食用量为 250 mL/d(成人按 60 kg 计), 为了满足小鼠灌胃需要, 将饮料减压浓缩成 6.25 倍浓缩液。

2.4.2 实验动物分组、给样

小鼠适应 3 d 后, 将 200 只小鼠分为 4 大组, 即第 1 组负重游泳, 第 2 组测肝糖原和肝脏丙二醛(malondialdehyde, MDA), 第 3 组测高尿素模型小鼠血清尿素氮(urea nitrogen, UREA)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)、肝脏 MDA, 第 4 组测 BLA, 每大组 50 只, 再随机分为 5 组: 阴性对照组、糖水对照组、低、中、高剂量组, 每组 10 只。本实验设 5 个组别, 低、中、高剂量设为人体推荐食用量的 5、10、30 倍, 即 3.33、6.67、20 mL/(kg·d)(以 6.25 倍浓缩液计), 同时设 18.375 g/(kg·d)糖水对照组和去离子水阴性对照组。每只动物均按 20 mL/(kg·d)给予灌胃, 连续 30 d, 进行各项指标测定。

小鼠饲养在 SPF 级动物房中[使用许可证号: SYXK(京)2018-0007], 食水自由摄入, 动物房温度 20~26 °C, 湿度 40%~70%, 12 h 明暗交替。动物饲养管理条件: 小鼠给予 SPF 级维持鼠料, 购自斯贝福(北京)生物技术有限公司[许可证号: SCXK(京)2015-0015]。

2.4.3 指标测定方法

参考保健食品缓解体力疲劳检验方法^[13]。负重游泳: 末次给予样品 30 min 后, 将尾根部负荷 5% 体重铅皮的小鼠置于水温 25 °C 游泳箱中游泳。小鼠负重游泳时间为小鼠入水至力竭而沉入水中并持续 8 s 不能浮出水面的时间。肝糖原和 MDA 测定: 末次给予样品 30 min 后, 颈椎脱臼处死小鼠, 解剖取肝脏, 生理盐水清洗后滤纸吸干, 称重, 按照南京建成试剂盒操作说明书测定肝糖原和 MDA 浓度。高尿素模型小鼠 UREA、LDH、肝脏 MDA 测定: 末次给予样品 30 min 后, 将小鼠在温度为 30 °C 的水中不负重游泳 90 min, 休息 60 min 后, 小鼠拔眼球采全血约 1.0 mL (不加抗凝剂) 置 4 °C 冰箱约 60 min, 血凝固后 3000 rpm/min 离心 15 min, 取血清备用, 全自动生化仪测定 UREA、LDH。解剖取肝脏后, 按照南京建成试剂盒操作说明书测定肝糖原和 MDA 浓度。BLA 测定: 末次给予样品 30 min 后, 小鼠不负重在温度 30 °C 的水中游泳 10 min 后停止, 分别于游泳前、游泳后 0 min 和休息 20 min 后, 眼眶静脉丛采血 10 μL 加入检测试剂中, 混匀后上机测定 BLA, 计算 BLA 曲线下面积。

2.4.4 统计分析

采用 SPSS19.0 进行统计分析。组间均数比较采用单因素方差分析, 试验组与对照组间的两两比较采用 Dunnett's *t* 检验, 对非正态或方差不齐的数据进行适当的变量转换, 待满足正态或方差齐性要求后, 用转换后的数据进行统计, 若变量转换后仍未达到正态或方差齐的目的, 改用秩和检验进行统计。

3 结果与分析

3.1 复方牛磺酸维生素饮料对小鼠体重的影响

整个实验中, 所有实验动物生长状态较好, 未见饮食、精神和行为活动的异常, 也未出现死亡情况。各组小鼠的初始体重差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 即小鼠的初始体重在各组间较为均衡。研究结束时, 各组小鼠的末期体重和体重增长值, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 说明该受试物对小鼠的生长无影响。

3.2 复方牛磺酸维生素饮料对小鼠负重游泳时间的影响

由表 1 可见, 与阴性对照组比较, 糖水对照组小鼠负重游泳时间缩短, 但差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 产生这种现象的原因, 可能是动物之间的个体差异。与阴性对照组比较, 各剂量组小鼠负重游泳时间均增加, 在中剂量组小鼠有显著增加 ($P < 0.05$); 与糖水对照组比较, 各剂量组小鼠负重游泳时间均增加, 在中、高剂量组小鼠负重游泳时间显著增加 ($P < 0.01$)。提示该受试物有延长小鼠负重游泳时间的作用。

表 1 复方牛磺酸维生素饮料对小鼠负重游泳时间的影响 ($n=10$)
Table 1 Effect of compound taurine vitamin drink on the time of weight-loading swimming in mice ($n=10$)

组别	游泳时间/S
阴性对照	1383.4±365.6
糖水对照	1074.0±336.2
低剂量组	1525.8±460.2
中剂量组	1882.1±435.1 ^{**}
高剂量组	1752.9±436.2 ^{###}

注: *与阴性对照组比较, $P < 0.05$ 差异显著; ^{###}与糖水对照组比较, $P < 0.01$ 差异极显著。

3.3 复方牛磺酸维生素饮料对小鼠肝糖原、肝脏 MDA 的影响

由表 2 可见, 与阴性对照组比较, 糖水对照组小鼠肝脏糖原、肝脏 MDA 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 显示此糖浓度对小鼠抗疲劳功能无影响。与阴性对照组相比和与糖水对照组相比, 中、高剂量组肝糖原储备量有升高, 在中剂量组小鼠肝糖原储备量均显著升高 ($P < 0.05$); 小鼠在静息状态下, 各剂量组小鼠肝脏 MDA 均无显著性差异 ($P > 0.05$)。提示该受试物具有增加小鼠肝糖原储备量的作用。

表 2 复方牛磺酸维生素饮料对小鼠肝脏糖原、肝脏 MDA 的影响 ($n=10$)
Table 2 Effect of compound taurine vitamin drink on liver glycogen and MDA in mice ($n=10$)

组别	肝糖原	肝脏 MDA
	均值/(mg/g)	均值/(mmol/g)
阴性对照	44.97±7.65	1.15±0.23
糖水对照	45.78±9.30	1.17±0.22
低剂量组	46.53±9.22	1.10±0.25
中剂量组	58.86±15.14 ^{**}	1.01±0.14
高剂量组	54.02±11.21	1.13±0.21

注: *与阴性对照组比较, $P < 0.05$; [#]与糖水对照组比较, $P < 0.05$ 。

3.4 复方牛磺酸维生素饮料对运动后小鼠 UREA、LDH 和肝脏 MDA 的影响

由表 3 可见, 与阴性对照组比较, 糖水对照组血清中 UREA、血清 LDH 和肝脏 MDA 含量, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 显示此糖浓度对小鼠抗疲劳功能无影响。与阴性对照组相比, 高剂量组小鼠血清尿素显著降低 ($P < 0.01$), 与糖水对照组相比, 高剂量组小鼠血清尿素也显著降低 ($P < 0.01$); 与阴性对照组相比, 中、高剂量组血清 LDH 显著降低 (中剂量 $P < 0.01$, 高剂量 $P < 0.05$), 与糖水对照组相比, 中、高剂量组血清 LDH 也显著降低 (中剂量 $P < 0.01$, 高

剂量 $P < 0.05$); 与阴性对照组相比, 高剂量组小鼠肝脏 MDA 显著降低($P < 0.05$), 与糖水对照组相比, 高剂量组小鼠肝脏 MDA 也显著降低($P < 0.05$)。提示该受试物具有降低血清中 UREA、血清 LDH 和肝脏 MDA 含量的作用。

表 3 复方牛磺酸维生素饮料对运动后小鼠血清中 UREA、LDH 和肝脏 MDA 的影响($n=10$)

Table 3 Effect of compound taurine vitamin drink on UREA, LDH and MDA in mice after swimming tests ($n=10$)

组别	UREA	LDH	肝脏 MDA
	均值/(mmol/L)	均值(U/L)	均值/(mmol/g)
阴性对照	10.97±1.05	962.7±160.0	2.13±0.78
糖水对照	9.90±2.09	964.0±167.3	2.11±0.43
低剂量组	9.89±1.12	834.7±238.8	2.20±0.46
中剂量组	9.66±1.69	624.8±224.9 ^{**##}	1.95±0.42
高剂量组	6.42±1.02 ^{***#}	663.2±310.1 ^{**#}	1.46±0.50 ^{*#}

注: *与阴性对照组比较, $P < 0.05$, **与阴性对照组比较, $P < 0.01$; #与糖水对照组比较, $P < 0.05$, ##与糖水对照组比较, $P < 0.01$ 。

3.5 复方牛磺酸维生素饮料对小鼠 BLA 曲线下面积的影响

阴性对照组、糖水对照组、低剂量、中剂量、高剂量的 BLA 曲线下面积分别为(139.8±29.9)、(136.6±24.2)、(131.5±33.0)、(125.0±7.0)、(122.0±25.8) mmol/L, 与阴性对照组和糖水对照组相比, 各剂量组的 BLA 曲线下面积有下降趋势, 但差异无统计学意义($P > 0.05$)。

4 结论与讨论

疲劳是体内多种因素综合变化的结果, 机体内的能源被大量消耗, 肝糖原供应不足, 导致机体极力为身体供能, 此时出现低血糖、体内大量血乳酸的堆积, 蛋白质开始提供能量而分解, 而大强度运动导致骨骼肌、心肌损伤, 受损伤细胞出现膨胀、破裂和溶解的现象^[14]。近些年研究证明, 牛磺酸、赖氨酸、肌醇、锌、烟酰胺、B 族维生素等营养补剂具有延缓运动疲劳的发生和加快运动疲劳的恢复的作用^[15-24], 适量补充咖啡因具有兴奋心脏、骨骼肌和中枢神经系统, 抗氧化, 舒张血管等生理作用^[25], 因此, 本研究的复方牛磺酸维生素饮料中的牛磺酸、咖啡因、肌醇、赖氨酸、锌、烟酰胺、B 族维生素均具有抗疲劳作用。

本研究结果表明, 连续给予小鼠复方牛磺酸维生素饮料 30 d 后, 能延长小鼠负重游泳时间, 即提高运动耐力; 肝糖原浓度有升高趋势, 在中剂量组时肝糖原的浓度达到了 58.86 mg/g, 能有效地提高机体糖原的贮备, 增强机体对运动负荷的适应能力; 高剂量组 UREA 明显低于对照组($P < 0.01$), 并且有剂量-反应趋势, 具有节省蛋白质利用的

功能; BLA 曲线下面积有下降趋势, 但无统计学意义($P > 0.05$)。根据卫生部《保健食品检验与评价技术规范》(2003 版)判定标准^[13]: 负重游泳实验结果阳性, 且肝糖原、血清中尿素氮和血乳酸曲线下面积 3 项生化指标中任 2 项指标阳性, 可判断该受试样品具有缓解体力疲劳的作用。MDA 是机体在物质代谢和能量代谢过程中形成的中间产物, 作为指示机体的氧化应激和/或疲劳状态的一个生理指标, 也是其引起机体稳态破坏和导致机体疲劳的重要因子^[26]。正常情况下, 血清中 LDH 比细胞组织中低 1000 倍, 而剧烈运动时引起骨骼肌、心肌等组织过性损伤或组织坏死, 导致漏入血清中的 LDH 增多, 使血清 LDH 活性升高^[14]。本研究发现, 在静息状态下各组的肝脏 MDA 含量无差异, 在剧烈运动后肝脏 MDA 含量均升高, 运动后, 中、高剂量组肝脏 MDA 含量有下降趋势, 高剂量组明显低于对照组($P < 0.01$), 也进一步验证了复方牛磺酸维生素饮料具有对抗自由基产生和保护细胞的作用。在本次实验中, 发现小鼠运动后, 中、高剂量组血清 LDH 活性明显低于对照组(中剂量 $P < 0.01$, 高剂量 $P < 0.05$), 推测在剧烈运动情况下, 牛磺酸、肌醇、赖氨酸等成分保护了骨骼肌细胞, 具有抗疲劳的作用^[27,28]。综上所述, 此复方牛磺酸维生素饮料具有缓解体力疲劳的作用, 这对于研究其抗疲劳, 尤其是抗高强度体育疲劳具有一定的理论参考意义, 更多的抗疲劳的机制有待进一步探讨。

参考文献

- 林月斌, 黄献钟, 黄亦琦, 等. 207 例疲劳亚健康状态者疲劳状况分析[J]. 中外医疗, 2018, (31): 153-156.
- Lin YB, Huang XZ, Huang YQ, et al. Analysis of fatigue status in 207 fatigue sub-health states [J]. China Foreign Med Treat, 2018, (31): 153-156.
- 乔福峰, 张希朋, 赵鹏. 运动性疲劳产生的机制及消除方法研究[J]. 运动, 2016, (141): 150-151.
- Qiao FF, Zhang XP, Zhao P. Study on mechanism and elimination methods of exercise fatigue [J]. Sport, 2016, (141): 150-151.
- 闫东旭, 于晶. 运动性疲劳的研究进展[J]. 当代体育科技, 2019, 9(11): 14-15.
- Yan DX, Yu J. Research progress on exercise fatigue [J]. Contemp Sports Technol, 2019, 9(11): 14-15.
- 蔡愈杭, 荣耀中, 程能能, 等. 功能饮料抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品工业科技, 2011, (9): 167-168.
- Cai YH, Rong YZ, Cheng NN, et al. Study on the anti-fatigue effect of functional drink [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, (9): 167-168.
- 耿娜, 韩倩云, 郭梦迪, 等. 抗疲劳饮料的研究现状及发展前景[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 264-267.
- Geng N, Han QY, Guo MD, et al. Research status and development prospect of anti-fatigue beverage [J]. Food Ind, 2018, 39(7): 264-267.
- 张容标, 林云, 陈冠敏, 等. 复方牛磺酸肌醇口服液缓解小鼠体力疲劳的研究[J]. 预防医学论坛, 2014, 20(12): 920-925.
- Zhang RB, Lin Y, Chen GM, et al. Study on the effect of compound

- taurine inositol oral liquid in relieving physical fatigue for mice [J]. *Prev Med Trib*, 2014, 20(12): 920-925.
- [7] Peacock A, Martin FH, Carr A. Energy drink ingredients. Contribution of caffeine and taurine to performance outcomes [J]. *Appetite*, 2013, 64: 1-4.
- [8] 李海霞, 陈榕, 周丹, 等. 咖啡因的合成及其药理作用的研究进展[J]. *华西药理学杂志*, 2011, 26(2): 182-187.
- Li HX, Chen R, Zhou D, *et al.* Advances in the synthesis and pharmacological effects of caffeine [J]. *West China J Pharm Sci*, 2011, 26(2): 182-187.
- [9] 曹莉萍, 臧长江, 徐向君, 等. 日粮中添加氨基酸对焉耆马运动性能、血浆抗氧化能力及代谢指标的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2015, 42(4): 896-902.
- Cao LP, Zang CJ, Xu XQ, *et al.* Effects of supplemental amino acids on the performance, plasma antioxidant capacity and other metabolic index of Yanqi horse [J]. *Chin Anim Husbandry Veter Med*, 2015, 42(4): 896-902.
- [10] Chen YB, Wang YF, Hou W, *et al.* Effect of B-complex vitamins on the antifatigue activity and bioavailability of ginsenoside Re after oral administration [J]. *J Ginseng Res*, 2017, 41(2): 119-121.
- [11] Richardson JH, Chenman M. The effect of vitamin B6 on muscle fatigue [J]. *Sports Med Phys Fitness*, 1981, 21(2): 209-214.
- [12] 翟鹏贵, 刘小杰, 舒志成, 等. 牛磺酸复合饮料抗疲劳的实验研究[J]. *饮料工业*, 2013, 26(1): 16-18.
- Zhai PG, Liu XJ, Shu ZC, *et al.* An experimental study on anti-fatigue effects of a mixed taurine beverage [J]. *Bever Ind*, 2013, 26(1): 16-18.
- [13] 卫生部. 保健食品检验与评价技术规范[S]. 2003: 756-762.
- Health department. Health food inspection and evaluation technical specification [S]. 2003: 756-762.
- [14] 冯启. 运动后心肌、骨骼肌超微结构及其形态计量学改变[J]. *中国运动学杂志*, 1991, 10(1): 31-39.
- Feng Q. Hyperstructure and morphometrics of myocardium and skeletal muscle after exercise [J]. *Chin J Sport*, 1991, 10(1): 31-39.
- [15] Tu S, Liu ZQ, Fu JJ, *et al.* Inhibitory effect of p53 upregulated modulator of apoptosis targeting siRNA on hypoxia/reoxygenation-induced cardiomyocyte apoptosis in rats [J]. *Cardiology*, 2012, 122(2): 93-100.
- [16] Wang L, Li G, Wang Z, *et al.* Elevated expression of C3G protein in the peri-infarct myocardium of rats [J]. *Med Sci Monit Basic Res*, 2013, 19: 1-5.
- [17] Saleem MT, Chetty MC, Kavimani S. Putative antioxidant property of sesame oil in an oxidative stress model of myocardial injury [J]. *J Cardiovasc Dis Res*, 2013, 4(3): 177-181.
- [18] Wang J, Qi C, Liu L, *et al.* Taurine protects primary neonatal cardiomyocytes against apoptosis induced by hydrogen peroxide [J]. *Int Heart J*, 2018, 59(1): 190-196.
- [19] 余杰, 唐武. 牛磺酸对力竭运动小鼠抗疲劳效果及其机理研究[J]. *汕头大学学报(自然科学版)*, 2008, 23(4): 30-34.
- Yu J, Tang W. Experimental study of the effect of taurine on the anti-exercise fatigue [J]. *J Shantou Univ(Nat Sci Ed)*, 2008, 23(4): 30-34.
- [20] 罗敏蓉, 熊正英. 赖氨酸与运动能力的关系[J]. *四川体育科学*, 2006, (3): 43-46.
- Luo MR, Xiong ZY. The relationship between lysine and exercise capacity [J]. *Sichuan Sport Sci*, 2006, (3): 43-46.
- [21] Koury JC, Oliveria AVJ, Portella ES, *et al.* Zinc and copper biochemical indices of antioxidant status in elite athletes of different modalities [J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2004, 14(3): 358-372.
- [22] 陈志鹏, 周莎. 补充烟酸对大鼠长时间离心运动后骨骼肌自由基代谢的影响研究[J]. *运动*, 2014, (86): 155-157.
- Chen ZP, Zhou S. Effects of nicotinic acid supplementation on skeletal muscle free radical metabolism after long centrifugal exercise in rats [J]. *Sport*, 2014, (86): 155-157.
- [23] 周双桥, 薛慧, 郭伟杰, 等. 维生素B族在保健食品中的作用[J]. *中国自然医学杂志*, 2002, 4(2): 113-114.
- Zhou SQ, Xue H, Guo WJ, *et al.* The effect of vitamin B in health food [J]. *Chin J Nat Med*, 2002, 4(2): 113-114.
- [24] 张艳秋, 李志伟, 张宝彤, 等. 肌醇的性质及其在水产养殖中的应用[J]. *饲料工业*, 2007, 28(14): 28-30.
- Zhang YQ, Li ZW, Zhang BT, *et al.* The properties of inositol and its application in aquaculture [J]. *Feed Ind*, 2007, 28(14): 28-30.
- [25] 李淑翠, 张敏, 陈向明, 等. 咖啡因抗运动性疲劳作用的实验研究[J]. *中国食品添加剂*, 2012, (3): 120-124.
- Li SC, Zhang M, Chen XM, *et al.* The effects of caffeine on exercise-induced fatigue in mice [J]. *Chin Food Add*, 2012, (3): 120-124.
- [26] 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.
- Zhang YJ, Du WH. Domestic and foreign research progress on the anti-fatigue [J]. *Pract Prev Med*, 2012, 19(7): 1112-1116.
- [27] 曹晶晶, 杨卫杰, 曹轶. 刺梨多糖的抗氧化和抗疲劳研究[J]. *中国中医基础医学杂志*, 2018, 24(4): 474-476, 481.
- Cao JJ, Yang WJ, Cao Y. Anti-fatigue and antioxidant activity of the polysaccharides isolated from *Rosa Roxburghii* Tratt. *F. Normalis* Rehd. *T. Wils* [J]. *China J Basic Med Tradit Chin Med*, 2018, 24(4): 474-476, 481.
- [28] 李诗, 阚红金, 华玉祥, 等. 玛卡复方醇提取物对改善小鼠性功能及抗疲劳功能的影响[J]. *药物生物技术*, 2015, 22(3): 229-232.
- Li S, Kan HJ, Hua YX, *et al.* Effects of alcohol extract from *Lepidium Meyenii* (Maca) and Chinese herbal compound on improving sexual and anti-fatigue function in mice [J]. *Chin J Pharm Biotechnol*, 2015, 22(3): 229-232.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



郑立新, 高级工程师, 主要研究方向为毒理学及保健食品功能。

E-mail: dengxilong1980@163.com



田世民, 教授, 主要研究方向为食品/保健食品安全及功能。

E-mail: tianshimin@caiqtest.com