

裸藻提取物对小鼠抗疲劳作用的影响

张 骏¹ 徐 斌¹ 郝艳丽² 郑明海² 韩宇轩² 李慧敏²

(1. 吉林医药学院基础医学院, 吉林 吉林 132013; 2. 吉林医药学院公共卫生学院, 吉林 吉林 132013)

摘要: [目的] 考察裸藻提取物对小鼠抗疲劳作用及抗氧化自由基水平的影响, 并分析其具体作用机制。[方法] 选取 40 只健康成年雄性昆明小鼠, 随机分为对照组 (构建小鼠疲劳模型, 并用生理盐水代替受试药物注射)、给药低剂量组 (裸藻 0.25 g/kg BW)、给药中剂量组 (裸藻 0.50 g/kg BW) 和给药高剂量组 (裸藻 1.50 g/kg BW), 灌胃给药, 观察受试小鼠的游泳力竭时间和疲劳转棒试验时间, 检测小鼠血糖、肝糖原、肌糖原、血尿素氮水平、全血乳酸含量、血清 LDH 和 CK 活性, 并比较肝脏、腓肠肌与血清中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物歧化酶及丙二醛含量, 综合评价裸藻的抗疲劳、抗氧化自由基能力。[结果] 与对照组相比, 裸藻提取物中剂量组和高剂量组的转棒时间显著延长 ($P < 0.05$)、小鼠负重游泳时间显著增加 ($P < 0.05$); 小鼠肌组织中 MG 及肝脏中 LG 含量显著增加 ($P < 0.05$); 小鼠血清中 BUN 含量显著降低 ($P < 0.05$); 小鼠游泳后 BLA 浓度、血清 LDH 和 CK 活力显著降低 ($P < 0.05$); 小鼠血清、肝脏和肌组织中 SOD 活力显著提高 ($P < 0.05$); 小鼠血清、肝脏和肌组织中 MDA 含量显著降低 ($P < 0.05$); 小鼠血清、肝脏和肌组织中 GSH-Px 活力显著提高 ($P < 0.05$)。[结论] 裸藻提取物具备有效清除运动过程中产生的超氧阴离子自由基和过氧化氢自由基的能力, 可以缓解肌肉疲劳并减少运动性疲劳的发生。

关键词: 裸藻提取物; 抗疲劳; 抗氧化自由基

Anti-fatigue effects of euglena extract on mice

ZHANG Jun¹ XU Bin¹ XI Yanli² ZHENG Minghai² HAN Yuxuan² LI Huimin²

(1. School of Basic Medical Sciences, Jilin Medical University, Jilin, Jilin 132013, China;

2. School of Public Health, Jilin Medical University, Jilin, Jilin 132013, China)

Abstract: [Objective] To study the effects of euglena extract on the anti-fatigue and antioxidant free radical levels in mice, and to explore its specific mechanism. [Methods] A total of 40 healthy adult male Kunming mice are randomly divided into a control group (normal saline is used instead of injection to establish fatigue mice models), a low dose group (euglena extract 0.25 g/kg BW), a medium dose group (euglena extract 0.5 g/kg BW), and a high dose group (euglena extract 1.5 g/kg BW). The groups of different doses are administered by gavage. The exhaustive swimming time and fatigue rotarod test time are observed in the test mice, while the following items are detected: blood glucose, liver glycogen (LG), muscle glycogen (MG), and blood urea nitrogen (BUN) levels, whole blood lactic acid (BLA) content, as well as serum lactate dehydrogenase (LDH) and creatine kinase (CK) activities. Additionally, the content of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase dismutase (GSH-Px) and malondialdehyde in the liver, gastrocnemius muscle, and serum is compared. Finally, a comprehensive evaluation is performed on the anti-fatigue and anti-oxygen free radical ability of euglena extract. [Results] Compared with the control group, the changes in the medium dose and high dose groups are stated below. The time of rolling stick and weight-bearing swimming is significantly prolonged ($P < 0.05$). MG content in muscle tissue and LG content in liver are significantly increased ($P < 0.05$), while serum BUN content is significantly decreased ($P < 0.05$). BLA concentration, as well as serum LDH and CK activities, are significantly reduced after swimming ($P < 0.05$). In serum, liver, and muscle tissues, SOD and GSH-Px activities are significantly increased ($P < 0.05$), while MDA content is significantly decreased ($P < 0.05$). [Conclusion] Euglena extract can effectively remove superoxide anion

基金项目: 吉林省医药健康专项 (编号: 20200708063YY); 吉林省教育厅项目 (编号: JJKH20230542KJ)

通信作者: 徐斌 (1972—), 男, 吉林医药学院教授, 硕士。E-mail: xb-jl@163.com

收稿日期: 2024-05-10 改回日期: 2025-07-06

引用格式: 张骏, 徐斌, 郝艳丽, 等. 裸藻提取物对小鼠抗疲劳作用的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(9): 147-154.

Citation: ZHANG Jun, XU Bin, XI Yanli, et al. Anti-fatigue effects of euglena extract on mice[J]. Food & Machinery, 2025, 41(9): 147-154.

and hydrogen peroxide free radicals produced during exercise. Therefore, it can relieve muscle fatigue and reduce the occurrence of exercise-induced fatigue.

Keywords: euglena extract; anti-fatigue; anti-oxygen free radical

疲劳的发生常伴有四肢乏力、心绪不佳、健忘失眠、萎靡不振、头脑沉痛、活力下降、胸闷气短、体力严重丧失、免疫力下降等症状^[1]。体力负荷过大、休息不足、精神紧张和压力是生理性疲劳的致病因素,生理性疲劳又分为中枢性疲劳和末梢性疲劳^[2]。影响中枢神经系统中的大脑、脊髓和运动神经元的因素可能会导致中枢疲劳,而外周疲劳则是由于神经肌肉接头变化引起的肌肉无力所致。根据疲劳理论,能量来源(例如葡萄糖)的减少以及由于体力活动引起的代谢物的积累是疲劳的致病因素^[3]。

疲劳与高强度运动引起的疲惫有关,表明肌肉功能已严重受损。在高强度运动期间,身体会利用关键的能量来源,例如葡萄糖、肝糖和肌糖原;另一方面,乳酸、氨、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)和无机磷等代谢物的聚集会引起细胞内酸中毒,从而导致肌肉疲劳^[4]。葡萄糖、肝糖原和肌糖原等能量来源的减少以及乳酸和氨等代谢物的积累是外周疲劳的关键因素。通过维持能量来源的可用性和清除代谢产物可以逆转外周疲劳^[5]。同时,慢性低度炎症也与多种以疲劳为特征的慢性疾病有关,如线粒体功能障碍引起的能量不足可能会导致耐力下降和疲劳,而炎症和线粒体功能障碍均与氧化应激有关^[6]。从运动引起的疲劳中恢复需要代谢物修复肌肉损伤,以及清除运动过程中产生的代谢物。因此,频繁运动加上均衡饮食有助于防止运动过程中的肌肉疲劳^[7],特别是当膳食蛋白质和能量的摄入不能满足个体需求时,体内脂肪和肌肉就会分解代谢以提供能量,从而导致疲劳等状况^[8]。Gomez-Merino 等^[9]研究表明,天然产品可以提高运动表现并减少或预防疲劳,且不会造成不良影响。高蔚娜等^[10]研究发现,莲藕提取物可通过增强抗氧化等机制发挥抗疲劳作用。程美玲等^[11]研究发现,玫瑰花青素具有抗氧化和抗疲劳效果。杜鹃等^[12]研究发现,黑大蒜粗多糖也能够提高抗氧化酶活力,清除过氧化产物,起到缓解小鼠体力疲劳的作用。此外,山药可通过调节肌糖原来缓解机体疲劳^[13]。

裸藻作为一种富含多种营养成分的微藻类植物,被广泛应用于食品、化妆品、医药等领域^[14]。裸藻属中的纤维裸藻已实现了大规模的培养与产业化^[15],并在日本作为一种健康食品进行售卖^[16]。裸藻提取物中包含多种生物活性成分,如多糖、类黄酮化合物、蛋白质和维生素等^[17],具有抗氧化、抗炎等作用。长时间的运动会增加体内自由基的产生,从而引发氧化应激反应^[18]。氧化应激

不仅会损伤细胞结构和功能,还会导致多种身体不适。裸藻提取物中的类黄酮化合物具有抑制炎症因子释放和调节免疫反应的作用,可以减轻运动引起的组织炎症反应。裸藻提取物以其多种生物活性成分,通过抗氧化、抗炎和肌肉修复等机制,有可能对疲劳的发生和发展起到调节作用^[18]。研究拟探讨裸藻提取物对小鼠抗疲劳作用的影响及其作用机制,为裸藻提取物在食品行业的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 受试药品、试剂及动物

裸藻提取物:多糖含量>58%,蛋白质含量>20%,北京中康伟业保健食品有限公司;

肝糖原测定试剂盒、BUN测定试剂盒、MDA检测试剂盒、GSH-Px检测试剂盒:北京索莱宝科技有限公司;

试验小鼠:健康昆明系小鼠 40 只(雄性),体重 16~20 g,许可证号 SCXK-(京) 2014-0004,符合试验动物伦理委员会规定,北京华阜康生物科技股份有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 试验仪器

小动物体重秤:ZC-DST 型,北京哲成科技有限公司;
自动电子分析秤:FA2004B 型,上海精密科学仪器有限公司;

紫外分光光度计:UV-2450/2550 型,日本岛津公司;

乳酸检测仪:Biosen C-Line 型,宜得孚医疗器械(上海)有限公司;

低速离心机:KL05A 型,湖南凯达科学仪器有限公司;

恒温水浴箱:ZWY-110X50 型,上海智城分析仪器制造有限公司;

全自动生化检测仪:BS-1000M 型,深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司;

旋涡振荡仪:MX-S 型,大龙兴创实验仪器(北京)股份公司;

小动物游泳箱:JD-XSC 型,上海继德教学实验器械厂。

1.3 试验方法

1.3.1 试验动物及分组 小鼠适应性喂养 3 d 后,采用简单随机法分为 4 组:运动对照组,裸藻提取物低浓度组(裸藻 0.25 g/kg BW)、中浓度组(裸藻 0.50 g/kg BW)和高浓度组(裸藻 1.50 g/kg BW),采用灌胃给药方式给药,动物室温度 22~25 °C,相对湿度 55%~70%,饲喂 30 d 后分别测

定小鼠的负重游泳时间、肝糖原、尿素氮(BUN)和血乳酸(BLA)。

1.3.2 裸藻提取物制备 参照栗晓庆等^[19]的方法并稍作修改。裸藻经离心,加蒸馏水、乙醇、丙酮反复洗涤,分离得到沉淀,冷冻干燥,粉碎等制成黄色或绿色粉末。

1.3.3 转棒试验检测小鼠转棒时间 给予受试物 0.5 h 后,检测相关指标。记录试验数据前先训练各受试组小鼠,将受试小鼠放置于疲劳转棒仪上,20 r/min 转动训练 3 min,训练后开始正式测试,转速 20 r/min,检测小鼠掉落时间,即疲劳潜伏期。

1.3.4 小鼠负重游泳试验 参照《保健食品检验与评价技术规范》2023 版中缓解体力疲劳功能检验方法并修改。最后一次灌胃后,等待 0.5 h,对小鼠进行负重,负重质量占小鼠体重的 5%,负重于小鼠尾部。水温 25℃ 左右,使用多通道时间记录器记录每只小鼠从开始游泳到在水中坚持不住、沉入水下 10 s 后无法再次浮出水面的时间,即小鼠负重游泳时间。

1.3.5 BLA 测定 最后一次灌胃后,等待 0.5 h,立即采集小鼠眼眶血液。将小鼠放置于水温约 30℃ 的游泳箱中进行 10 min 的游泳运动,停止游泳并再次采取眼眶血液样本。小鼠休息 20 min 后,再次采集眼眶血液样本。采用血乳酸分析仪测定小鼠游泳运动前、运动后 0、20 min 的 BLA 含量,并按式(1)计算血乳酸下面积曲线。

$$c = \frac{m_1 + m_2}{2} \times 10 + \frac{m_2 + m_3}{2} \times 20, \quad (1)$$

式中:

c ——血乳酸曲线下面积;

m_1 ——游泳前 BLA;

m_2 ——游泳后 0 min BLA;

m_3 ——游泳后休息 20 min BLA。

1.3.6 肝糖原测定 末次灌胃后,等待 30 min,将小鼠处死并取出肝脏。用生理盐水漂洗,使用滤纸吸掉多余水

分,将肝脏装入自封袋中,于冰箱贮藏待用。采用萘酚法测定小鼠肝糖原含量。

1.3.7 小鼠血清、肝脏和腓肠肌中超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物歧化酶(GSH-Px)活性以及丙二醛(MDA)含量测定 末次灌胃后,取血液样本,将受试小鼠置于小动物手术台上,分别取小鼠肝脏、腓肠肌,用生理盐水充分清洗,用滤纸吸干残余生理盐水,液氮速冻后于-80℃ 贮藏备用。分别取小鼠肝组织、腓肠肌样本 20 mg,用冷的 PBS 制备 10% 的组织匀浆液,4℃、1 500×g 离心 10 min,取上清液,按照 ELISA 试剂盒说明书测定相关指标。

1.3.8 血清尿素氮测定 末次灌胃结束后,等待 30 min,将小鼠置于水温约 30℃ 的游泳箱中进行 90 min 的游泳试验,不加负载。游泳结束后,小鼠休息 60 min,立即采集全血,4℃ 贮藏 3 h,离心取血清备用。采用二乙酰-茆法测定小鼠的血清尿素氮含量。

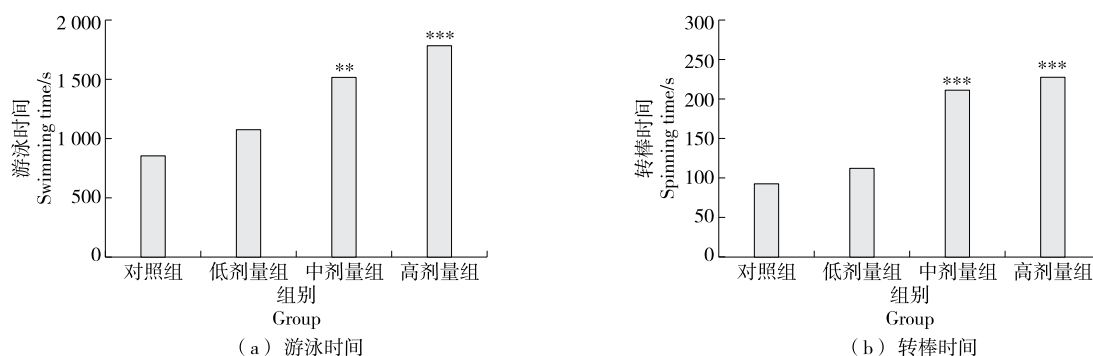
1.3.9 数据处理 所有数据用均数标准差表示,采用 SPSS 28.0 统计软件进行单因素方差分析、方差齐性检验,使用 LSD 法检验后进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 对负重游泳小鼠力竭时间及转棒时间的影响

由图 1 可知,与对照组相比,裸藻中、高剂量组小鼠负重游泳力竭时间延长($P < 0.05$),表明中、高剂量裸藻提取物具有延缓受试小鼠疲劳的作用。裸藻提取物中、高剂量组的疲劳转棒时间均较对照组的更长($P < 0.05$)。负重游泳力竭时间和疲劳转棒时间与机体抗疲劳能力密切相关,因此两种标志性时间的有效延长也证明了裸藻提取物具有延缓受试小鼠疲劳的作用,这与 Lee 等^[20]的研究结果一致。

裸藻提取物中的多糖和类黄酮化合物可能通过多种



与对照组相比,**表示 $P < 0.01$,***表示 $P < 0.001$

图 1 对负重游泳小鼠力竭时间及转棒时间的影响

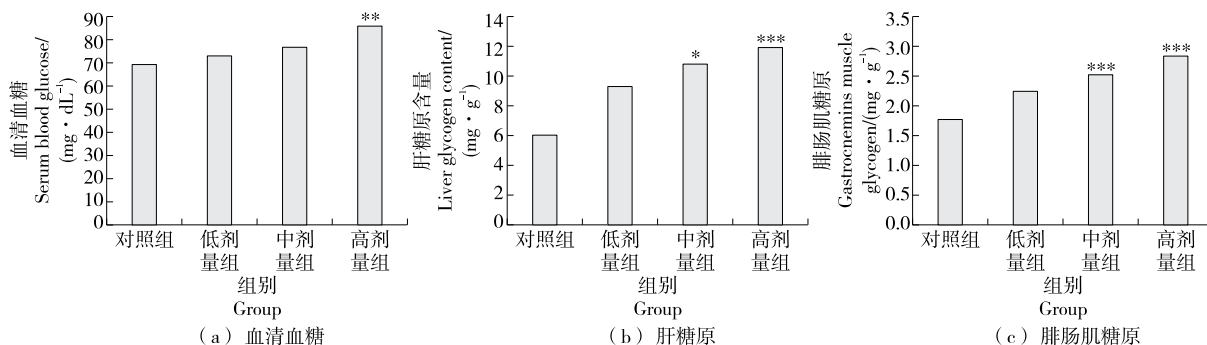
Figure 1 Effects on exhaustion time of rolling stick and weight-bearing swimming in mice

机制提高小鼠的运动耐力。首先,多糖和类黄酮化合物具有显著的抗氧化活性,可以通过清除自由基来减少氧化应激对机体的损害。卞文昆^[21]研究表明,冬荪黄酮通过纯化工艺优化可提升小鼠运动耐力。Ru等^[22]研究表明,烟草叶中的类黄酮和多糖提取物在体外具有良好的抗氧化性能,能够有效清除羟自由基和超氧阴离子自由基等。任广泉等^[23]研究表明,玉米多糖可缓解机体氧化应激水平,从而提升小鼠的抗疲劳能力。李盼等^[24]研究表明,块菌多糖具有抗氧化、抗疲劳和免疫调节等功能活性。Li等^[25]研究表明,黄芪多糖能够通过清除活性氧(ROS)和提高抗氧化酶的活性来保护线粒体。其次,裸藻提取物中的多糖和类黄酮也可能通过增强机体的抗氧化防御系统来提高运动耐力。Huang等^[26]研究表明,黄芪多糖能够通过 Sirt1 通路改善线粒体功能失调,并恢复因氧化应激引起的线粒体动态失调。Zhang等^[27]研究表明,柠檬籽类黄酮能够增加肝糖原储备能力,提高脂肪动员,并减少乳酸积累,从而表现出良好的抗疲劳和抗氧化能力。此外,多糖和类黄酮化合物还可能通过调节机体的代谢途径来提高运动耐力。例如,橄榄叶提取物中的成

分能够改善线粒体功能,并通过增加抗氧化能力来提高运动能力^[28]。综上,裸藻提取物中的多糖和类黄酮化合物可能通过减少自由基的产生和增强机体的抗氧化防御系统,从而提高小鼠的运动耐力。

2.2 对小鼠血糖、肝糖原及肌糖原含量的影响

运动耐力水平的高低与机体储存糖原和血糖含量有关。当机体经历长时间剧烈运动时,可能会出现供氧不足的情况,且肌肉中的糖原会被大量消耗。为了保持稳定的血糖水平,机体会分解肝脏中的糖原来增加血液中的葡萄糖含量。因此,在抗疲劳反应试验中,如果机体具备充足的肝脏储备糖原,将对抗疲劳产生积极影响。由图2可知,在维持血糖水平方面,裸藻低、中剂量组对小鼠的血糖无明显影响。与对照组相比,高剂量组服用裸藻提取物后小鼠的血糖显著升高($P<0.05$)。中、高剂量组均能提高肝糖原和肌糖原水平($P<0.05$)。综上,裸藻提取物可以增加小鼠的肝糖原和肌糖原储备及维持血糖平衡,可能是裸藻提取物会增加肝糖原的储存量,从而有效维持受试动物血糖,并在一定程度上提高机体肌肉活力和肝脏活力,从而缓解机体的疲劳状态。



与对照组相比,*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$,***表示 $P<0.001$

图2 对小鼠血清血糖、肝脏肝糖原和腓肠肌糖原的影响

Figure 2 Effects on blood glucose, LG, and gastrocnemius MG in mice serum

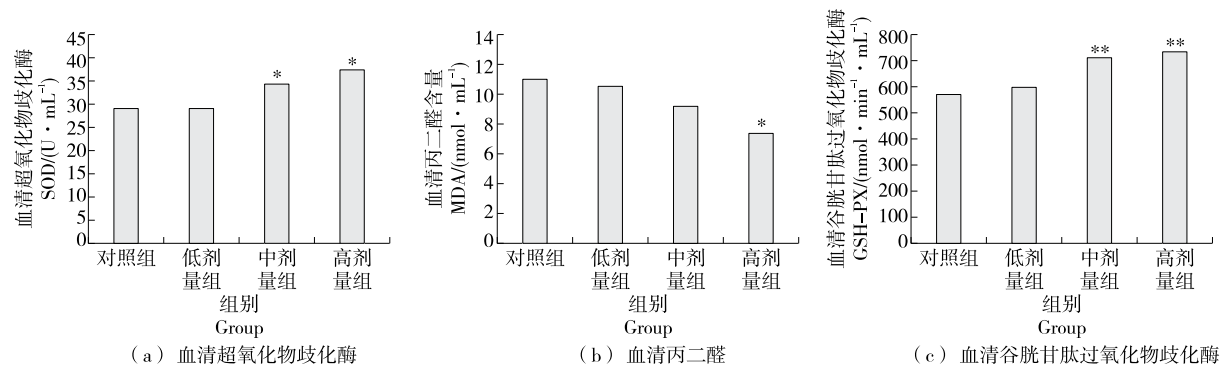
2.3 对血清、肝脏和腓肠肌 SOD、GSH-Px 活力及 MDA 含量的影响

MDA 是一种形成于脂质过氧化过程中的产物,对机体因活性氧积累而引发膜脂质过氧化影响较大。机体细胞受到损伤会导致三磷酸腺苷(ATP)的释放受到抑制,使机体能量供应受阻从而产生疲劳^[22]。通常情况下,机体内部的抗氧化酶如 SOD 和 GSH-Px 等能够通过清除自由基来维持机体的氧化/抗氧化平衡。由图3可知,与对照组相比,裸藻提取物中、高剂量组小鼠血清中 SOD 含量和 GSH-Px 酶活力显著提升,MDA 含量显著下降($P<0.05$),表明裸藻提取物可能通过增加血清中的 SOD 含量和提高 GSH-Px 酶活力,进而提高抗氧化能力,清除过氧化产物

MDA,以缓解疲劳。

由图4可知,与对照组相比,裸藻提取物高剂量组显著提升了小鼠肝脏中 SOD 含量和 GSH-Px 酶活力,降低了 MDA 含量($P<0.05$),说明高剂量组可以缓解机体的氧化应激状态,从而缓解疲劳;低、中剂量组肝脏中的 SOD 含量与对照组相比无统计学差异,但能显著提高肝脏组织中 GSH-Px 酶活力($P<0.05$);与对照组相比,中剂量组肝脏中 MDA 含量也有所下降($P<0.05$)。总体来说,高剂量组对肝脏各项指标影响更为显著。

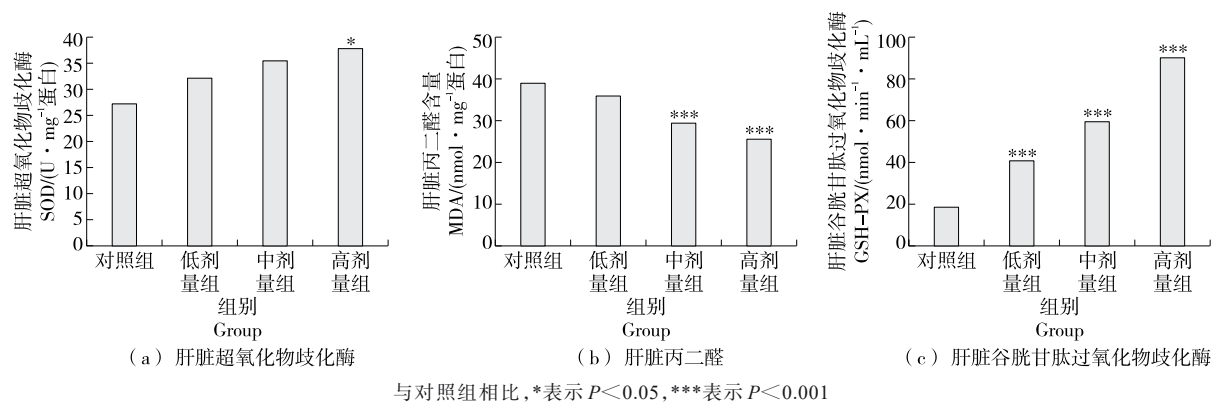
由图5可知,与对照组相比,裸藻提取物低、中、高剂量组小鼠血清中 SOD 含量和 GSH-Px 酶活力显著提升,MDA 含量降低($P<0.05$),说明裸藻提取物可以有效减少



与对照组相比,*表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$

图3 对小鼠血清SOD、GSH-Px酶活力及MDA含量的影响

Figure 3 Effects on SOD and GSH-Px enzyme activities, as well as MDA content in mice serum



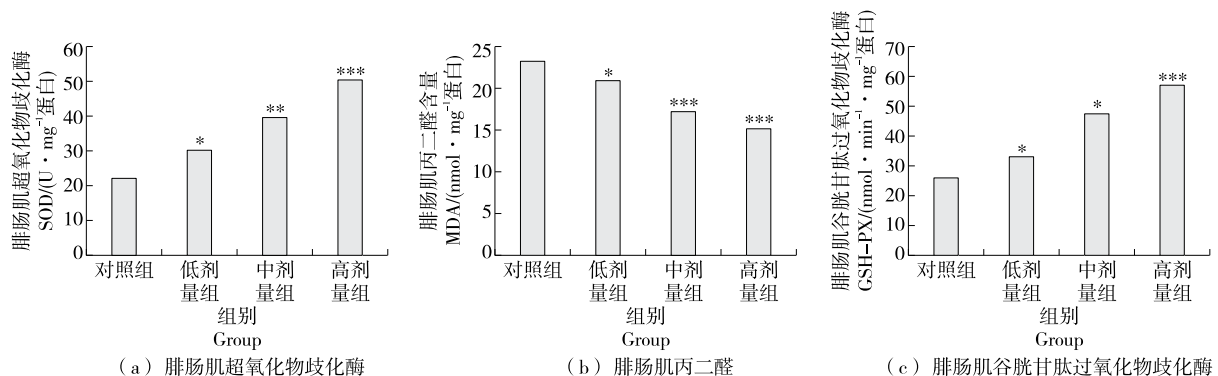
与对照组相比,*表示 $P < 0.05$, ***表示 $P < 0.001$

图4 对小鼠肝脏组织中SOD、GSH-Px酶活力及MDA含量的影响

Figure 4 Effects on SOD and GSH-Px enzyme activities, as well as MDA content in mouse liver tissues

过氧化物的产生对组织细胞的损伤,维持机体的氧化/抗氧化平衡,从而有效缓解小鼠疲劳。小鼠体内存在多种抗氧化活性酶,如SOD和GSH-Px,这些酶能够有效清除或降低体内活性氧自由基的水平,从而延缓疲劳的产生。Ni等^[29]研究表明,黄花菜提取物能够显著提高小鼠体内

的GSH-Px和SOD活性,降低MDA水平,从而增强抗氧化能力并延缓疲劳的产生。Zhou等^[30]研究表明,传统中药中的活性成分如多糖和黄酮类化合物,也具有显著的抗疲劳效果,这些成分通过促进糖原合成、减少运动代谢产物以及提高抗氧化酶活性来增强机体的抗疲劳能力。



与对照组相比,*表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$, ***表示 $P < 0.001$

图5 对小鼠腓肠肌组织中SOD、GSH-Px酶活力及MDA含量的影响

Figure 5 Effects on SOD and GSH-Px enzyme activities, as well as MDA content in mouse gastrocnemius tissues

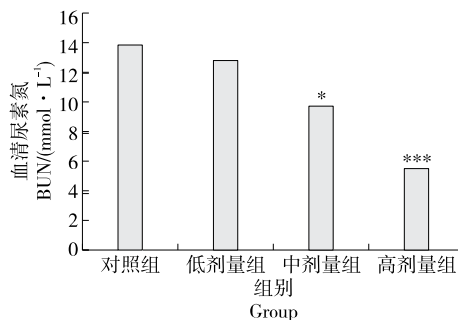
You 等^[31]研究表明,补充特定的植物提取物如 *Sasa borealis* 叶提取物,可以通过提高能量代谢和抗氧化防御系统来增强小鼠的游泳能力,从而发挥抗疲劳作用。

2.4 对 BUN 含量的影响

由图 6 可知,与对照组相比,裸藻提取物中、高剂量组小鼠血清中 BUN 含量显著降低($P<0.05$)。经过长时间运动后,机体无法从正常的糖或脂肪代谢水平中获取足够的能量,会开始分解和利用蛋白质和氨基酸,该过程会产生 BUN,且血液中 BUN 含量越高,机体对长时间运动的适应能力越差。因此,检测 BUN 含量变化可以判断机体是否处于疲劳状态并评价疲劳程度^[32]。综上,裸藻提取物可能通过抑制蛋白质分解和减少氨基酸的利用,从而减少 BUN 的产生,提高机体对长时间运动的适应能力,进而发挥抗疲劳的作用。Xu 等^[33]研究表明,膳食核苷酸能够显著增加强迫游泳时间,延缓血尿素氮和乳酸的积累,从而表现出抗疲劳效果。此外,茶籽油在高脂饮食诱导的肥胖小鼠模型中表现出抗疲劳活性,可通过降低氨、血尿素氮和肌酸激酶水平来改善运动表现^[34]。类似的,玉米肽通过显著降低运动后血尿素氮水平,同时增加肌肉和肝脏糖原储备,展现了抗疲劳活性^[35]。

2.5 对全血乳酸含量、血清 LDH 和 CK 活力的影响

由图 7 可知,与对照组相比,裸藻提取物中、高剂量组减少了小鼠血乳酸曲线下面积,且抑制了乳酸含量与乳酸脱氢酶(LDH)和肌酸激酶(CK)释放($P<0.05$)。乳酸是人体血液中的一种重要代谢产物,常被用作评估身体疲劳程度的关键指标。乳酸含量与 LDH 活性呈正相关,

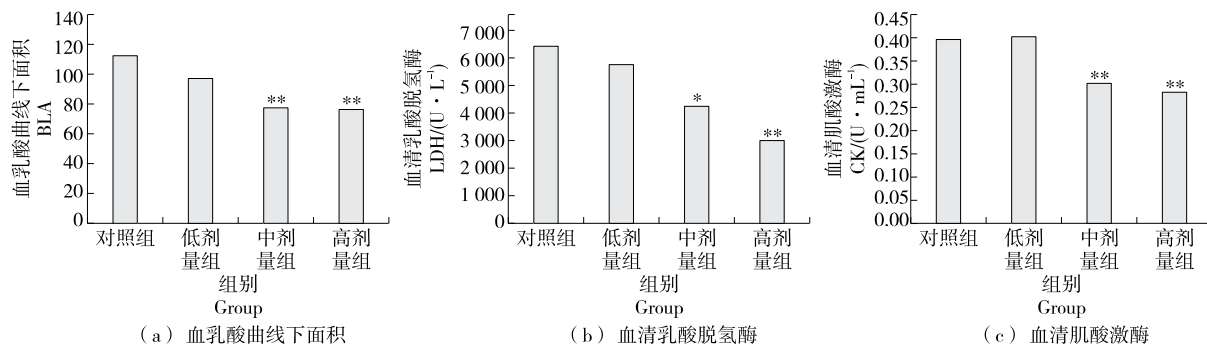


与对照组相比,*表示 $P<0.05$;***表示 $P<0.001$

图 6 对小鼠血清中 BUN 含量的影响

Figure 6 Effects on BUN content in mice serum

当乳酸含量增加时,机体内 LDH 活性也会提高,能够迅速催化并将积累的乳酸转变为丙酮酸以降低其含量,从而缓解身体疲劳感。LDH 是一种重要的酶类,在糖分解和合成过程中起着关键作用,并直接影响能量代谢通过促进乳酸和丙酮酸之间的氧化还原反应。CK 是骨骼肌收缩和松弛过程中能量代谢的关键酶,在肌组织中参与能量代谢,并迅速为细胞提供能量。通常情况下,CK 主要活跃于肌组织内部,很少通过细胞膜进入血液。然而,在长时间运动或力竭状态下,大量自由基会对肌纤维细胞膜造成损伤,导致其通透性增加。因此,LDH 和 CK 可以穿过细胞膜进入血液中,且活性显著增强。综上,裸藻提取物可以减少乳酸含量,降低对细胞膜的损伤作用,减少 LDH 及 CK 的释放入血,减少对机体的氧化损伤,以缓解疲劳。



与对照组相比,*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$

图 7 对小鼠血乳酸曲线下面积、LDH 和 CK 释放的影响

Figure 7 Effects on the BLA area under curve, as well as LDH and CK release in mice

3 结论

裸藻提取物具有显著的抗疲劳和抗氧化活性,能够有效提高小鼠的运动耐力,维持血糖、肝糖原和肌糖原水平,降低过量运动后血乳酸和尿素氮含量,促进肝脏与腓肠肌中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物歧化酶活力的提升,降低脂质过氧化物丙二醛含量,减少血清中乳酸

脱氢酶和肌酸激酶的释放,从而缓解机体的体力疲劳情况。后续可进一步分离和鉴定裸藻提取物中的活性成分,并深入研究其分子机制。

参考文献

[1] LUO C H, XU X R, WEI X C, et al. Natural medicines for the

- treatment of fatigue: bioactive components, pharmacology, and mechanisms[J]. *Pharmacological Research*, 2019, 148: 104409.
- [2] TORNERO-AGUILERA J F, JIMENEZ-MORCILLO J, RUBIO-ZARAPUZ A, et al. Central and peripheral fatigue in physical exercise explained: a narrative review[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19 (7): 3 909.
- [3] KHAN M H, SINOWAY L I. Muscle reflex control of sympathetic nerve activity in heart failure: the role of exercise conditioning[J]. *Heart Failure Reviews*, 2000, 5(1): 87-100.
- [4] YAN K, GAO H Y, LIU X H, et al. Establishment and identification of an animal model of long-term exercise-induced fatigue[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2022, 13: 915937.
- [5] GU P F, ZHANG L H, ZHENG X M, et al. Effects of post-exercise recovery methods on exercise-induced hormones and blood fatigue factors: a systematic review and meta-analysis[J]. *Annals of Palliative Medicine*, 2021, 10(1): 184-193.
- [6] LANGELIER D M, KLINE G A, DEBERT C T. Neuroendocrine dysfunction in a young athlete with concussion: a case report[J]. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2017, 27 (6): e78-e79.
- [7] MARINO F E, GARD M, DRINKWATER E J. The limits to exercise performance and the future of fatigue research[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2011, 45(1): 65-67.
- [8] BEDFORD T G, TIPTON C M, WILSON N C, et al. Maximum oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1979, 47(6): 1 278-1 283.
- [9] GOMEZ-MERINO D, BÉQUET F, BERTHELOT M, et al. Site-dependent effects of an acute intensive exercise on extracellular 5-HT and 5-HIAA levels in rat brain[J]. *Neuroscience Letters*, 2001, 301(2): 143-146.
- [10] 高蔚娜, 麻玉莹, 边祥雨, 等. 莲藕提取物的抗疲劳作用及机制研究[C]// 第十四届亚洲营养大会. 成都: 亚洲营养学会联合会, 中国营养学会, 2023: 1.
- GAO W N, MA Y Y, BIAN X Y, et al. Study on anti-fatigue effect and mechanism of lotus root extract[C]// Abstract Book of the 14th Asian Congress of Nutrition: Food & Nutrition. Chengdu: Institute of Environmental Medicine and Operational Medicine, Academy of Military Medicine, 2023: 1.
- [11] 程美玲, 黄鑫, 安瞳昕, 等. 玫瑰花青素对小鼠抗疲劳及抗氧化研究[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2021, 36(6): 956-961.
- CHENG M L, HUANG X, AN T X, et al. Study on anti-fatigue and anti-oxidation effects of rose anthocyanin in mice[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2021, 36(6): 956-961.
- [12] 杜鹃, 徐斌, 郝艳丽. 黑大蒜粗多糖缓解小鼠体力疲劳作用研究[J]. *中国兽医杂志*, 2017, 53(7): 92-95.
- DU J, XU B, XI Y L. Effect of polysaccharide from black garlic on the physical fatigue-relieving in mice[J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2017, 53(7): 92-95.
- [13] 王丹, 高永欣, 冯小雨, 等. 山药对小鼠体力疲劳缓解及抗氧化作用的研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2016, 37 (1): 88-94.
- WANG D, GAO Y X, FENG X Y, et al. The physical fatigue relieving and antioxidation ability of yam on mice[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2016, 37(1): 88-94.
- [14] KHATIWADA B, KAUTTO L, SUNNA A, et al. Nuclear transformation of the versatile microalga *Euglena gracilis*[J]. *Algal Research*, 2019, 37: 178-185.
- [15] 邱伟桑, 郑明敏. 裸藻的功能及其在食品中的应用[J]. *食品科技*, 2020, 45(8): 127-132.
- QIU W S, ZHENG M M. Function and applications in food industry of *Euglena*[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45 (8): 127-132.
- [16] KOTTUPARAMBIL S, THANKAMONY R L, AGUSTI S. *Euglena* as a potential natural source of value-added metabolites. A review[J]. *Algal Research*, 2019, 37: 154-159.
- [17] MATSUMOTO T, INUI H, MIYATAKE K, et al. Comparison of Nutrients in *Euglena* with those in other representative food sources[J]. *Eco-Engineering*, 2009, 21(2): 81-86.
- [18] O'NEILL E C, KUHAUDOMLARP S, REJZEK M, et al. Exploring the glycans of *Euglena gracilis*[J]. *Biology*, 2017, 6 (4): 45.
- [19] 栗晓庆, 吕俊平, 刘琪, 等. 裸藻多糖碱提工艺优化及其体外抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(9): 209-215.
- LI X Q, LYU J P, LIU Q, et al. Optimization of alkaline extraction and antioxidant activities of paramylon *in vitro*[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(9): 209-215.
- [20] LEE S M, KIM Y H, KIM Y R, et al. Anti-fatigue potential of *Pinus koraiensis* leaf extract in an acute exercise-treated mouse model[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2022, 153: 113501.
- [21] 卞文昆. 冬荪黄酮纯化工艺优化及对小鼠运动耐力的影响[J]. *食品与机械*, 2025, 41(3): 142-150.
- BIAN W K. Study on the purification process of flavonoids from *Phallus impudicus* and its effect on exercise endurance in mice[J]. *Food & Machinery*, 2025, 41(3): 142-150.
- [22] RU Q M, WANG L J, LI W M, et al. *In vitro* antioxidant properties of flavonoids and polysaccharides extract from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves[J]. *Molecules*, 2012, 17

- (9): 11 281-11 291.
- [23] 任广泉, 许志凌云, 刘金秋, 等. 玉木耳多糖对小鼠的抗疲劳作用[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 148-152.
- REN G Q, XU Z L Y, LIU J Q, et al. Antifatigue effect of the polysaccharide from *Auricularia cornea*[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 148-152.
- [24] 李盼, 曾祥权, 李倩倩, 等. 块菌多糖的提取、结构、功能及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 213-220.
- LI P, ZENG X Q, LI Q Q, et al. Research progress on extraction, structural, functional properties and applications of Tuber polysaccharides[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 213-220.
- [25] LI X T, ZHANG Y K, KUANG H X, et al. Mitochondrial protection and anti-aging activity of astragalus polysaccharides and their potential mechanism[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(2): 1 747-1 761.
- [26] HUANG Y F, LU L, ZHU D J, et al. Effects of astragalus polysaccharides on dysfunction of mitochondrial dynamics induced by oxidative stress[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2016, 2016(1): 9573291.
- [27] ZHANG Y L, LI A H, YANG X G. Effect of lemon seed flavonoids on the anti-fatigue and antioxidant effects of exhausted running exercise mice[J]. Journal of Food Biochemistry, 2021, 45(4): e13620.
- [28] MIKAMI T, KIM J, PARK J, et al. Olive leaf extract prevents obesity, cognitive decline, and depression and improves exercise capacity in mice[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 12495.
- [29] NI H L, MUHAMMAD I, LI J C, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activities of the flavonoid-rich extract from *Flos populus*[J]. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019, 32(6): 2 553-2 560.
- [30] ZHOU S S, JIANG J G. Anti-fatigue effects of active ingredients from traditional Chinese medicine: a review[J]. Current Medicinal Chemistry, 2019, 26(10): 1 833-1 848.
- [31] YOU Y, KIM K, YOON H G, et al. *Sasa borealis* extract efficiently enhanced swimming capacity by improving energy metabolism and the antioxidant defense system in mice[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2015, 61(6): 488-496.
- [32] XU J, ZHAO Q S, QU Y Y, et al. Antioxidant activity and anti-exercise-fatigue effect of highly denatured soybean meal hydrolysate prepared using neutrase[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 1 982-1 992.
- [33] XU M H, LIANG R, LI Y, et al. Anti-fatigue effects of dietary nucleotides in mice[J]. Food & Nutrition Research, 2017, 61(1): 1334485.
- [34] TUNG Y T, HSU Y J, CHIEN Y W, et al. Tea seed oil prevents obesity, reduces physical fatigue, and improves exercise performance in high-fat-diet-induced obese ovariectomized mice[J]. Molecules, 2019, 24(5): 980.
- [35] FENG Z Y, WEI Y, XU Y G, et al. The anti-fatigue activity of corn peptides and their effect on gut bacteria[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(8): 3 456-3 466.