

海参肽复合物缓解小鼠的体力疲劳

王敏, 李丽杰, 张曾亮, 卢赛, 邹圣灿

(颐海产业控股有限公司, 山东青岛 266100)

摘要: 本文探讨了海参肽与玛咖粉、枸杞子提取物、红景天提取物配伍协同缓解体力疲劳的作用效果。将 400 只健康雄性小鼠分为 4 批 (N=100), 分别进行负重游泳实验以及运动后血清尿素氮含量测定、血乳酸测定、肝糖原测定试验。每批随机分为 10 小组 (n=10), 其中一组作为阴性对照组, 其余 9 组作为海参肽复合物、植物提取物、海参肽三组低、中、高剂量试验组, 其分别相当于人体推荐剂量的 5、10、30 倍。灌胃给药, 每天 1 次, 连续 30 d, 对照组给予等量蒸馏水。结果表明, 与对照组相比, 中、高剂量海参肽复合物负重游泳时间分别延长 80.06% ($p<0.05$) 和 99.13% ($p<0.01$), 运动后血清尿素浓度分别减少 26.21%、30.74% ($p<0.05$), 血乳酸曲线下面积分别减少 26.90%、32.11% ($p<0.05$), 且效果均优于植物提取物组和海参肽组, 肝糖原变化不显著 ($p>0.05$)。海参肽与玛咖粉、枸杞子提取物、红景天提取物配伍后具有较好的缓解体力疲劳的作用, 且其作用效果均优于单独的海参肽与植物提取物。

关键词: 海参肽; 复合物; 缓解疲劳; 负重游泳; 血清尿素氮; 血乳酸

文章编号: 1673-9078(2020)02-32-37

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.006

Relieving Physical Fatigue of Sea Cucumber Peptide Complex

WANG Min, LI Li-jie, ZHANG Zeng-liang, LU Sai, ZOU Sheng-can

(Yihai Industry Holding Co. Ltd., Qingdao 266100, China)

Abstract: The was investigated effect of the compound of sea cucumber peptide, Maca powder, Wolfberry extract and Rhodiola rosea extract on relieving physical fatigue. Four hundred of healthy male mice were divided into 4 batches (N=100), on which weight loading swimming experiment, serum urea nitrogen test, blood lactic acid test, and liver glycogen test after exercise were conducted respectively. Each batch was randomly divided into 10 groups (n=10), one of which was used as the negative control group, and the other 9 groups as the low, medium and high dose of three experimental groups (sea cucumber peptide complexes, sea cucumber peptide, plant extracts). Low (0.2 g/kg-bw), medium (0.4 g/kg-bw), and high (1.2 g/kg-bw) doses are equivalent to 5, 10, and 30 times the recommended doses of the human body. The drug was administered by intragastric administration once a day for 30 days, and the control group was given an equal amount of distilled water. The changes of exhaustive swimming time, serum urea nitrogen content, lactate levels and hepatic glycogen content after exercise in each group were compared. Compared with the control group, the weight loading swimming times of the groups administered the medium and high-dose sea cucumber peptide complexes was extended by 80.06% ($p<0.05$) and 99.13% ($p<0.01$) respectively. In the meantime, the serum urea concentrations after exercise decreased by 26.21% ($p<0.05$) and 30.74% respectively ($p<0.05$), the area under the curve of blood lactic acid were reduced by 26.90% ($p<0.05$) and 32.11% ($p<0.05$) respectively. It can be seen that the sea cucumber peptide has better effect on relieving fatigue by compounding with Maca powder, Wolfberry extract and Rhodiola rosea extract.

Key words: sea cucumber peptide; complex; relieve fatigue; weight loading swimming; serum urea nitrogen; blood lactic acid

随着社会压力的不断增大, 精神压力大引发的疲劳以及运动性疲劳成为大多数都市人群面临的问题。疲劳虽不是疾病, 但是疲劳长期得不到缓解易造成机体损伤与疾病的产生, 因此疲劳的缓解是当今研究的焦点, 天然动植物及提取物在缓解运动性疲劳方面显

收稿日期: 2019-08-23

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFC0311203)

作者简介: 王敏 (1985-), 女, 助理工程师, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程

通讯作者: 李丽杰 (1982-), 女, 博士, 高级工程师, 研究方向: 天然活性物质的开发

现出很大的优势, 如多肽^[1]、西洋参^[2]、何首乌^[3,4]、虫草^[5,6]、灵芝^[7,8]、黄芪^[9]等。

现代医学研究表明, 疲劳不单单是单纯的能量消耗或代谢产物堆积, 而是由多因素、多层次、多环节、综合作用产生的^[10], 应考虑通过多方面调节、多功效成分缓解疲劳。Hu Yao 等^[11]采用液相色谱-质谱联用技术对小鼠运动 1 h 后的血液进行代谢分析, 探讨红景天消除运动小鼠疲劳的潜在机理, 研究表明红景天具有促进运动疲劳消除的作用, 该作用可能与保护细胞膜、调节 $1,25-(OH)_2D_3 \rightarrow IP_3$ 、DG 通路以及缓解运动后肌肉紧张度有关; Choi SY^[12]研究表明, 红景天

具有延缓疲劳发生和促进疲劳恢复的作用,其活性成分分为酚苷类红景天苷及黄酮类红景天素和草质素苷;枸杞子具有缓解疲劳的作用,主要功效成分有枸杞多糖^[13,14]、黄酮多酚、类胡萝卜素^[15]、牛磺酸等^[16];玛咖属于十字花科类草本植物,含有丰富的营养成分和次级代谢产物,与抗疲劳功能相关的活性成分主要有精氨酸、多糖、生物碱以及玛咖酰胺等^[17,18],其抗疲劳的作用机理与调节机体能量代谢以及增加抗氧化能力有关^[19,20];海参自古以来就是营养保健食品,从中提取制备的海参肽被证实具有许多特殊的生理活性。Ye J 等^[21]利用生物酶解法制备低分子量海参肽(SCP, <2 ku)并研究其体外抗疲劳活性,试验证明 SCP 处理显著提高了大鼠对疲劳的耐力,且 SCP 的施用可以调节炎症细胞因子的改变并下调 TLR4 和 NF- κ B 的过度表达;申彩红^[22]利用生物酶解法制备海参肽并研究其体外抗氧化与体内抗疲劳效果,试验证明中高剂量海参肽具有明显的抗疲劳效果,且与分子量大小有关。

因此,本研究考虑以多功效成分通过多方面调节来比较缓解疲劳的效果。以海参肽、玛咖粉、枸杞子提取物、红景天提取物配制不同的受试物,比较缓解体力疲劳的作用,为进一步实际应用提供支持。

1 材料与方法

1.1 实验动物与实验环境条件

健康 SPF 级 ICR 雄性小鼠,体重 18~23 g \pm 2 g,购自济南朋悦实验动物繁育有限公司,生产许可证编号 SCXK 2014-0007;饲养环境为屏障级,许可证号 SYXK 2013-0008,实验环境温度 20~22 $^{\circ}$ C,相对湿度 45%~65%。

1.2 主要仪器与试剂

游泳箱(约 50 cm \times 50 cm \times 40 cm);SBA-40D 乳酸分析仪,山东省科学院生物所;HITACHI 7180 全自动生化分析仪;血尿素氮测定试剂盒;葱酮试剂。

1.3 受试物

海参肽(1000~5000 u),山东东方海洋科技有限公司;玛咖粉,沈阳伊人宝生化制品有限公司;枸杞子提取物,威海松龄诺可佳中药饮片有限公司;红景天提取物,威海松龄诺可佳中药饮片有限公司;清洁级全价鼠颗粒饲料,北京科澳协力饲料有限公司。复合物样品均采用上述来源原辅料混匀制成。

1.4 动物分组与实验条件

实验前小鼠动物房适应性喂养 2 d,合格后开始正式实验。小鼠随机分为 4 批,分别进行负重游泳实验以及运动后血清尿素含量测定、血乳酸测定、肝糖原测定;每批 100 只,又随机分为 10 组,每组 10 只,其中一组作为阴性对照组,其余 9 组作为 3 组受试物[复合物组:海参肽+玛咖粉+枸杞子提取物+红景天提取物(1:1:1:1);植物提取物(植提)组:玛咖粉+枸杞子提取物+红景天提取物(1:1:1);海参肽组]低、中、高剂量试验组。低剂量组(0.2 g/kg·bw)、中剂量组(0.4 g/kg·bw)及高剂量组(1.2 g/kg·bw)分别相当于人体推荐剂量的 5、10、30 倍。配制低、中、高剂量受试液时,分别称取 1 g、2 g、6 g 各受试物内容物,溶解于 100 mL 蒸馏水中,每 10 g 体质量灌胃 0.2 mL,每天 1 次,对照组给予等体积的蒸馏水,连续 30 d 后测各项指标。实验期间各组小鼠正常摄食,自由饮水。

1.5 试验方法

1.5.1 小鼠体重的测定

小鼠在初始(给药前)、中期(给药 15 d)、末期(给药 30 d)分别称重,记录各组体重的平均值。

1.5.2 负重游泳实验

末次给予受试物 30 min 后,给小鼠尾部绑上其体重 5% 重量的铅丝,将小鼠置于水深约 30 cm,水温 25 $^{\circ}$ C \pm 0.5 $^{\circ}$ C 的游泳箱中游泳。记录自游泳开始至头部全部沉入水中 8 s 不能浮出水面的时间作为力竭游泳时间(s)。

1.5.3 血清尿素氮含量的测定

末次给予受试物 30 min 后,置小鼠于 30 $^{\circ}$ C 的水中游泳 90 min。运动后安静 60 min 拔眼球采血 0.5 mL,于 4 $^{\circ}$ C 静置 3 h 后 2000 r/min 离心 15 min,取血清用血尿素氮测试盒以及全自动分化分析仪测定血中尿素氮的含量。若试验组血清尿素浓度明显低于对照组,且差异有显著性($p < 0.05$),可判定该受试物有减少疲劳小鼠血清尿素产生的作用。

1.5.4 血乳酸测定

末次给予受试物 30 min 后采血 20 μ L,不负重于温度为 30 $^{\circ}$ C 的水中游泳 10 min,分别于运动后 0 min 和 20 min 采血 20 μ L,加入 40 μ L 溶血剂中,用乳酸分析仪测定。血乳酸曲线下面积=5 \times (游泳前血乳酸值+3 \times 游泳后 0 min 血乳酸值+2 \times 游泳后休息 20 min 血乳酸值),若受试物组小鼠血乳酸曲线下面积明显低于对照组,且差异有显著性($p < 0.05$),可判定该受试物有降低小鼠血乳酸曲线下面积作用。

1.5.5 肝糖原测定

末次给予受试物 30 min 后,处死小鼠,取肝脏经

生理盐水漂洗后用滤纸吸干,精确称取肝脏 100 mg,采用蒽酮法按试剂盒说明书进行肝糖原测定。若受试物组肝糖原水平明显高于对照组,且差异有显著性($p<0.05$),可判定该受试物有促进小鼠肝糖原储备的作用。

1.6 统计学处理与结果判定

采用单因素方差分析进行总体比较,发现差异再以Dunnett法进行多个剂量组与对照组间的两两比较。以负重游泳试验结果阳性,且血乳酸、血清尿素、肝

糖原 3 项生化指标中任 2 项指标阳性,判定该受试物具有缓解体力疲劳的作用。

2 结果与讨论

2.1 对小鼠体重的影响

由表 1 可知,各试验组小鼠实验初始体重、中期体重、终末体重以及各受试物对小鼠体重的影响与阴性对照组相比,差异均无显著性($p>0.05$),各组受试物低、中、高剂量差异均无显著性($p>0.05$)。

表 1 受试物对小鼠体重的影响

Table 1 Effects of the test subjects on the body weight of mice ($\bar{x}\pm s$, $n=10$)

组别	初始体重/g	中期体重/g	末期体重/g	增加值/g
阴性对照组	19.92±1.56	35.37±2.81	41.51±3.39	21.63±3.45
复合物低剂量组	19.90±1.43	36.85±2.37	42.15±2.51	22.22±2.41
植提低剂量组	19.84±1.41	35.14±1.11	41.43±2.58	21.62±2.14
海参肽剂量组	19.81±1.55	36.08±3.66	42.21±4.36	22.41±4.87
复合物中剂量组	19.96±1.43	34.51±1.73	41.02±2.84	21.18±3.24
植提中剂量组	19.92±1.41	35.22±1.72	40.44±2.02	20.53±2.68
海参肽中剂量组	19.97±1.44	35.85±1.77	40.61±2.36	20.71±2.19
复合物高剂量组	20.05±1.31	36.63±2.81	40.57±3.12	20.56±3.41
植提高剂量组	20.13±1.28	36.49±1.64	40.25±2.28	20.15±2.02
海参肽高剂量组	20.07±1.33	35.91±2.52	39.06±3.21	19.04±4.37

2.2 对小鼠负重游泳时间的影响

表 2 受试物对小鼠负重游泳时间的影响

Table 2 Effect of test substance on swimming time of weight loading mice ($\bar{x}\pm s$, $n=10$)

组别	力竭游泳时间/s	p 值
阴性对照组	346±119	
复合物低剂量组	426±147	$p>0.05$
植提低剂量组	375±202	$p>0.05$
海参肽低剂量组	321±198	$p>0.05$
复合物中剂量组	623±193	$p<0.05$
植提中剂量组	535±169	$p<0.05$
海参肽中剂量组	482±109	$p>0.05$
复合物高剂量组	689±236	$p<0.01$
植提高剂量组	617±172	$p<0.05$
海参肽高剂量组	560±151	$p<0.05$

灌胃给予小鼠不同剂量的不同受试物,对小鼠负重游泳时间有不同程度的延长作用。其中,与阴性对照组相比,低剂量组均无显著差异($p>0.05$);中剂量受试物对力竭游泳时间延长效果为:复合物组 80.06% ($p<0.05$),植提组 54.62% ($p<0.05$),海参肽组 39.31% ($p>0.05$);高剂量受试物对力竭游泳时间延长效果

为:复合物组 99.13% ($p<0.01$),植物提取物组 78.32% ($p<0.05$),海参肽组 61.85% ($p<0.05$)。由此可以推测,对负重游泳时间的影响作用大小依次为复合物>植物提取物>海参肽。另外,就相同受试物而言:复合物组中、低剂量差异性较显著 ($p<0.05$),高、低剂量差异极显著 ($p<0.01$),中、高剂量无显著差异 ($p>0.05$);植物提取物组、海参肽组高、低剂量差异较显著 ($p<0.05$) (表 2)。

2.3 对小鼠血清尿素浓度的影响

给予小鼠不同剂量的不同受试物,对小鼠血清尿素浓度有不同程度的降低作用。其中,与阴性对照组相比,低剂量组均无显著差异 ($p>0.05$);中剂量受试物对血清尿素氮含量降低效果为:复合物组 26.21% ($p<0.05$),植提组 14.47% ($p>0.05$),海参肽组 10.51% ($p>0.05$);高剂量受试物对血清尿素氮含量降低效果为:复合物组 30.74% ($p<0.05$),植物提取物组 13.18% ($p>0.05$),海参肽组 9.86% ($p>0.05$)。由此可以推测,对小鼠血清尿素浓度的影响作用大小依次为复合物>植物提取物>海参肽。另外,就相同受试物而言:复合物组中、低剂量差异性较显著 ($p<0.05$),高、低剂量差异极显著 ($p<0.01$),中、高剂量无显著差异

($p>0.05$)；植物提取物组中、低剂量和高、低剂量差异性较显著 ($p<0.05$)，中、高剂量无显著差异 ($p>0.05$)；海参肽各剂量组均无显著差异 ($p>0.05$) (表3)。

2.4 对小鼠运动前后血乳酸水平的影响

给予小鼠不同剂量的不同受试物，对小鼠运动前后血乳酸水平有不同程度的影响。其中，与阴性对照组相比，低剂量组均无显著差异 ($p>0.05$)；中剂量受试物对血乳酸曲线下面积降低效果为：复合物组 26.90% ($p<0.05$)，植提组 17.82% ($p>0.05$)，海参肽组 11.72% ($p>0.05$)；高剂量受试物对血清尿素氮含量降低效果为：复合物组 32.11% ($p<0.05$)，植物提取物组 16.09% ($p>0.05$)，海参肽组 13.40% ($p>0.05$)。由此可以推测，对小鼠运动前后血乳酸水平的影响作用大小依次为复合物>植物提取物>海参肽。另外，就相同受试物而言：复合物组中、低剂量差异性较显著 ($p<0.05$)，高、低剂量差异极显著 ($p<0.01$)，中、高剂量无显著差异 ($p>0.05$)；植物提取物各剂量组、海参肽各剂量组均无显著差异 ($p>0.05$) (表4)。

表4 受试物对小鼠运动前后血乳酸水平的影响

Table 4 Effects of test substances on blood lactate levels before and after exercise in mice ($\bar{x}\pm s, n=10$)

组别	实验前血乳酸/(mmol/L)	实验后 0 min 血乳酸/(mmol/L)	实验后 20 min 血乳酸/(mmol/L)	血乳酸曲线下面积
阴性对照组	2.76±0.45	5.33±0.65	3.42±0.47	127.94±16.72
复合物低剂量组	2.14±0.32	4.85±0.83	2.93±0.62	112.83±20.27
植提低剂量组	2.30±0.21	4.62±0.85	3.07±0.33	111.56±17.10
海参肽低剂量组	2.38±0.26	4.86±0.92	3.35±0.57	118.32±20.87
复合物中等剂量组	1.89±0.38	3.75±0.91*	2.78±0.39*	93.53±19.47*
植提中等剂量组	1.97±0.42	4.28±1.02	3.11±0.41	105.14±21.54
海参肽中等剂量组	2.25±0.25	4.66±1.13	3.18±0.45	112.94±22.75
复合物高剂量组	1.93±0.21	3.42±0.46*	2.59±0.43*	86.86±12.35*
植提高剂量组	1.96±0.32	4.39±0.59	3.16±0.50	107.35±15.41
海参肽高剂量组	2.04±0.26	4.61±0.52	3.14±0.53	110.80±14.48

注：血乳酸曲线下面积=5×(游泳前血乳酸值+3×游泳后 0 min 血乳酸值+2×游泳后休息 20 min 血乳酸值)，与阴性对照组相比* $p<0.05$ 。

表5 受试物对小鼠肝糖原储备量的影响

Table 5 Effect of test substance on liver glycogen reserve in mice ($\bar{x}\pm s, n=10$)

组别	肝糖原 (g/100 g 肝组织)	p 值	组别	肝糖原 (g/100 g 肝组织)	p 值
阴性对照组	4.25±0.64	>0.05	植提中等剂量组	4.26±0.91	>0.05
复合物低剂量	4.17±0.75	>0.05	海参肽中等剂量组	4.30±0.69	>0.05
植提低剂量组	4.35±0.87	>0.05	复合物高剂量组	4.06±0.81	>0.05
海参肽低剂量组	4.27±0.59	>0.05	植提高剂量组	4.21±0.68	>0.05
复合物中等剂量组	4.10±0.64	>0.05	海参肽高剂量组	4.22±0.85	>0.05

2.5 对小鼠肝糖原储备量的影响

灌胃给予小鼠不同剂量的不同受试物，各剂量组小鼠的肝糖原含量与阴性对照组比较均无显著性差异 ($p>0.05$ ，表5)，各组受试物低、中、高剂量差异均无显著性 ($p>0.05$ ，表5)。

表3 受试物对小鼠运动后血清尿素氮含量的影响

Table 3 Effect of test substance on serum urea nitrogen content

after exercise of mice ($\bar{x}\pm s, n=10$)		
组别	血清尿素/(mmol/L)	p 值
阴性对照组	13.89±2.25	
复合物低剂量组	12.43±1.92	$p>0.05$
植提低剂量组	14.26±1.56	$p>0.05$
海参肽低剂量组	13.76±2.03	$p>0.05$
复合物中剂量组	10.25±1.21	$p<0.05$
植提中剂量组	11.88±1.77	$p>0.05$
海参肽中剂量组	12.43±1.83	$p>0.05$
复合物高剂量组	9.62±1.73	$p<0.05$
植提高剂量组	12.06±1.82	$p>0.05$
海参肽高剂量组	12.52±1.95	$p>0.05$

2.6 讨论

近年来, 海参作为一种营养与药用价值极高的海洋棘皮动物, 从中提取的活性肽-海参肽的生物学功能逐渐引起人们的重视, 但大多研究仅停留海参肽的提取工艺以及单一海参肽功能上, 有关其复合物功能研究, 尤其是与非肽活性物质的协同作用研究以及应用方面的研究较少^[23]。目前, 关于生物活性肽与非肽物质的协同作用研究已逐渐受到关注^[24], 如, 焦宝利^[25]研究了超滤后的大豆肽分别与 VC、VE、茶多酚 (TP) 之间协同复配后的抗氧化作用, 并采用协同系数为指标分析了它们之间的协同抗氧化相互作用, 并对其原因进行了初步分析; 杨睿悦等^[26]探究了海洋蛋白肽 (MPP) 和核苷酸 (NT) 配伍调节小鼠免疫功能的作用及可能的作用机制, 结果表明两者具有协同增免作用; 夏新兴等^[27]将玉米肽和葛根、枳椇子 (黄酮类物质) 等传统解酒成分混合, 采用瓦勒-霍鹤法研究了它们的协同解酒能力, 结果表明, 协同组的酒精分解率和解酒速率均高于单一成分组, 首次证实了肽类与黄酮类物质可协同增强乙醇脱氢酶活力, 从而达到解酒效果。但是, 鲜少见关于海参肽与非肽活性物质协同作用及机制的研究。因此, 考虑到疲劳产生的原因是多方面的, 探索高效、零危害的缓解体力疲劳的方法, 天然抗疲劳肽与天然植物提取物相结合是一个值得研究的方向。

3 结论

本研究灌胃给予小鼠不同剂量的不同受试物, 结果表明, 中、高剂量复合物组负重游泳时间分别延长 80.06% ($p < 0.05$) 和 99.13% ($p < 0.01$), 运动后血清尿素浓度分别减少 26.21% ($p < 0.05$)、30.74% ($p < 0.05$), 血乳酸曲线下面积分别减少 26.90% ($p < 0.05$)、32.11% ($p < 0.05$); 中、高剂量植物提取物组负重游泳时间分别延长 54.62% ($p < 0.05$) 和 78.32% ($p < 0.05$); 中、高剂量海参肽组负重游泳时间分别延长 39.31% ($p > 0.05$) 和 61.85% ($p < 0.05$), 肝糖原变化不显著 ($p > 0.05$)。研究结果表明, 三组不同受试物均具有不同程度缓解体力疲劳的作用, 其中, 以海参肽+玛咖粉+杞子提取物+红景天提取物复合物效果最佳, 复合物的有效作用剂量低于二者单独作用时达相同效果所用的剂量且作用效果随剂量增加而逐渐加强, 关于该复合物协同作用的机理及对人体的作用需进一步研究。同时, 通过对相同受试物低、中、高剂量组之间的均数差异性分析可知, 不同剂量之间亦存在显著性差异, 其中, 以复合物各剂量组差异性最突出。

参考文献

- [1] Chen X X, Hu X, Li L H, et al. The research progress of anti-fatigue peptides [J]. Science & Technology of Food Industry, 2015, 4: 365-369
- [2] Li D, Ren JW, Zhang T, et al. Anti-fatigue effects of small-molecule oligopeptides isolated from *Panax quinquefolium* L. in mice [J]. Food Funct, 2018, 8: 4041-4520
- [3] Zhang Q, Xu Y, Lv J J, et al. Structure characterization of two functional polysaccharides from *Polygonum multiflorum*, and its immunomodulatory [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 113(7): 195-204
- [4] 钱小东, 黄伟. 何首乌茎叶总黄酮的提取及其抗运动疲劳作用[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 76-79, 90
QIAN Xiao-dong, HUANG Wei. Extraction of total flavonoids from stems and leaves of *Polygonum multiflorum* and its anti-fatigue effect [J]. Food Research and Development, 2017, 38(3): 76-79, 90
- [5] Liu JY, Feng CP, Li X, et al. Immunomodulatory and antioxidative activity of *Cordyceps militaris* polysaccharides in mice [J]. Int J Biol Macromol, 2016, 5(86): 594-598
- [6] 江海涛, 任源浩, 吴雨龙, 等. 蛹虫草多糖对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 食用菌学报, 2014, 3: 55-59
JIANG Hai-tao, REN Yuan-hao, WU Yu-long, et al. Anti-fatigue effect of *Cordyceps militaris* polysaccharide on mice [J]. Journal of Edible Fungi, 2014, 3: 55-59
- [7] Kang, Chen QZ, Li SS, et al. Comparison on characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* by ultrasound and conventional extraction [J]. Int J Biol Macromol, 2018
- [8] 张维珂, 张丛丛. 泰山赤灵芝延缓运动员运动性疲劳的实验研究[J]. 体育科技(广西), 2014, 35(6): 77-78
ZHANG Wei-ke, ZHANG Cong-cong. An experimental study on the effect of *Ganoderma lucidum* on delaying athletic fatigue in mount tai [J]. Sports Science and Technology (Guangxi), 2014, 35(6): 77-78
- [9] Zhang G, Zhou SM, Zheng SJ, et al. *Astragalus* on the anti-fatigue effect in hypoxic mice [J]. International Journal of Clinical & Experimental Medicine, 2015; 8: 14030-14034
- [10] Yeh TS, Chuang HL, Huang WC, et al. *Astragalus membranaceus* improves exercise performance and ameliorates exercise-induced fatigue in trained mice [J]. Molecules, 2014, 19(3): 2793-2807
- [11] Hu Y, Zhang J, Zhang Y, et al. Metabonomic study on fatigue

- elimination of exhaustive exercise mouse by rhodiola based on UFLC-Q-TOF [J]. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 2015, 11: 2209-2214
- [12] Choi SY. Anti-fatigue effects of rhodiola rosea extract [J]. *Planta Medica*, 2016, 81(1): 371-381
- [13] Yao LQ, Li FL. Lycium barbarum polysaccharides ameliorates physical fatigue [J]. *Afr J Agr Res*, 2010, 5(16): 2153-2157
- [14] 张雅莉,黄晓旭,蔡美琴.枸杞多糖的抗氧化及缓解体力疲劳作用研究进展[J].*上海交通大学学报(医学版)*,2015, 35(6): 911-923
ZHANG Ya-li, HUANG Xiao-xu, CAI Mei-qin. Research progress of Lycium barbarum polysaccharide on antioxidation and alleviating physical fatigue [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Edition)*, 2015, 35(6): 911-923
- [15] 魏雪松,王海洋,孙智轩,等.宁夏枸杞化学成分及其药理活性研究进展[J].*中成药*,2018,40(11):159-166
WEI Xue-song, WANG Hai-yang, SUN Zhi-xuan, et al. Advances in chemical constituents and pharmacological activities of *Lycium barbarum* L. in Ningxia [J]. *Chinese Patent Medicine*, 2018, 40(11):159-166
- [16] Amagase H, Farnsworth NR. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji) [J]. *Food Res Int*, 2011, 44(7): 1702-1717
- [17] Li Y, Xin Y Z, Xu F X, et al. Maca polysaccharides: Extraction optimization, structural features and anti-fatigue activities [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 115: 618-624
- [18] 查圣华.玛咖活性成分及抗疲劳功能研究[D].中国科学院研究生院(过程工程研究所),2016
ZHA Sheng-hua. Study on Active Components and Anti-fatigue Function of Maca [D]. Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Institute of Process Engineering), 2016
- [19] 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
YANG Qin. Study on the effective components and mechanisms of maca anti-fatigue [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016
- [20] Tang WM, Jin L, Xie LH, et al. Structural characterization and antifatigue effect *in vivo* of maca (*Lepidium meyenii* Walp) polysaccharide [J]. *J Food Sci*, 2017, 82(3): 757-764
- [21] Ye J, Shen C, Huang Y, et al. Anti-fatigue activity of sea cucumber peptides prepared from *Stichopus japonicus* in an endurance swimming rat model [J]. *J Sci Food Agr*, 2017, 97(13): 4548-4556
- [22] 申彩红.海参肽的酶法制备及其抗氧化、抗疲劳活性研究[D].泉州:华侨大学,2015
SHEN Cai-hong. Enzymatic preparation of sea cucumber peptide and its antioxidant and antifatigue activities [D]. Quanzhou: Overseas Chinese University, 2015
- [23] Pangestuti R, Arifin Z. Medicinal and health benefit effects of functional sea cucumbers [J]. *Journal of Traditional & Complementary Medicine*, 2017, 8(3): 341-351
- [24] 徐姗姗,曹珂璐,刘文颖,等.生物活性肽与非肽活性物质的协同作用研究进展[J].*食品工业*,2017,9:223-226
XU Shan-shan, CAO Ke-lu, LIU Wen-ying, et al. Research progress on synergism of bioactive peptides and non-peptide active substances [J]. *Food Industry*, 2017, 9: 223-226
- [25] 焦宝利.大豆肽抗氧化性及其协同作用研究[D].郑州:河南工业大学,2015
JIAO Bao-li. Study on antioxidant activity and synergism of soybean peptide [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015
- [26] 杨睿悦,张佳丽,王楠,等.海洋蛋白肽和核苷酸配伍对小鼠免疫调节作用[J].*中国公共卫生*, 2010,26(1):89-91
YANG Rui-yue, ZHANG Jia-li, WANG Nan, et al. Immunomodulatory effect of combination of marine protein peptide and nucleotide in mice [J]. *Public Health in China*, 2010, 26(1): 89-91
- [27] 夏新兴,尹友红.酒肽葛根根棋子协同解酒能力的研究及综述[J].*科技资讯*,2015,13(28):192-194
XIA Xin-xing, YIN You-hong. Research and review on synergistic antialcoholic ability of alcohol peptide *Pueraria lobata* and *Hovenia dulcis* [J]. *Information Technology*, 2015, 13(28): 192-194