

鹰嘴豆多肽抗疲劳活性

Study on the anti-fatigue activity of chickpea peptide

董静茹^{1,2,3,4} 莫君明^{1,2,3,4} 王升⁵

DONG Jing-ru^{1,2,3,4} MO Jun-ming^{1,2,3,4} WANG Sheng⁵

(1. 广西民族大学化学化工学院, 广西 南宁 530006; 2. 广西民族大学林产化学与工程国家民委重点实验室, 广西 南宁 530006; 3. 广西民族大学广西林产化学与工程重点实验室, 广西 南宁 530006; 4. 广西民族大学广西林产化学与工程协同创新中心, 广西 南宁 530006; 5. 南宁庞博生物工程有限公司, 广西 南宁 530031)

(1. Guangxi University for Nationalities, Nanning, Guangxi 530006, China; 2. State Ethnic Affairs Commission Key Laboratory of Chemistry and Engineering of Forest Products, Guangxi University for Nationalities, Nanning, Guangxi 530006, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Chemistry and Engineering of Forest Products, Nanning, Guangxi 530006, China; 4. Guangxi Collaborative Innovation Center for Chemistry and Engineering of Forest Products, Nanning, Guangxi 530006, China; 5. Nanning Pangbo Biological Engineering Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530031, China)

摘要:目的:提高鹰嘴豆的附加值。方法:进行小鼠负重游泳试验,测定免疫活性,分析疲劳相关生化指标。结果:负重游泳试验中,鹰嘴豆多肽喂养组小鼠游泳时间极显著长于对照组($P < 0.01$),鹰嘴豆多肽极显著降低了小鼠血液中尿素氮和血乳酸水平,极显著提高了肝糖原、肌糖原和胰岛素含量($P < 0.01$)。鹰嘴豆多肽还可显著提高超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、乳酸脱氢酶(LDH)的活性。此外,补充鹰嘴豆多肽可以通过增加小鼠的吞噬细胞活性、刺激 sIgA 分泌和减少促炎细胞因子来提高免疫力。结论:鹰嘴豆多肽对小鼠具有较强的抗疲劳作用。

关键词: 鹰嘴豆; 抗疲劳活性; 多肽; 免疫调节

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the anti-fatigue activity of chickpea polypeptide and its anti-fatigue mechanism. **Methods:** Weight-bearing swimming test, fatigue-related biochemical index analysis and immune activity determination were analyzed in mice. **Results:** In the weight-bearing swimming test, the swimming time of the chickpea polypeptide-fed group was significantly longer than that of the control group ($P < 0.01$). The test results of biochemical indicators

showed that chickpea polypeptide significantly reduced the levels of urea nitrogen and blood lactic acid in the blood of mice, and also significantly increased the contents of liver glycogen, muscle glycogen and insulin ($P < 0.01$). Chickpea polypeptide also significantly improved the activities of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px) and lactate dehydrogenase (LDH). In addition, chickpea polypeptide supplementation improved the immunity by increasing phagocyte activity, stimulating sIgA secretion and reducing proinflammatory cytokines in mice. **Conclusion:** Chickpea polypeptide has a strong anti-fatigue effect on mice.

Keywords: chickpea; anti-fatigue activity; peptide; immunoregulation

鹰嘴豆富含蛋白质,可作为蛋白多肽的优质来源。鹰嘴豆多肽是一种易于消化吸收、溶解性好的生物活性多肽,具有抗肿瘤、调节糖代谢、降血压和抗氧化等功效^[1-3],但对鹰嘴豆多肽的相关应用研究较少。

疲劳是一种会使人体运动能力下降的身体状态,它可以提醒人体停止运动或降低运动强度以避免受伤^[4]。疲劳不仅会降低身体的运动能力,还会导致人体免疫力下降、肌肉收缩功能下降、神经中枢系统紊乱,倘若身体长期处于疲劳状态则会严重影响人体的健康^[5]。为缓解疲劳,已开发了多种方法,例如使用化学药物或氨基酸等营养补充剂^[6-8],但化学药物用于缓解疲劳的功效益有限。天然产物提取的活性成分副作用小,几乎无成瘾性,逐渐成为抗疲劳药剂的研究热点。近年来小分子多肽由

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:21701035);广西高校引进海外高层次人才“百人计划”(编号:桂教人[2016]59号)

作者简介:董静茹,女,广西民族大学在读硕士研究生。

通信作者:莫君明(1983—),男,广西民族大学副教授,博士。

E-mail: moandli@163.com

收稿日期:2022-06-30 **改回日期:**2022-10-10

于易吸收、具有多种功能、安全可靠等特性,越来越受到研究者的关注。一些多肽已被用来消除疲劳,例如水母^[9]、牡蛎^[10]、大豆^[11]、小麦^[12]等蛋白多肽。植物性蛋白占全球蛋白产量的80%^[13],植物源多肽原料来源充足,价格相对低廉更适合作为抗疲劳食物和营养补充剂。目前国内外有关鹰嘴豆多肽抗疲劳活性的研究较少^[14],且仅对肝糖原、血乳酸(BLA)、丙二醛(MDA)和尿素氮(BUN)等个别疲劳相关指标含量进行了研究。研究拟通过小鼠负重游泳试验探究鹰嘴豆多肽抗疲劳作用,测定运动前后与疲劳相关的生化指标;通过测定胰岛素、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、乳酸脱氢酶(LDH)活性探讨鹰嘴豆多肽的抗疲劳机理,并初步研究其免疫调节作用,旨在为鹰嘴豆的深加工以及抗疲劳运动食品和饮料的新产品开发提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

鹰嘴豆多肽:分子量<2 000 Da,南宁穗肽生物技术有限公司;

120只昆明小鼠:(20±2)g,广西医科大学实验动物中心;

复合蛋白酶:90%碱性蛋白酶+10%木瓜蛋白酶,南宁庞博生物工程有限公司;

血尿素氮(BUN)、糖原、血乳酸、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)等分析试剂盒:南京建成生物工程研究所;

胰岛素(小鼠)ELISA试剂盒:台湾 Abnova 公司;

乳酸脱氢酶(LDH)分析试剂盒:美国 Biovision 公司;

白介素-2(IL-2)、白介素-4(IL-4)、白介素-6(IL-6)、干扰素- γ (IFN- γ)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和分泌型免疫球蛋白 A(sIgA)ELISA 试剂盒:武汉华美生物工程有限公司;

其他化学试剂均为国产分析纯。

1.2 鹰嘴豆多肽的制备

将分离的鹰嘴豆蛋白粉按液比1:10(g/mL)分散至蒸馏水中。均匀搅拌后,调整溶液pH值至7.5,加入1 000 U/g的复合蛋白酶,将蛋白粉和酶的混合物于55℃水解4h,100℃水浴15min,离心,超滤,冻干,即可得到鹰嘴豆多肽粉。

1.3 试验动物

试验期间,小鼠喂食标准的实验室饲料和水。所有动物试验程序均经广西民族大学批准。待小鼠适应喂养1周后,将其随机均分为4组:对照组、鹰嘴豆多肽低剂量组(L)、鹰嘴豆多肽中剂量组(M)和鹰嘴豆多肽高剂量组(H)。每组再随机分为3个小组(A、B和C),其中一个小组进行负重游泳试验,另两组进行生化参数测定。对照组喂食蒸馏水[0.1 mL/(g·d)]30d;L、M和H组分别喂

食3种不同剂量鹰嘴豆多肽[100,200,400 mg/(kg·d)],连续30d。将鹰嘴豆多肽溶解于2 mL蒸馏水中,每天灌胃小鼠。

1.4 负重游泳试验

A组小鼠根据文献^[15]进行负重游泳试验。

1.5 疲劳相关生化指标测定

小鼠最后一次灌胃30min后,B组小鼠在25℃下游泳10min。游泳前,采集血液样本以测定胰岛素水平^[16]。于游泳前、游泳后0,20min分别抽取血样进行BLA检测,采用内眦静脉取血,每次20 μ L。休息60min后采血,测定BUN和LDH活性水平。取出肝脏和后腿肌肉,用生理盐水冲洗,测定肝糖原和肌糖原含量。后腿肌肉还用于MDA、SOD和GSH-Px活性测定。

1.6 免疫相关生化指标测定

最后一次给药30min后,将C组小鼠麻醉并处死。采集血液样本,测定胰岛素、IL-2、IL-4、IL-6、IFN- γ 、TNF- α 水平。收集小肠黏膜样本以测定sIgA。根据Perdigon^[17]的方法进行吞噬试验。

1.7 统计分析

所有试验数据均以平均±标准差表示。使用SPSS 19.0版软件进行统计学分析,采用单因素方差分析(anova),*表示与对照组相比存在显著性差异($P<0.05$),**表示与对照组相比存在极显著性差异($P<0.01$)。

2 结果与分析

2.1 小鼠体重和负重游泳时间

疲劳会致使运动能力改变,身体抗疲劳能力越强,运动时间也越长^[18]。由表1可知,喂食鹰嘴豆多肽的小鼠体重与对照组无统计学差异,说明鹰嘴豆多肽对小鼠体重无影响。低、中、高剂量组小鼠的游泳时间均长于空白对照组($P<0.01$)。随着鹰嘴豆多肽喂养剂量的增加,小鼠游泳时间相应增加。综上,鹰嘴豆多肽可以延长小鼠的游泳时间,提高小鼠的运动耐力。

2.2 尿素氮、糖原和胰岛素含量

血液中的尿素氮含量是疲劳水平的重要标志^[19]。由图1可知,运动后L、M、H组小鼠的BUN含量明显低于对照组($P<0.01$),表明喂食鹰嘴豆多肽的小鼠疲劳程度较低,且喂食越多,小鼠疲劳程度越低。多肽并不会促进尿素在肾脏的代谢^[20],因此认为其他能量来源(糖原)较多是试验组小鼠消耗蛋白质较少、尿素氮含量较低的原因。

表1 小鼠体重和游泳时间

Table 1 Body weights and swimming times of mice

组别	初始体重/g	最终体重/g	游泳时间/min
对照组	20.16±1.10	30.06±1.14	11.07±0.93
L	20.09±1.05	30.01±1.03	13.37±1.15**
M	20.02±1.12	29.92±1.10	15.04±1.29**
H	20.14±1.17	30.11±1.02	16.91±1.24**

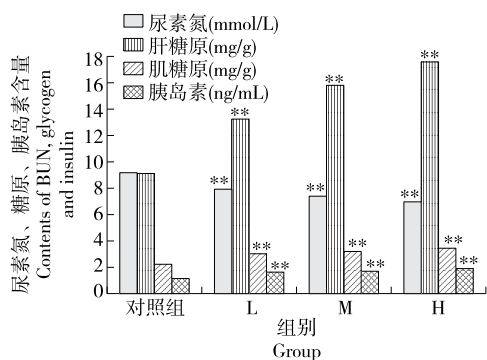


图 1 尿素氮、糖原、胰岛素含量

Figure Contents of BUN, glycogen and insulin

由图 1 可知,喂食鹰嘴豆多肽剂量越高的小鼠肝糖原和肌糖原含量也越高,且鹰嘴豆多肽喂养小鼠的肝糖原和肌糖原含量均极显著高于对照组($P < 0.01$)。糖主要以肝糖原和肌糖原的形式贮藏在体内,通过有氧呼吸和厌氧呼吸为运动提供必要的能量^[21]。随着运动的进行,糖原将会耗尽,从而使得机体必须消耗蛋白质造成 BUN 含量升高。此外,当糖原消耗殆尽无法维持血糖浓度时,生物体会出现低血糖症并感到疲劳,无法再维持运动强度。由于糖原在提高运动耐力和恢复运动疲劳方面发挥着重要作用^[22]。因此,鹰嘴豆多肽喂养组小鼠较高的糖原含量意味着更强的抗疲劳能力。

小鼠胰岛素含量随着鹰嘴豆多肽剂量的增加而提高,L、M 和 H 组小鼠的胰岛素含量均显著高于对照组($P < 0.01$),说明鹰嘴豆多肽可以刺激胰岛素的分泌。糖原主要由葡萄糖构成,而摄入鹰嘴豆多肽并不会为糖原合成直接提供葡萄糖。但是肽或蛋白质的补充可能会影响糖原的消耗和补充效率。Van 等^[23]研究表明,服用氨基酸可以促进胰岛素的分泌。Calbet 等^[24]发现同时服用碳水化合物和蛋白质水解物可以促进胰岛素分泌。因此,鹰嘴豆多肽可能是通过促进胰岛素分泌来增加糖原含量。

2.3 小鼠 BLA 水平和 LDH 活性

由图 2 可知,运动前每组小鼠 BLA 水平均非常接近,运动后各组小鼠 BLA 含量均有所升高,但 M、H 组的 BLA 水平明显低于对照组。休息 20 min 后,各组 BLA 水平均下降,其中,M、H 组的 BLA 水平与对照组相比均极显著下降($P < 0.01$),鹰嘴豆多肽喂养剂量越高,BLA 水平降低越多。由于有氧呼吸在运动过程中不能满足机体的能量需求,机体将通过厌氧呼吸获得能量^[25]。乳酸是厌氧呼吸作用下糖的主要代谢产物,体内乳酸的过度积累会导致肌肉酸痛,甚至乳酸中毒,这是导致人体疲劳的主要原因^[26]。综上,鹰嘴豆多肽能有效降低小鼠运动后的 BLA 含量。

由图 3 可知,鹰嘴豆多肽喂养组小鼠的 LDH 活性均极显著高于对照组($P < 0.01$),鹰嘴豆多肽的喂食剂量越

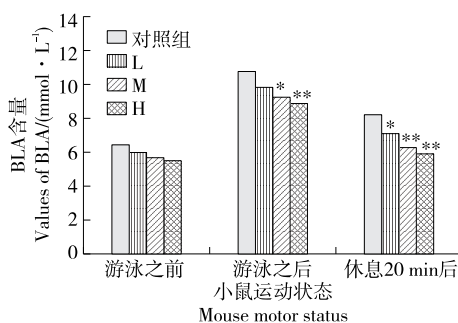


图 2 各组小鼠的 BLA 含量

Figure 2 The BLA values in each group of mice

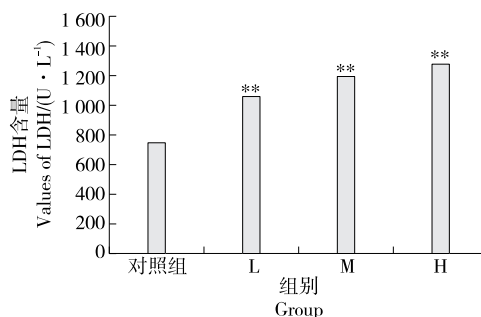


图 3 各组小鼠的 LDH 含量

Figure 3 The LDH values in each group of mice

高,LDH 活性越高。LDH 的作用是催化乳酸氧化为丙酮酸从而减少乳酸的积累^[27]。小鼠体内 LDH 活性越高,运动后的 BLA 含量降低越快,高剂量组小鼠 BLA 含量已接近运动前的正常值。综上,鹰嘴豆多肽可以通过提高 LDH 活性来降低血液中 BLA 含量。

2.4 抗氧化活性

由表 2 可知,与对照组相比,L、M 和 H 组的 MDA 水平随鹰嘴豆多肽喂食剂量的增加而降低;SOD、GSH-Px 活性随鹰嘴豆多肽喂食剂量的增加而提高,表明鹰嘴豆多肽能提高 SOD 和 GSH-Px 活性,从而降低体内自由基含量抑制体内氧化反应,减轻运动疲劳。

2.5 改善免疫

吞噬细胞是人体免疫系统的主要防线,能够识别、吞噬和破坏进入活体的异物。sIgA 是外分泌液中的主要抗

表 2 小鼠的 MDA、SOD 和 GSH-Px 活性

Table 2 MDA levels, SOD activity and GSH-Px activity of mice

组别	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	SOD/ (U · mg ⁻¹)	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)
对照组	3.73 ± 0.36	80.89 ± 8.06	51.32 ± 5.02
L	2.79 ± 0.30**	91.43 ± 8.61**	62.86 ± 5.94**
M	2.45 ± 0.27**	105.17 ± 9.79**	70.61 ± 6.58**
H	2.07 ± 0.21**	116.59 ± 10.53**	76.73 ± 6.77**

体,是抵抗呼吸道、消化道和泌尿生殖道病原体和有害物质的第一道免疫防线,是黏膜免疫中最重要的抗体。因此,吞噬细胞活性和 sIgA 水平可以直接反映机体的免疫活性。由表 3 可知,鹰嘴豆多肽喂养组的吞噬作用和 sIgA 浓度显著高于对照组($P < 0.01$),且鹰嘴豆多肽喂食剂量越高,吞噬作用和 sIgA 浓度越高,表明鹰嘴豆多肽喂养组小鼠的免疫力较强。慢性疲劳患者通常伴有慢性、轻度炎症^[28]。炎症过程与刺激后巨噬细胞内促炎介质的分泌有关^[29]。促炎介质包括白介素、干扰素- γ 和肿瘤坏死因子- α ,是免疫细胞或某些非免疫细胞通过刺激合成和分泌的一种小分子蛋白。Ye 等^[30]研究表明,海参

多肽可以抑制促炎介质分泌从而改善疲劳。Zheng 等^[12]研究表明,小麦多肽可以显著降低剧烈运动后产生的促炎介质。鹰嘴豆多肽喂养组的 IL-6 水平极显著降低($P < 0.01$),中、高剂量组的 TNF- α 水平也显著降低($P < 0.05$)。IL-6 和 TNF- α 被认为是促炎症细胞因子^[31],其中 TNF- α 是炎症反应过程中最早、最主要的内源性介质,IL-6 作为一种多效性细胞因子,其含量的增加与血管炎症和慢性疲劳综合征有关^[32]。这表明补充鹰嘴豆多肽可以显著消除炎症反应。IL-2、IL-4 和 IFN- γ 水平则无显著变化($P > 0.05$)。综上,鹰嘴豆多肽对小鼠的免疫改善有一定作用。

表 3 免疫相关指标

Table 3 Immunity related parameters

组别	吞噬率/%	sIgA/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	IL-2/ ($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	IL-4/ ($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	IL-6/ ($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	IFN- γ / ($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	TNF- α / ($\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$)
对照组	20.6 \pm 1.3	15.61 \pm 1.10	22.31 \pm 2.91	25.03 \pm 3.22	61.24 \pm 8.62	210.79 \pm 18.64	11.78 \pm 2.07
L	27.2 \pm 2.0**	16.83 \pm 1.17*	22.93 \pm 3.04	24.76 \pm 3.35	54.85 \pm 7.61*	214.54 \pm 19.37	10.04 \pm 1.97
M	30.1 \pm 2.1**	19.53 \pm 1.21**	22.71 \pm 3.15	25.52 \pm 3.17	50.56 \pm 8.33**	212.33 \pm 20.81	9.35 \pm 1.99*
H	31.8 \pm 2.0**	20.04 \pm 1.38**	23.34 \pm 3.27	25.32 \pm 3.04	47.08 \pm 7.89**	212.92 \pm 19.71	8.89 \pm 1.87*

3 结论

鹰嘴豆多肽可以促进胰岛素的分泌,提高乳酸脱氢酶(LDH)、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,进而增加肌肉和肝脏中的糖原含量、加速清除积累的乳酸、抑制自由基诱导的体内氧化和改善机体的免疫功能来实现抗疲劳作用。鹰嘴豆多肽降低 IL-6 和 TNF- α 含量的作用机制还不清楚,仍需更多的动物试验进行机理研究。

参考文献

[1] 冯婷. 鹰嘴豆营养保健价值及其应用[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(1): 67-69.
FENG T. Nutrients and health function of chickpea and it's application[J]. Food and Nutrition in China, 2011, 17(1): 67-69.

[2] 李朋收, 刘洋洋, 范冰舵, 等. 鹰嘴豆化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(11): 235-238.
LI P S, LIU Y Y, FAN B D, et al. Research progress of chemical composition and pharmacological effectiveness of chickpeas [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2014, 20(11): 235-238.

[3] 张旭娜, 么杨, 崔波, 等. 鹰嘴豆功能活性及应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(9): 1 983-1 988.
ZHANG X N, YAO Y, CUI B, et al. Research advance on the biological activity and application of chickpea[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(9): 1 983-1 988.

[4] XUE J, CHU Q B, LI L Z, et al. The antifatigue activities of tuber melanosporum in a mouse model[J]. Experimental and Therapeutic

Medicine, 2018, 15(3): 3 066-3 073.

[5] GREEN H J. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise[J]. Journal of Sports Sciences, 1997, 15(3): 247-256.

[6] ORZACK M H, TAYLOR C L, KORNETSKY C. A research report on the anti-fatigue effects of magnesium pemoline [J]. Psychopharmacologia, 1968, 13: 413-417.

[7] NIEPEL G, BIBANI R H, VILISAAR J, et al. Association of a deficit of arousal with fatigue in multiple sclerosis: Effect of modafinil[J]. Neuropharmacology, 2013, 64: 380-388.

[8] BLOMSTRAND B, NEWSHOLME E A. Effect of branched-chain amino acid supplementation on the exercise-induced change in aromatic amino acid concentration in human muscle [J]. Acta Physiologica Scandinavica, 1992, 146(3): 293-298.

[9] DING J F, LI Y Y, XU J J, et al. Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1 350-1 353.

[10] MIAO J, LIAO W, KANG M, et al. Anti-fatigue and anti-oxidant activities of oyster (*Ostrea rivularis*) hydrolysate prepared by compound protease[J]. Food & Function, 2018, 9(12): 6 577-6 585.

[11] YU B, LU Z X, BIE X M, et al. Scavenging and anti-fatigue activity of fermented defatted soybean peptides[J]. European Food Research Technology, 2008, 226: 415-421.

[12] ZHENG Z, YANG X, LIU J, et al. Effects of wheat peptide supplementation on antifatigue and immunoregulation during incremental swimming exercise in rats[J]. RSC Advances, 2017, 7: 43 345-43 355.

[13] 陆恒. 小麦蛋白质及其制品[J]. 粮食与饲料工业, 1988(3): 59.
LU H. Wheat protein and products[J]. Cereal & Feed Industry, 1988(3): 59.

- [14] 叶健明. 鹰嘴豆多肽的制备及其生物活性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2019: 3-11.
YE J M. Study on preparation of chickpea polypeptides and its biological activities[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2019: 3-11.
- [15] HAN L, MENG J, YANG Y, et al. Antioxidant and anti-fatigue activities of seed oil from the berries of three indigenous plants in tibetan plateau[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2015, 7(3): 445-457.
- [16] KIM J, HWANG H, PARK J, et al. Silk peptide treatment can improve the exercise performance of mice [J]. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2014, 11: 35-41.
- [17] PERDIGON G, DE MACIAS M E N, ALVAREZ S, et al. Effect of perorally administered lactobacilli on macrophage activation in mice[J]. Infection & Immunity, 1986, 53: 404-410.
- [18] ZHANG Y, YAO X B, BAO B L, et al. Anti-fatigue activity of a triterpenoid-rich extract from Chinese bamboo shavings (Caulis bambusae in taeniam) [J]. Phytotherapy Research, 2006, 20(10): 872-876.
- [19] KOO H N, LEE J K, HONG S H, et al. Herbkinases increases physical stamina in mice[J]. Biolog Pharmaceutical Bulletin, 2004, 27(1): 117-119.
- [20] PAN Z, JING W, WEI Z, et al. Antifatigue and antiaging effects of Chinese rice wine in mice[J]. Food Science & Nutrition, 2018, 6(8): 2 386-2 394.
- [21] KANG N, KIM S Y, RHO S, et al. Anti-fatigue activity of a mixture of seahorse (*Hippocampus abdominalis*) hydrolysate and red ginseng[J]. Fisheries and Aquatic Sciences, 2017, 20(1): 3-10.
- [22] WANG J J, SHIEH M J, KUO S L, et al. Effect of red mold rice on antifatigue and exercise-related changes in lipid peroxidation in endurance exercise [J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2006, 70: 247-253.
- [23] VAN LOON L J, SARIS W H M, VERHAGEN H, et al. Plasma insulin responses after ingestion different amino acid or protein mixtures with carbohydrate[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2000, 72(1): 96-105.
- [24] CALBERT J A L, MACLEAN D A. Plasma glucagon and insulin responses depend on the rate of appearance of amino acids after ingestion of different protein solution in humans[J]. The Journal of Nutrition, 2002, 132(8): 2 174-2 182.
- [25] FINAUD J, LAC G, FILAIRE E. Oxidative stress relationship with exercise and training[J]. Sports Medicine, 2006, 36(4): 327-358.
- [26] BOSCA L, ARAGA N J J, SOLS A. Modulation of muscle phosphofructokinase at physiological concentration of enzyme[J]. Journal of Biological Chemistry, 1985, 260(4): 2 100-2 107.
- [27] ZHANG W, XIANG Q, ZHAO J, et al. Purification, structural elucidation and physicochemical properties of a polysaccharide from *Abelmoschus esculentus* L. (okra) flowers[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 155: 740-750.
- [28] COLLADO-HIDALGO A, BOWER J E, GANZ P A, et al. Inflammatory biomarkers for persistent fatigue in breast cancer survivors[J]. Clinical Cancer Research, 2016, 12(9): 2 759-2 766.
- [29] KIM Y S, AHN C B, JE J Y. Anti-inflammatory action of high molecular weight *Mytilus edulis* hydrolysates fraction in LPS-induced RAW264.7 macrophage via NF- κ B and MAPK pathways [J]. Food Chemistry, 2016, 202: 9-14.
- [30] 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]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(13): 4 548-4 556.
- [31] HIRANO T. Interleukin 6 in autoimmune and inflammatory diseases: A personal memoir[J]. Proceedings of the Japan Academy Series B Physical and Biological Sciences, 2010, 86(7): 717-730.
- [32] CANNON J G, ANGEL J B, BALL R W, et al. Acute phase responses and cytokine secretion in chronic fatigue syndrome[J]. Journal of Clinical Immunology, 1999, 19(6): 414-421.
- (上接第 84 页)
- [18] 沈建, 林蔚, 郁蔚文, 等. 我国贝类加工现状与发展前景[J]. 中国水产, 2008(3): 73-75.
SHEN J, LIN W, YU W W, et al. Current situation and development prospect of shellfish processing in my country[J]. China Fisheries, 2008(3): 73-75.
- [19] 杨炬, 付宗国, 于晓龙, 等. 新型贻贝加工设备设计研究[J]. 机械工程师, 2016(2): 95-98.
YANG J, FU Z G, YU X L, et al. Design and research of new mussel processing equipment[J]. Mechanical Engineer, 2016(2): 95-98.
- [20] 张馨丹, 王慧慧, 芦金石, 等. 贝类预煮加工设备结构设计及运动仿真[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 69-71, 201.
ZHANG X D, WANG H H, LU J S, et al. Structural design and motion simulation of shellfish pre-cooking processing equipment [J]. Food & Machinery, 2016, 32(7): 69-71, 201.
- [21] 李府谦, 李兰英, 王艾泉, 等. 贝类蒸煮肉壳分离组合技术研究[J]. 现代制造技术与装备, 2019(5): 99-100, 103.
LI F Q, LI L Y, WANG A Q, et al. Research on separation and combination technology of shellfish cooking meat shell[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2019(5): 99-100, 103.
- [22] 鲍振东. 基于力学蚬贝超高压脱壳机理的分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2015: 44-50.
BAO Z D. Analysis on the mechanism of ultra-high pressure shelling of clams based on mechanics [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2015: 44-50.
- [23] 申屠留芳. 一种智能化贝类蒸煮开壳设备: CN202111177238.8 [P]. 2021-12-31.
SHENTU L F. A kind of intelligent shellfish cooking equipment: CN202111177238.8[P]. 2021-12-31.
- [24] 刘文卿. 试验设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 48-60.
LIU W Q. Test design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 48-60.