

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.80007

鹰嘴豆低聚肽抗疲劳活性研究

Study on anti-fatigue activities of chick-pea oligopeptides

贾前生¹ 刘远洋² 李 丹²JIA Qian-sheng¹ LIU Yuan-yang² LI Dan²

(1. 黑龙江八一农垦大学体育教研部, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319)

(1. College of Physical Education and Research, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. College of Food, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:目的: 开发鹰嘴豆低聚肽抗疲劳产品。方法: 检测鹰嘴豆低聚肽灌胃小鼠的生理生化指标和体外抗氧化能力, 综合评价鹰嘴豆低聚肽抗疲劳能力。结果: 鹰嘴豆低聚肽的超氧阴离子自由基清除能力(IC₅₀为4.26 mg/mL)和还原力显著高于谷胱甘肽阳性对照组($P < 0.05$); 低、中、高剂量鹰嘴豆低聚肽均提高了小鼠肌糖原和肝糖原的含量, 降低了血清尿素氮、丙二醛和乳酸的浓度; 增加了小鼠过氧化氢酶、超氧化物歧化酶及谷胱甘肽过氧化物酶的酶活。结论: 鹰嘴豆低聚肽具有显著的抗疲劳作用。

关键词: 鹰嘴豆; 低聚肽; 抗氧化; 抗疲劳

Abstract: Objective: The purpose of this study was to explore the antioxidative activity in vitro experiments and the anti-fatigue activity of chickpea oligopeptides in mice. **Methods:** In this study, the antioxidant capacity of chickpea oligopeptide was detected by *in vitro* method, and the anti-fatigue capacity of chickpea oligopeptide was comprehensively evaluated by detecting physiological and biochemical indexes of mice. **Results:** The superoxide anion radical scavenging ability IC₅₀ of chickpea oligopeptide was 4.26 mg/mL, which was significantly higher than that of GSH positive control group ($P < 0.05$); The reducing power of chickpea oligopeptide was significantly higher than that of GSH positive control ($P < 0.05$). In addition, at low, medium and high doses, the fatigue tolerance, muscle glycogen and liver glycogen reserve capacity of mice were improved, and the concentration of serum urea nitrogen, malondialdehyde and lactic acid was

decreased ($P < 0.05$). It can significantly increase the activities of catalase, superoxide dismutase and glutathione peroxidase ($P < 0.05$). **Conclusion:** Chickpea oligopeptides have significant anti-fatigue effects.

Keywords: chick-pea; oligopeptide; antioxidant; anti-fatigue

鹰嘴豆多肽是一种具有抗氧化、降血脂、提高免疫力等多种生理功能的生物活性多肽^[1]。刘宇等^[2]研究发现鹰嘴豆多肽具有较强的抗氧化能力, 其超氧阴离子的清除率显著高于大豆蛋白水解物; Wen等^[3]研究发现分子质量在1 000 Da的鹰嘴豆多肽可以显著降低高脂模型大鼠血清中的甘油三酯及血清胆固醇的含量; 李睿珺等^[4]研究发现鹰嘴豆多肽可能通过影响 IL-17A、IL-2、IL-5、IL-9 等细胞因子的分泌而提高小鼠的免疫力。

运动疲劳是一种因运动所引起的机体工作能力短时间内下降、能量供应不足的生理现象, 代谢产物积累、氧化应激作用等都是运动中产生疲劳的重要因素^[5]。植物蛋白活性肽比蛋白质更易于吸收利用, 不仅能够给机体提供能量, 还可以通过清除机体内代谢产物和自由基等途径起到抗运动疲劳作用^[6-7]。鹰嘴豆中含有优质植物蛋白, 其消化吸收比率以及生物利用率远高于其他豆类^[8]。研究拟测定鹰嘴豆低聚肽的抗氧化活性, 并研究鹰嘴豆低聚肽对小鼠负重游泳时间以及小鼠游泳后肌糖原和肝糖原含量、血尿素氮、乳酸、丙二醛等有害物质水平、抗氧化酶活性等指标的影响, 以期开发鹰嘴豆低聚肽抗疲劳产品提供新思路。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

雄性昆明小鼠: SPF级, 体重18~22 g, 北京维通利华公司;

Alcalase 2.4 L 碱性蛋白酶(2.0×10^5 U/g)、Neutrase

基金项目: 黑龙江八一农垦大学校内培育课题项目(编号: ZDZX202104); 黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(编号: 201810223065)

作者简介: 贾前生, 男, 黑龙江八一农垦大学讲师, 硕士。

通信作者: 李丹(1980—), 女, 黑龙江八一农垦大学讲师, 博士。
E-mail: byndld@126.com

收稿日期: 2022-03-09

0.8 L 中性蛋白酶(1.5×10^4 U/g):诺维信生物技术有限公司;

西洋参粉:吉林集安市春及参茸有限公司;

2,2'-偶氮二异丁基苯二盐酸盐(AAPH)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):美国 Sigma 公司;

乳酸试剂盒、尿素氮试剂盒、肌糖原试剂盒、肝糖原试剂盒、过氧化氢酶(CAT)试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)试剂盒:南京建成生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

单列数显恒温水浴锅:HH-6D 型,上海左乐仪器有限公司;

电子天平:MF1035B 型,济南童鑫生物科技有限公司;

分光光度计:V-1600B 型,青岛明博环保科技有限公司;

高效液相色谱仪:CTO-20AC 型,日本岛津公司;

高速冷冻离心机:fresco17 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

琼脂糖凝胶电泳仪:Power Pac 型,美国 Bio-Rad 公司;

全波长酶标仪:Bio-Rad 680 型,美国 Bio-Rad 公司;

Milli-Q 超纯水仪:Direct-Q3 型,美国 Millipore 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鹰嘴豆低聚肽的制备 参照王雨晴等^[9]的方法并略作修改。将 400 g 鹰嘴豆蛋白加入 5 L 去离子水中,搅拌均匀。料液($m_{\text{酶}}:m_{\text{底物}}=1:100$)在 50 ℃、pH 8.0 条件下经碱性蛋白酶酶解 3 h 后,继续在 50 ℃ 条件下利用中性蛋白酶酶解 2 h($m_{\text{酶}}:m_{\text{底物}}=1:50$)。料液于 100 ℃ 水浴 10 min 灭酶,然后离心(3 000 r/min,15 min)取上清液。利用 1 000 Da 的超滤膜过滤上清液,得到相对分子质量低于 1 000 Da 的鹰嘴豆低聚肽溶液,溶液经浓缩、喷雾干燥后得到鹰嘴豆低聚肽粉末。

1.3.2 体外抗氧化活性的测定 参照 Wu 等^[10]与 Ahn 等^[11]的方法并略作修改。将等体积的待测液与 DPPH 溶液混合均匀,置于黑暗环境中 30 min,在 517 nm 处测定吸光度(A_1)。100 μ L 去离子水与 100 μ L DPPH 溶液的混合溶液作为对照组并测定吸光度(A_2),同体积的乙醇溶液与去离子水的混合溶液作为空白组并测定吸光度(A_0)。谷胱甘肽(GSH)作为阳性对照。按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$W_{\text{DPPH}} = \frac{A_2 - A_1}{A_2 - A_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W_{DPPH} ——DPPH 自由基清除率,%;

A_1 ——样品溶液在 517 nm 处的吸光度;

A_2 ——对照组溶液在 517 nm 处的吸光度;

A_0 ——空白组溶液在 517 nm 处的吸光度。

超氧阴离子自由基采用邻苯三酚自氧化法检测、羟自由基清除能力采用水杨酸法检测,还原力采用铁氰化钾法检测,计算各自的半抑制浓度(IC_{50}),进而表示鹰嘴豆低聚肽抗氧化功能。

1.3.3 动物试验条件及分组 将 60 只昆明种雄性小鼠随机分为 5 组即空白组,阳性对照组,鹰嘴豆低聚肽低、中、高剂量组,每组 12 只。经过 1 周明暗交替 12 h 的适应性饲养,自由采食饮水,室温为(22 ± 2) ℃,相对湿度为(45 ± 5)%。阳性对照组灌胃 0.6 mg/(g·d)西洋参,低、中、高剂量鹰嘴豆低聚肽组分别灌胃 0.5, 2.0, 3.5 mg/(g·d) 鹰嘴豆低聚肽,空白组连续 4 周灌胃等体积的蒸馏水。

1.3.4 力竭游泳试验 末次灌胃 30 min 后,将尾根部负重 5%体重的铅丝小鼠置于深 40 cm 水箱中,待其鼻孔完全浸入水中 7 s 后,记录不能浮出水面的时间。

1.3.5 乳酸、尿素氮、肝糖原的测定 负重游泳的小鼠吹干后休息 30 min,处死,取腿部腓肠肌和肝脏,生理盐水洗净,吸干,按照试剂盒检测方法检测小鼠肌糖原、肝糖原含量。

1.3.6 疲劳相关生化指标测定 末次灌胃 30 min 后,小鼠不负重在温水中游泳 60 min,吹干后休息 30 min,眼球取血,离心(3 000 r/min,10 min)制备清液,按照试剂盒说明书测定乳酸、尿素氮、CAT、SOD 和 GSH-Px 的活力。

1.4 数据统计分析

试验数据采用 SPSS 17.0 软件进行独立样本 t 检验。结果用平均值 $\pm$ 标准误差表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 鹰嘴豆低聚肽体外抗氧化活性

由表 1 可知,鹰嘴豆低聚肽 DPPH 自由基含量与阳性对照组无显著差异($P > 0.05$),表明鹰嘴豆低聚肽具有一定的 DPPH 自由基清除能力。鹰嘴豆低聚肽对羟自由基的 IC_{50} 值与阳性对照相比,二者无显著差异($P > 0.05$),表明鹰嘴豆低聚肽具有一定羟自由基清除能力。鹰嘴豆低聚肽对超氧阴离子自由基的 IC_{50} 值显著高于

表 1 鹰嘴豆低聚肽体外抗氧化活性[†]

Table 1 Antioxidant activity of chick-pea oligopeptides in vitro mg/mL

样品	IC_{50} 值			
	DPPH 自由基	羟自由基	超氧阴离子自由基	还原力
鹰嘴豆低聚肽	3.49 ± 0.34	6.07 ± 0.37	4.26 ± 0.78^a	7.98 ± 0.53^a
GSH	3.32 ± 0.28	6.12 ± 0.51	2.51 ± 0.43^b	1.58 ± 0.13^b

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

GSH 阳性对照组 ($P<0.05$), 表明鹰嘴豆低聚肽清除超氧阴离子自由基能力较弱。鹰嘴豆低聚肽的还原力显著高于 GSH 阳性对照组 ($P<0.05$)。

2.2 鹰嘴豆低聚肽对小鼠体重的影响

由表 2 可知: 在饲养的第 7、14、21、28 天, 鹰嘴豆低聚

肽低、中、高剂量组的小鼠体重与空白组、阳性对照组的均无显著差异 ($P>0.05$)。在饲养期间, 小鼠体重未发生过快或过慢的增长, 随着饲喂时间的延长, 小鼠体重随之增加, 各组小鼠精神状态良好、行为特征未发现异常, 表明鹰嘴豆低聚肽对小鼠正常生长无影响。

表 2 鹰嘴豆低聚肽对小鼠体重的影响

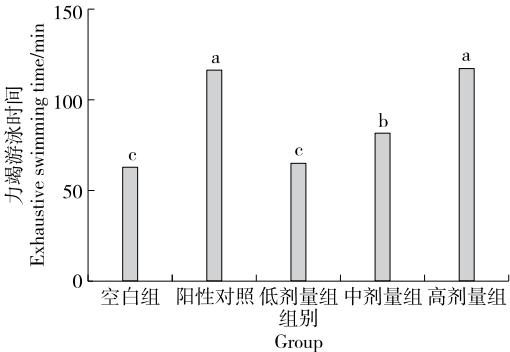
Table 2 Effects of chick-pea oligopeptides on the body weight of mice g					
组别	第 0 天	第 7 天	第 14 天	第 21 天	第 28 天
空白组	21.52±0.84	28.43±1.25	35.81±1.11	42.31±1.24	44.81±1.55
阳性对照组	21.74±0.57	28.67±0.87	35.57±1.48	42.14±1.32	44.67±1.23
低剂量组	21.51±0.89	28.68±0.99	34.65±1.78	41.56±1.56	44.53±1.66
中剂量组	21.76±0.99	27.96±1.35	34.84±0.99	41.24±1.02	43.42±1.32
高剂量组	21.21±0.48	28.42±0.39	35.39±1.42	41.33±0.89	44.99±0.99

2.3 鹰嘴豆低聚肽对小鼠力竭游泳时间的影响

由图 1 可知, 与空白组相比, 中、高剂量组的鹰嘴豆低聚肽均显著增加了小鼠负重力竭游泳时间 ($P<0.05$)。高剂量组小鼠的力竭游泳时间与阳性对照组无显著差异 ($P>0.05$)。Kovacs-Nolan 等^[12]研究发现大豆肽不仅可以降低肌肉衰减率, 还可以提高肌肉运动能力。由此可知, 中、高剂量的鹰嘴豆低聚肽可以提高小鼠的运动耐力, 一定程度上缓解体力疲劳。

2.4 鹰嘴豆低聚肽对小鼠肌糖原和肝糖原含量的影响

人体进行亚强度有氧运动时, 肌糖原作为主要供能物质, 其含量与持续亚强度运动时间呈正相关, 同时, 肝糖原补充供能, 维持血糖稳态。因此, 糖原消耗量与疲劳程度紧密关联^[13]。由表 3 可知, 低、中、高剂量组小鼠的肌糖原和肝糖原含量均高于空白组 ($P<0.05$), 但低于阳性对照组, 与刘娜等^[14]、张铁华等^[15]研究结果一致。因此, 鹰嘴豆低聚肽可以通过提高肌糖原和肝糖原含量为机体提供能量, 从而使血糖稳定在正常水平。



小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

图 1 鹰嘴豆低聚肽对小鼠负重力竭游泳时间的影响

Figure 1 Effects of chick-pea oligopeptides on the time of exhaustive swimming in mice

2.5 鹰嘴豆低聚肽对小鼠体内有害物质浓度的影响

丙二醛是机体内氧自由基的重要代谢物, 反映机体潜在的抗氧化能力、脂质氧化的速率以及组织过氧化损伤的程度^[16]。运动缺氧导致心肌组织中产生大量自由基。自由基作用于细胞膜上的不饱和脂肪酸, 使膜脂发生过氧化作用, 导致心肌细胞损伤, 形成脂质过氧化, 因此, 在疲劳状态下, 丙二醛浓度升高^[17]。由表 4 可知, 相比于空白组, 鹰嘴豆低聚肽低、中、高剂量组的丙二醛浓度显著降低 ($P<0.05$), 且呈剂量依赖性, 表明鹰嘴豆低

表 3 鹰嘴豆低聚肽对小鼠肌糖原和肝糖原的影响[†]

Table 3 Effects of chick-pea oligopeptides on muscle glycogen and liver glycogen in mice mg/g		
组别	肌糖原含量	肝糖原含量
空白组	0.88±0.08 ^e	2.37±0.28 ^e
阳性对照组	1.65±0.11 ^a	7.87±0.35 ^a
低剂量组	1.08±0.06 ^d	3.83±0.58 ^d
中剂量组	1.31±0.09 ^c	5.62±0.76 ^c
高剂量组	1.40±0.03 ^b	7.28±0.31 ^b

[†] 同列小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 4 鹰嘴豆低聚肽对小鼠体内有害物质的影响[†]

Table 4 Effects of chick-pea oligopeptides on harmful substances in mice mmol/L			
组别	乳酸浓度	血尿素氮浓度	丙二醛浓度
空白组	15.21±1.54 ^a	6.57±0.54 ^a	8.88±0.53 ^a
阳性对照组	10.42±1.02 ^c	4.55±0.21 ^c	4.99±0.89 ^c
低剂量组	14.69±0.38 ^a	5.38±0.56 ^b	7.67±0.59 ^b
中剂量组	13.24±0.77 ^b	4.76±0.21 ^c	6.76±0.87 ^c
高剂量组	10.37±0.85 ^c	3.91±0.33 ^d	5.24±0.41 ^d

[†] 同列小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

聚肽能够通过抑制体内脂质过氧化来发挥抗疲劳作用。

血液中的乳酸是机体发生糖代谢的必然产物。血乳酸的升高会导致肌肉组织和血液的 pH 值下降,引发对人体功能有害的生化 and 生理过程^[18]。由表 4 可知,相比于空白组,中剂量组和高剂量组小鼠的血乳酸浓度均显著降低($P<0.05$)。由此可知,中、高剂量的鹰嘴豆低聚肽能够通过降低小鼠体内乳酸的堆积来缓解机体疲劳。

当机体内糖含量无法满足运动供能的需求时,机体内的蛋白质就会参与供能反应^[18],经肝脏代谢后产生尿素氮,其含量与运动疲劳程度呈正相关^[19]。因此,尿素氮可以有效衡量机体疲劳程度。由表 4 可知,相比于空白组,低、中和高剂量组小鼠的血尿素氮浓度均显著降低($P<0.05$)。高剂量组小鼠的血尿素氮浓度显著低于阳性对照组的($P<0.05$)。综上,鹰嘴豆低聚肽能够降低小鼠体内代谢废物的堆积从而缓解机体疲劳。

2.6 鹰嘴豆低聚肽对抗氧化酶活力的影响

CAT 可将机体中过量的 H_2O_2 催化分解,以此保护细胞膜结构和功能完整,因此 CAT 常用来评价机体抗氧化能力。由图 2 可知,相比于空白组,鹰嘴豆低聚肽低、中、高剂量组的 CAT 活力分别提高了 4.80%, 22.65%, 45.53%。高剂量组 CAT 酶活与阳性对照组的无显著差异($P>0.05$)。

SOD 是一种能够清除代谢过程中有害物质的活性蛋白酶,其含量可以直接反映机体的疲劳程度^[16]。由图 2 可知,相比于空白组,鹰嘴豆低聚肽低、中、高剂量组的 SOD 活力分别提高了 2.07%, 14.77%, 19.22%, 中、高剂量组小鼠肝脏 SOD 活力显著增高($P<0.05$)。中剂量组 SOD 酶活与阳性对照组的无显著性差异($P>0.05$)。

GSH-Px 是人体最重要的过氧化物酶之一,可将体内 H_2O_2 还原为无毒的羟基化合物,维持细胞膜结构与功能^[20]。运动使身体产生强烈的脂质氧化和葡萄糖代谢等氧化反应^[21-22]。由图 2 可知,相比于空白组,鹰嘴豆低聚肽低、中、高剂量组的 GSH-Px 活力分别提高了 4.60%,

14.44%, 24.84%, 中、高剂量组小鼠肝脏 GSH-Px 活力显著增高($P<0.05$)。高剂量组 GSH-Px 酶活与阳性对照组的无显著差异($P>0.05$)。研究结果表明,鹰嘴豆低聚肽可以提高机体抗氧化酶的活性,清除因运动而产生的自由基,进而缓解疲劳。

3 结论

利用双酶水解法制备鹰嘴豆低聚肽,测定其抗氧化活性及反映疲劳程度的生化指标。结果表明,鹰嘴豆低聚肽 DPPH 自由基清除能力、超氧阴离子自由基清除能力以及还原力均高于谷胱甘肽(阳性对照);羟自由基清除能力与谷胱甘肽(阳性对照)接近。此外,与空白组相比,不同剂量的鹰嘴豆低聚肽均提升了小鼠负重耐力游泳时间、小鼠的肌糖原、肝糖原含量以及小鼠肝脏 SOD 活力;并且丙二醛含量、血乳酸浓度、血尿素氮浓度均降低,鹰嘴豆低聚肽提高了抗氧化酶的活力。因此,鹰嘴豆低聚肽具有显著的抗疲劳作用。但鹰嘴豆低聚肽属混合肽,其肽段组成以及起到抗疲劳作用的肽结构尚不明确,下一步拟开展鹰嘴豆低聚肽分离纯化研究,明确具有抗疲劳作用的肽段组成,探讨其抗疲劳机理。

参考文献

- [1] 张涛, 江波, 王璋, 等. 鹰嘴豆的营养价值及其应用[J]. 粮食与油脂, 2004(7): 18-20.
- [2] ZHANG Tao, JIANG Bo, WANG Zhang, et al. Nutritional value and application of chickpea[J]. Cereals and Oils, 2004(7): 18-20.
- [3] 刘宇, 刘春泉, 庄世文, 等. 鹰嘴豆肽清除自由基作用的研究[J]. 食品科技, 2009(3): 173-176.
- [4] LIU Yu, LIU Chun-quan, ZHUANG Shi-wen, et al. Study on radical-scavenging effect of chickpea polypeptide[J]. Food Science and Technology, 2009(3): 173-176.
- [5] WEN S, TAO H, DGA B, et al. Evaluation of hypolipidemic peptide (Val-Phe-Val-Arg-Asn) virtual screened from chickpea peptides by pharmacophore model in high-fat diet-induced obese rat[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 54: 136-145.
- [6] 李睿珺, 秦勇, 周雅琳, 等. 鹰嘴豆肽对免疫低下小鼠免疫功能的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 133-139.
- [7] LI Rui-jun, QIN Yong, ZHOU Ya-lin, et al. Effect of chickpea peptide on immune function of immunocompromised mice[J]. Food Science, 2020, 41(21): 133-139.
- [8] 姚梦, 王晓蕾, 申其洪, 等. 运动性心理疲劳影响因素的研究进展与展望[J]. 体育时空, 2015(12): 161.
- [9] YAO Meng, WANG Xiao-lei, SHEN Qi-qi, et al. Research progress and prospect of influencing factors of sports psychological fatigue[J]. Sports Time and Space, 2015(12): 161.
- [10] NIEHUES M, EULER M, GEORGI G, et al. Peptides from *Pisum sativum* L. enzymatic protein digest with anti-adhesive activity against *Helicobacter pylori*: Structure-activity and inhibitory activity

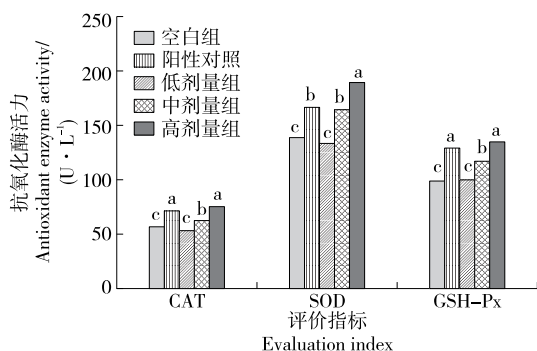


图 2 鹰嘴豆低聚肽对小鼠抗氧化能力的影响

Figure 2 Effects of chick-pea oligopeptides on antioxidant capacity in mice

- against BabA, SabA, HpaA and a fibronectin-binding adhesin[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2010, 54(12): 1 851-1 861.
- [7] NDIAYE F, VUONG T, DUARTE J, et al. Anti-oxidant, anti-inflammatory and immunomodulating properties of an enzymatic protein hydrolysate from yellow field pea seeds[J]. *European Journal of Nutrition*, 2012, 51(1): 29-37.
- [8] 闫萍. 大豆小分子多肽的抗疲劳作用及其机制研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2008: 4-7.
- YAN Ping. Study on anti fatigue effect and mechanism of soybean small molecular peptides[D]. Jilin: Jilin University, 2008: 4-7.
- [9] 王雨晴, 毕园, 张瑞雪, 等. 豌豆低聚肽中具有发挥功能活性潜力的结构研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(17): 54-59.
- WANG Yu-qing, BI Yuan, ZHANG Rui-xue, et al. Study on the structure of pea oligopeptides with potential function and activity[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(17): 54-59.
- [10] WU R B, WU C L, LIU D, et al. Antioxidant and anti-freezing peptides from salmon collagen hydrolysate prepared by bacterial extracellular protease[J]. *Food Chemistry*, 2018, 248: 346-352.
- [11] AHN C B, KIM J G, JE J Y. Purification and antioxidant properties of octapeptide from salmon byproduct protein hydrolysate by gastrointestinal digestion[J]. *Food Chemistry*, 2014, 147: 78-83.
- [12] KOVACS-NOLAN J, ZHANG H, IBUKI M, et al. The Pep T1-transportable soy tripeptide VPY reduces intestinal inflammation[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2012, 1 820(11): 1 753-1 763.
- [13] WEI L, WEN Y T, LEE M C, et al. Effects of isolated soy protein and strength exercise training on exercise performance and biochemical profile in postpartum mice[J]. *Metabolism*, 2019(94): 18-27.
- [14] 刘娜, 李湘浓, 吴翱, 等. 大豆寡肽抗疲劳作用的实验研究[J]. *中国实验诊断学*, 2010, 14(2): 201-203.
- LIU Na, LI Xiang-nong, WU Ao, et al. Experimental study on anti fatigue effect of soybean oligopeptides[J]. *Chinese Journal of Experimental Diagnostics*, 2010, 14(2): 201-203.
- [15] 张铁华, 殷涌光, 刘静波, 等. 高 F 值寡肽抗疲劳作用的研究及其饮料的开发[J]. *食品科学*, 2007(5): 308-312.
- ZHANG Tie-hua, YIN Yong-guang, LIU Jing-bo, et al. Study on anti fatigue effect of high f-value oligopeptide and development of its beverage[J]. *Food Science*, 2007(5): 308-312.
- [16] HSU W H, QIU W L, TSAO S M, et al. Effects of WSG, a polysaccharide from *Ganoderma lucidum*, on suppressing cell growth and mobility of lung cancer[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020(165): 1 604-1 613.
- [17] YANG Q Y, LAI X D, OUYANG J, et al. Effects of Ginsenoside Rg3 on fatigue resistance and SIRT1 in aged rats[J]. *Toxicology*, 2018(409): 144-151.
- [18] SURHIO M M, WANG Y, FANG S, et al. Anti-fatigue activity of a Lachnum polysaccharide and its carboxymethylated derivative in mice[J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2017, 27(20): 4 777-4 780.
- [19] YEH T S, HUANG C C, CHUANG H L, et al. Angelica sinensis improves exercise performance and protects against physical fatigue in trained mice[J]. *Molecules*, 2014, 19(4): 3 926-3 939.
- [20] XI X, GUO S, GUO H, et al. Anti-exercise-fatigue and promotion of sexual interest activity of total flavonoids from wasps drone-pupae in male mice[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018(107): 254-261.
- [21] CHI A, LI H, KANG C, et al. Anti-fatigue activity of a novel polysaccharide conjugates from Ziyang green tea[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015(80): 566-572.
- [22] LUO C, XU X, WEI X, et al. Natural medicines for the treatment of fatigue: Bioactive components, pharmacology, and mechanisms[J]. *Pharmacological Research*, 2019(148): 104 409.
-
- (上接第 76 页)
- [14] 蔡文婷, 许鑫鑫, 杜克斯, 等. MIL-88B(Fe)固定辣根过氧化物酶去除双酚 A[J]. *环境工程学报*, 2021, 15(7): 2 295-2 304.
- CAI Wen-ting, XU Jia-xin, DU Ke-si, et al. Degradation of bisphenol A using horseradish peroxidase immobilized on MIL-88B(Fe)[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2021, 15(7): 2 295-2 304.
- [15] ZHANG Wu-yuan, BUREK B O, FERNANDEZ-FUEYO E, et al. Selective activation of C—H bonds in a cascade process combining photochemistry and biocatalysis[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2017, 56: 15451.
- [16] ZHANG Wu-yuan, FERNANDEZ-FUEYO E, NI Yan, et al. Selective aerobic oxidation reactions using a combination of photocatalytic water oxidation and enzymatic oxyfunctionalizations [J]. *Nature Catal*, 2018, 1: 55-62.
- [17] SCHIE M V, ZHANG Wu-yuan, TIEVES F, et al. Cascading $\text{g-C}_3\text{N}_4$ and peroxxygenases for selective oxyfunctionalization reactions[J]. *ACS Catal*, 2019, 9(8): 7 409-7 417.
- [18] CHURAKOVA E, KLUGE M, ULLRICH R, et al. Specific photocatalytic oxyfunctionalization reactions[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2011, 50: 10 716-10 719.
- [19] BO Yuan, DURGA M, QIANG Fei, et al. Water-soluble anthraquinone photocatalysts enable methanol-driven enzymatic halogenation and hydroxylation reactions[J]. *ACS Catal*, 2020, 10(15): 8 277-8 284.
- [20] KIM J, NGUYEN T V T, KIM Y H, et al. Lignin as a multifunctional photocatalyst for solar-powered biocatalytic oxyfunctionalization of C—H bonds[J]. *Nature Synth*, 2022, 1: 217-226.
- [21] 陈瑞瑞. H_2O_2 电合成与难降解废水电芬顿预处理研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020: 19-20.
- CHEN Rui-rui. H_2O_2 electro-synthesis and pre-treatment of refractory wastewater by electro-fenton[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020: 19-20.