

脱毒菜籽多肽对小鼠免疫功能的影响

黄姍芬, 李云亮, 杨雪, 王禹程, 马海乐* (江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要 [目的]研究脱毒菜籽多肽对小鼠免疫功能的影响。[方法]试验组以低、中、高剂量组0.334、0.667和2.000 g/(kg·d)的脱毒菜籽多肽灌胃小鼠,对照组以等体积纯净水灌胃,30 d后进行二硝基氟苯诱导小鼠迟发性变态反应试验、ConA 诱导小鼠脾淋巴细胞转化试验、抗体生成细胞检测和血清溶血素测定试验、小鼠碳廓清试验、小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞试验、NK 细胞活性测定试验、试验前后小鼠体重以及脏器/体重比值试验。[结果]脱毒菜籽多肽对小鼠的耳廓肿胀、脾淋巴细胞转化、吞噬指数a和NK 细胞活性均有显著影响,但对小鼠体重增长、胸腺/体重比值、脾脏/体重比值、脾抗体生成细胞量、血清溶血素水平和腹腔巨噬细胞吞噬能力均无影响。[结论]脱毒菜籽多肽具有增强免疫力的功能。

关键词 脱毒菜籽;多肽;鼠;免疫功能;影响

中图分类号 S565.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)31-0126-03

Effect of Detoxified Rapeseed Peptides on Mouse Immune Function

HUANG Shan-fen, LI Yun-liang, YANG Xue, MA Hai-le* et al (School of Food and Biology Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013)

Abstract [Objective] The research aimed to study the effect of detoxified rapeseed peptides on immune function. [Method] Low-, medium- and high-dosage group were fed with 0.334, 0.667 and 2.000 g/(kg·d) detoxified rapeseed peptides, respectively, equal volume of pure water as control group. 30 days later, the following experiments were conducted: DNFB induced mouse delayed type hypersensitivity, mouse spleen lymphocyte transformation capacity induced by ConA, antibody forming spleen cells, serum hemolysin, mouse carbon clearance ability, mouse peritoneal macrophage phagocytosis of chicken erythrocytes, NK cell activity, initial and terminal body weight of mice, viscera/body weight ratio. [Result] The detoxified rapeseed peptides on mouse carbon clearance ability, spleen lymphocyte transformation capacity, phagocytic index a and NK cell activity had significant impact. However rapeseed peptides had no significant effect on mouse weight gain, the thymus/body weight ratio, spleen/body weight ratio, cells production of spleen antibody, serum hemolysin level and function of peritoneal macrophage phagocytosis of chicken erythrocytes. [Conclusion] The detoxified rapeseed peptides have effect on enhancing immunity.

Key words Detoxified rapeseed; Peptides; Mouse; Immune function; Effect

我国的油菜籽资源丰富,产量位居世界第一,油菜籽年产量高达1 300万t以上。菜籽粕是油菜籽经榨油后剩下的副产物,菜籽粕中蛋白含量高达35%~45%^[1],氨基酸含量丰富且组成较均衡,营养价值较高,但菜籽粕中含有大量的硫苷、芥酸等有毒有害物质,极大地限制其利用程度。目前大多先对菜籽粕进行脱毒处理^[2],经脱毒后的菜籽粕,无论是生物效价还是利用率均很高,是一种非常优质的植物蛋白资源。近年来,为促进脱毒菜籽蛋白高值化利用,采用酶解法制备菜籽功能性多肽已成为研究热点问题之一^[3-6]。大量研究表明,菜籽多肽具有降血压^[7-11]、抗氧化^[12-16]、抗肿瘤^[17-18]、提高免疫力^[19]等功效。

免疫力是人体的防御机制,是人体抵抗外来疾病的关卡。人体通过免疫系统识别自身和异己物质,并破坏和排斥异己的物质,以维持健康。人体免疫力低下,容易感染细菌、病毒和真菌,导致患病。免疫力低下的症状通常不易被人们察觉,但它却会严重威胁人体健康。目前对于菜籽多肽增强免疫功能的研究较少^[20],且大多数文献关于菜籽多肽对免疫功能影响的研究不透彻^[18,21]。笔者以脱毒菜籽多肽灌胃小鼠,研究试验前后动物体重、脏器/体重比值、细胞免疫功能、体液免疫功能、非特异性免疫,探索菜籽多肽对小鼠免疫功能的影响,为菜籽多肽高值化应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验样品与试剂。脱毒菜籽多肽购自江苏天琦生物科技有限公司,多肽含量≥85%。小牛血清、刀豆蛋白A(ConA)、四氮唑蓝(MTT)、2-巯基乙醇(2-ME)、2,4-二硝基氟苯(DNFB)均购自Sigma试剂公司。绵羊红细胞(SR-BC)购自北京百奥莱博科技有限公司。RPMI1640细胞培养基购自上海浩然生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备。MSS全波长酶标仪,美国热电·芬兰雷勃(Thermo LabSystems Co);SPX-250B生化培养箱,常州国华电器有限公司。

1.1.3 试验动物及设施。选用上海斯莱克实验动物有限公司提供的18.0~22.0g健康雌性清洁级ICR小鼠[动物生产许可证号:SCXK(沪)2012-0002号]。全部动物均给予灭菌鼠饲料和灭菌水自由取用。

1.2 试验方法

1.2.1 受试物和脱毒菜籽多肽剂量设计。

1.2.1.1 动物分组试验。分批按体重随机分为4组试验:①二硝基氟苯诱导小鼠迟发性变态反应试验;②抗体生成细胞检测和血清溶血素测定试验;③小鼠碳廓清试验;④小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞试验。

1.2.1.2 剂量设计。成人(按60kg体重计)每日推荐摄入量为4g,相当于0.0667g/(kg·d)。试验按低、中、高设置0.334、0.667和2.000g/(kg·d)3个剂量组,分别相当于人体推荐量的5、10和30倍。溶剂对照组以等体积纯净水灌胃。

1.2.1.3 受试物的前处理。称取样品3.34、6.67和

基金项目 国家863计划项目(2013AA102203);江苏大学高级人才科研启动基金项目(16JDG049)。

作者简介 黄姍芬(1992-),女,湖南郴州人,研究方向:多肽提取及功能评价。*通讯作者,教授,博士,博士生导师,从事功能食品、食品物理加工方法及装备的开发研究。

收稿日期 2016-08-31

20.00 g,分别加纯净水至 200 mL 配制成各组受试液(存放于 4 °C 冰箱,每 2 d 配制 1 次)。各组小鼠以 0.02 g/(kg·d) 的灌胃容积,连续经口灌胃 30 d 后测其各项免疫指标。

1.2.2 体重及脏器指数试验。

1.2.2.1 体重测定。称量受试物经灌胃脱毒菜籽多肽前后的体重。

1.2.2.2 脏器指数。参照白玉^[22]的方法检测受试物的脏器/体重比值(胸腺指数和脾指数)。

1.2.3 细胞免疫功能试验。

1.2.3.1 二硝基氟苯诱导小鼠迟发性变态反应。参照葛飞等^[23]的方法略有改动。采用 1% DNFB 丙酮麻油溶液涂抹受试物耳廓,使其致敏。

1.2.3.2 ConA 诱导的小鼠脾淋巴细胞转化试验。采用 MTT 测定法^[22],略有改动。用于显色测定受试物脾淋巴细胞的增殖数量。

1.2.4 体液免疫功能试验。

1.2.4.1 抗体生成细胞检测。采用 Jerne 改良载片测定法^[24]。通过对小鼠腹腔注射 SRBC,刺激其脾细胞产生 SRBC 抗体,将该脾细胞与 SRBC 进行溶血空斑试验,并计算溶血空斑数。

1.2.4.2 血清溶血素测定。采用半数溶血值(HC_{50})测定法^[23],略有改动,其中以 SA 缓冲液代替血清设为对照。通过对小鼠腹腔注射 SRBC,使其血清产生 SRBC 抗体,其血清

与 SRBC 发生溶血反应,并释放血红蛋白,检测其半数溶血时的光密度值。

1.2.5 非特异性免疫功能试验。

1.2.5.1 小鼠碳廓清试验。参照白玉^[22]的方法略有改动,其中印度墨汁:生理盐水调整为 1:7(V/V)。在一定浓度范围内,体内碳颗粒被清除的速率与血碳浓度呈指数函数关系。从小鼠尾静脉注射墨汁,2 和 10 min 后分别测其血液的光密度值。

1.2.5.2 小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞试验。采用滴片法^[24]。通过对小鼠腹腔注射 SRBC,激活巨噬细胞,取出该细胞后与鸡红细胞反应,经染色后用显微镜观察平均每个巨噬细胞吞噬鸡红细胞的个数。

1.2.5.3 NK 细胞活性测定。参照白玉^[22]的方法略有改动。其中靶细胞最大释放孔加 2.5% Triton。通过脾细胞悬液与靶细胞反应,释放乳酸脱氢酶,发生显色反应,检测其光密度值。

1.3 数据统计 试验数据以 $\bar{x} \pm S$ 表示,并通过 SPSS 软件对试验数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 脱毒菜籽多肽对小鼠体重的影响(表 1) 5 组免疫试验结束后,各剂量组小鼠体重均有所增长,但小鼠体重的增长均与溶剂对照组相比无显著差异($P > 0.05$),表明低、中、高剂量脱毒菜籽多肽对小鼠体重的增长无明显作用。

表 1 脱毒菜籽多肽对每组免疫试验前后小鼠体重的影响

Table 1 Effect of detoxified rapeseed peptides on body weight of mouse in each group immune test

组别 Group	淋转 NK 组 Lymph node NK group		迟发变态反应 Delayed hypersensitivity		PFC/ HC_{50} 组 PFC/ HC_{50} group		巨噬细胞组 Macrophage group		碳廓清组 Carbon clearance group	
	前 Before	后 After	前 Before	后 After	前 Before	后 After	前 Before	后 After	前 Before	后 After
	对照组 CK	20.2 ± 1.3	31.0 ± 1.5	19.2 ± 1.2	32.3 ± 1.2	20.3 ± 1.0	32.1 ± 1.8	20.3 ± 1.2	31.3 ± 1.5	20.6 ± 0.8
低剂量组 Low dose group	19.9 ± 1.3	31.3 ± 1.3	20.3 ± 1.6	32.9 ± 3.3	20.0 ± 1.0	31.8 ± 1.7	19.9 ± 1.1	31.4 ± 1.5	19.8 ± 1.0	30.4 ± 1.7
中剂量组 Medium dose group	20.5 ± 1.3	31.2 ± 1.6	19.7 ± 1.4	33.0 ± 1.1	19.7 ± 1.3	31.6 ± 1.4	20.7 ± 1.1	31.1 ± 1.3	20.0 ± 1.3	30.6 ± 1.4
高剂量组 High dose group	19.8 ± 1.2	31.6 ± 1.4	19.5 ± 1.0	33.6 ± 2.3	20.0 ± 1.3	31.5 ± 1.8	19.7 ± 1.5	31.6 ± 1.2	19.3 ± 1.1	30.5 ± 1.9

2.2 脱毒菜籽多肽对小鼠脏器/体重比值的影响(表 2) 各剂量组小鼠与溶剂对照组相比无显著差异($P > 0.05$),表明低、中、高剂量脱毒菜籽多肽对小鼠的机体免疫器官的增重无明显作用。

2.3 脱毒菜籽多肽对小鼠耳廓迟发性变态反应的影响 迟发型超敏反应是以单个核细胞浸润和组织细胞损伤为主要特征的细胞免疫反应^[25]。由表 3 可见,各剂量组小鼠耳廓肿胀程度均高于溶剂对照组,且低、中、高剂量组小鼠耳廓肿胀程度与溶剂对照组相比均有显著差异($P < 0.01$, $P < 0.05$),表明低、中、高剂量脱毒菜籽多肽对小鼠细胞免疫具有增强作用。

2.4 脱毒菜籽多肽对小鼠脾淋巴细胞增殖能力的影响 从表 4 可看出,各剂量组光密度差值均高于溶剂对照组,仅低剂量组小鼠光密度差值与溶剂对照组相比有显著差异($P <$

0.01),表明低剂量脱毒菜籽多肽对小鼠脾淋巴细胞具有增殖作用。

表 2 脱毒菜籽多肽对小鼠脏器/体重比值的影响

Table 2 Effect of detoxified rapeseed peptides on viscera/body weight ratio of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals//只	脾脏/体重比值 Spleen/body weight ratio	胸腺/体重比值 Thymus/body weight ratio
对照组 CK	10	40.86 ± 7.99	21.47 ± 6.84
低剂量组 Low dose group	10	39.28 ± 5.19	20.15 ± 2.95
中剂量组 Medium dose group	10	41.35 ± 8.42	20.65 ± 2.99
高剂量组 High dose group	10	39.08 ± 6.41	22.93 ± 4.57

表3 脱毒菜籽多肽对小鼠耳廓迟发性变态反应的影响

Table 3 Effect of detoxified rapeseed peptides on pinna delayed hypersensitivity of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals//只	肿胀度 Swelling degree mg
对照组 CK	10	14.84 ± 5.88
低剂量组 Low dose group	10	23.41 ± 4.98**
中剂量组 Medium dose group	10	19.57 ± 3.63*
高剂量组 High dose group	10	19.68 ± 5.61*

注: *、** 分别表示与对照组相比差异显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。

Note: *, ** showed significant differences ($P < 0.05$) and extremely significant differences ($P < 0.01$) compared with control group, respectively.

表4 脱毒菜籽多肽对小鼠脾淋巴细胞增殖能力的影响

Table 4 Effect of detoxified rapeseed peptides on spleen lymphocyte blastogenesis of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals 只	光密度值 Optical density value		光密度差 Optical density difference
		- ConA	+ ConA	
对照组 CK	10	0.177 ± 0.027	0.457 ± 0.116	0.280 ± 0.107
低剂量组 Low dose group	10	0.202 ± 0.022	0.630 ± 0.109	0.428 ± 0.100**
中剂量组 Medium dose group	10	0.187 ± 0.026	0.532 ± 0.091	0.345 ± 0.086
高剂量组 High dose group	10	0.196 ± 0.020	0.545 ± 0.119	0.349 ± 0.109

注: ** 表示与对照组相比差异极显著($P < 0.01$)。

Note: ** showed extremely significant differences ($P < 0.01$) compared with control group.

2.5 脱毒菜籽多肽对小鼠脾抗体生成细胞量的影响 成熟的B细胞定居于脾脏, B细胞在抗原刺激下分化为浆细胞, 浆细胞合成和分泌抗体, 主要执行机体的体液免疫。由表5可见, 各剂量组小鼠的溶血空斑数均高于溶剂对照组, 但与对照组相比均无显著差异($P > 0.05$), 表明脱毒菜籽多肽对小鼠的体液免疫(抗原直接作用B细胞产生抗体)无促进作用。

表5 脱毒菜籽多肽对小鼠脾抗体生成细胞量的影响

Table 5 Effect of detoxified rapeseed peptides on cells production of antibody of mouse spleen

组别 Group	动物数 Number of animals//只	空斑数// × 10 ⁶ 脾细胞 Plaque number// × 10 ⁶ Spleen cells
对照组 CK	10	423.9 ± 97.8
低剂量组 Low dose group	10	498.7 ± 152.3
中剂量组 Medium dose group	10	476.3 ± 157.4
高剂量组 High dose group	10	496.9 ± 131.2

2.6 脱毒菜籽多肽对小鼠血清溶血素水平的影响 SRBC刺激T细胞的活化增殖, 在T细胞的辅助下, B细胞活化分泌抗体^[26]。从表6可看出, 各剂量组小鼠血清半数溶血值(HC_{50})与溶剂对照组相比, 均无显著差异($P > 0.05$)。表明脱毒菜籽多肽对小鼠的体液免疫(抗原作用T细胞, 刺激B细胞间接产生抗体)无促进作用。

表6 脱毒菜籽多肽对小鼠血清溶血素水平的影响

Table 6 Effect of detoxified rapeseed peptides on serum hemolysin level of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals//只	HC_{50}
对照组 CK	10	165.63 ± 6.06
低剂量组 Low dose group	10	167.91 ± 1.89
中剂量组 Medium dose group	10	168.02 ± 1.26
高剂量组 High dose group	10	166.96 ± 2.09

2.7 脱毒菜籽多肽对小鼠碳廓清的影响 表7显示, 各剂量组小鼠吞噬指数a均高于溶剂对照组, 低、中剂量组小鼠的吞噬指数a与溶剂对照组相比有显著差异($P < 0.01$, $P < 0.05$)。表明低、中剂量脱毒菜籽多肽对血液中的非特异性免疫具有促进作用。

表7 脱毒菜籽多肽对小鼠碳廓清的影响

Table 7 Effect of detoxified rapeseed peptides on carbon clearance of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals//只	吞噬速率(K值) Phagocytic rate	吞噬指数a Phagocytic index a
对照组 CK	10	0.037 6 ± 0.012 4	5.983 ± 0.612
低剂量组 Low dose group	10	0.048 5 ± 0.010 4	6.830 ± 0.620**
中剂量组 Medium dose group	10	0.033 1 ± 0.006 5	6.567 ± 0.514*
高剂量组 High dose group	10	0.045 4 ± 0.007 9	6.326 ± 0.527

注: *、** 分别表示与对照组相比差异显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。

Note: *, ** showed significant differences ($P < 0.05$) and extremely significant differences ($P < 0.01$) compared with control group, respectively.

2.8 脱毒菜籽多肽对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬能力的影响 从表8可以看出, 各剂量组小鼠的腹腔巨噬细胞吞噬率及吞噬指数均高于溶剂对照组, 但与溶剂对照组相比均无显著差异($P > 0.05$)。表明脱毒菜籽多肽对组织液中的非特异性免疫无明显促进作用。

表8 脱毒菜籽多肽对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬能力的影响

Table 8 Effect of detoxified rapeseed peptides on the function peritoneal macrophage phagocytosis of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals//只	吞噬率 Phagocytic rate//%	吞噬指数 Phagocytic index
对照组 CK	10	14.0 ± 3.0	0.184 ± 0.032
低剂量组 Low dose group	10	14.5 ± 2.7	0.185 ± 0.040
中剂量组 Medium dose group	10	15.4 ± 2.7	0.207 ± 0.044
高剂量组 High dose group	10	15.8 ± 2.4	0.204 ± 0.044

2.9 脱毒菜籽多肽对小鼠NK细胞活性的影响 从表9可看出, 低剂量组小鼠NK细胞活性最高, 且与溶剂对照组有显著差异($P < 0.05$), 表明低剂量脱毒菜籽多肽对NK细胞

(下转第142页)

(2)通过极差分析和方差分析可知,复合肥450 kg/hm²,腐殖酸600 kg/hm²,磷石膏22 500 kg/hm²,牛粪7 500 kg/hm²为试验的最优组合,籽棉可达最高产量,同时该组合果枝台数、单株成铃数均为最高。

参考文献

- [1] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [2] 刘阳春,何文寿,何进智,等.盐碱地改良利用研究进展[J].农业科学研究,2007,28(2):68-71.
- [3] 杨劲松.中国盐渍土研究的发展历程与展望[J].土壤学报,2008,45(5):837-845.
- [4] 刘雅稚,王秀萍,李强,等.淤泥质滨海重盐土低成本快速脱盐技术研究[J].水土保持研究,2015,22(1):168-171.
- [5] 王晓洋,陈效民,李孝良,等.不同肥料与石膏配施对滨海盐渍土养分的培肥效果评价[J].土壤通报,2013,44(1):149-154.
- [6] 张密密,陈诚,刘广明,等.适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量[J].农业工程学报,2014,30(10):91-98.
- [7] 刘广明,杨劲松,吕真真,等.不同调控措施对轻中度盐碱土壤的改良增产效应[J].农业工程,2011,27(9):164-169.

(上接第128页)

的杀伤活性有促进作用。

表9 脱毒菜籽多肽对小鼠NK细胞活性的影响

Table 9 Effect of detoxified rapeseed peptides on NK cell activity of mouse

组别 Group	动物数 Number of animals//只	NK细胞活性 NK cell activity %
对照组 CK	10	40.2 ± 5.5
低剂量组 Low dose group	10	51.7 ± 13.1 *
中剂量组 Medium dose group	10	38.5 ± 9.7
高剂量组 High dose group	10	41.2 ± 9.9

注: *表示与对照组相比差异显著($P < 0.05$)。

Note: * showed significant differences ($P < 0.05$) compared with control group.

3 小结

该研究以脱毒菜籽多肽灌胃小鼠,通过对试验前后动物体重、脏器/体重比值、细胞免疫功能、体液免疫功能、非特异性免疫的研究,探索菜籽多肽对小鼠免疫功能的影响。结果表明,经口给予0.334、0.667和2.000 g/(kg·d)菜籽多肽,灌胃30 d后,各剂量组菜籽多肽对小鼠体重增长、胸腺/体重比值、脾脏/体重比值、抗体生成细胞数量、血清溶血素水平均无影响,但能显著提高小鼠脾淋细胞的转化效率、耳廓肿胀程度、单核-巨噬细胞功能和NK细胞活性。根据保健食品增强免疫力功能评价标准,菜籽多肽能有效增强小鼠细胞免疫力。

参考文献

- [1] 席鹏彬,马永喜,李德发,等.中国菜籽饼粕化学组成特点及其影响因素的研究[J].中国畜牧杂志,2004,40(10):12-15.
- [2] 刘大川,周俊梅,张寒俊,等.低植酸、低单宁“双低”菜籽分离蛋白制备工艺的研究[J].中国油脂,2005,30(8):38-41.
- [3] HE R, ALASHI A, MALOMO S A, et al. Antihypertensive and free radical scavenging properties of enzymatic rapeseed protein hydrolysates[J]. Food chemistry, 2013, 141(1):153-159.
- [4] 姜绍通,罗蕾蕾,潘牧,等.菜籽粕分步酶解制备水解产物的研究[J].食品科学,2009,30(10):52-55.
- [5] 李菊芳,魏芳,董绪燕,等.微波辅助分步酶解菜籽粕制备菜籽多肽的研究[J].中国油脂,2010,35(3):18-22.

- [8] 陈德明,俞仁培.作物相对耐盐性的研究-Ⅱ.不同栽培作物的耐盐性差异[J].土壤学报,1996,33(2):121-128.
- [9] 杨军,邵玉翠,高伟,等.不同改良剂与培肥方式对咸灌土壤改良效果的研究[J].中国农学通报,2012,28(36):113-118.
- [10] 李孝良,陈效民,徐克琴,等.肥料与石膏配施对滨海盐土油菜生长及养分吸收的影响[J].土壤通报,2012,43(5):1221-1226.
- [11] 张凌云,赵庚星,徐嗣英,等.滨海盐渍土适宜土壤盐碱改良剂的筛选研究[J].水土保持学报,2005,19(3):21-23.
- [12] 董合忠,郭庆正,李维江.棉花抗逆栽培[M].济南:山东科学技术出版社,1997:65-90.
- [13] 李文炳.山东棉花[M].上海:上海科学技术出版社,2001:407-435.
- [14] 孙小芳,刘友良,陈泌.棉花耐盐性研究进展[J].棉花学报,1998(10):118-124.
- [15] 王秀萍,鲁雪林,张国新,等.冀东滨海区棉花不同种植模式土壤盐分变化及对出苗率的影响[J].安徽农业科学,2009,37(34):16816-16817.
- [16] 孔祥强,董合忠.滨海盐碱地棉花熟相调控技术及其机理[J].棉花学报,2011,23(5):466-471.
- [17] 林光海,张雄伟.黄淮海平原盐碱地植棉技术开发研究[J].棉花学报,1985(3):77-87.

- [6] 杜冬梅,郭华,邹正.酶解菜籽粕制备多肽的研究[J].现代食品科技,2011,27(11):1344-1348.
- [7] MÄKINEN S, STRENG T, LARSEN L B, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory and antihypertensive properties of potato and rapeseed protein-derived peptides [J]. Journal of functional foods, 2016, 25:160-173.
- [8] 何荣.菜籽蛋白源肾素和ACE双重抑制肽的制备及其抑制机制研究[D].无锡:江南大学,2013:48-50.
- [9] 张艳,刘志伟.分步酶解法制备菜籽降压肽[J].食品科学,2013,34(3):228-232.
- [10] MÄKINEN S, JOHANNSON T, GERD E V, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory and antioxidant properties of rapeseed hydrolysates [J]. Journal of functional foods, 2012, 4(3):575-583.
- [11] YU W C, GAO J, XUE Z H, et al. Radical-scavenging activity, ACE-inhibiting capability and identification of rapeseed albumin hydrolysate [J]. Food science and human wellness, 2013, 2(2):93-98.
- [12] 卢晓会.菜籽肽的制备、分离纯化及其抗氧化活性研究[D].扬州:扬州大学,2012:47-51.
- [13] 聂慎德.菜籽肽制备及其抗氧化活性的研究[D].合肥:合肥工业大学,2009:19-20.
- [14] 薛照辉,尉万聪,严奉伟,等.菜籽肽抗氧化活性的研究[J].中国油脂,2006,31(8):48-50.
- [15] 何荣海,刘磊,蒋边,等.枯草芽孢杆菌液态发酵菜籽粕制备抗氧化肽[J].中国食品学报,2013,13(12):12-20.
- [16] ZHOU C S, YU X J, QIN X P, et al. Hydrolysis of rapeseed meal protein under simulated duodenum digestion: Kinetic modeling and antioxidant activity [J]. LWT-food science and technology, 2016, 68:523-531.
- [17] 薛照辉,尉万聪,吴谋成,等.菜籽肽抑制肿瘤作用和对免疫功能的影响[J].中国粮油学报,2007,22(1):73-75.
- [18] 曾晓波,吴谋成,李小定.菜籽肽对小鼠肿瘤生长抑制和免疫功能的影响[J].营养学报,2002,24(4):405-407.
- [19] 胡永娜,王之盛,李爱科.固态发酵菜籽粕对肉仔鸡生长性能、免疫功能及消化酶活性的影响[J].动物营养学报,2012,24(7):1293-1301.
- [20] 薛照辉.菜籽肽的制备及其生物活性的研究[D].武汉:华中农业大学,2004:59-60.
- [21] YUST M D M, PEDROCHE J, MEGIAS C, et al. Rapeseed protein hydrolysates: A source of HIV protease peptide inhibitors [J]. Food chemistry, 2004, 87(3):387-392.
- [22] 白玉.怡尔康对小鼠的抑瘤作用与免疫调节作用[D].石家庄:河北医科大学,2006:25-29.
- [23] 葛飞,桂琳,李婉珍,等.中国被毛孢菌丝体对小鼠免疫功能的影响[J].中国临床药理学与治疗学,2008,13(8):852-855.
- [24] 李敏,王劫,赵谦明.灵芝、姬松茸、黄芪混合多糖配伍茶多酚复合剂免疫增强作用的研究[J].现代食品科技,2009,25(8):885-888.
- [25] 王怡薇,周庆峰,白秀珍.墨旱莲水煎剂对 DTH 和血清溶血素抗体的影响[J].锦州医学院学报,2003,24(6):28-29.
- [26] 任钧国,郝钰,邱全瑛,等.清解宁对小鼠免疫功能的影响[J].中国实验方剂学杂志,2003,9(3):30-32.