

红菌豆腐中功能性肽的提取及抗氧化活性评价

冯悦晴 夏 敏 林晓玉 梁蕙寓 刘 果 丘苑新

(仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东 广州 510000)

摘要: [目的]探究红菌豆腐中功能性肽的性能。[方法]采用超声水提法提取红菌豆腐中的功能性肽,以肽的粗提物含量为指标,考察提取时间、pH、提取温度、料液比对肽提取的影响,设置单因素试验和正交试验对提取工艺进行优化,并评价所得功能性肽的抗氧化活性。[结果]红菌豆腐中功能性肽的最佳提取工艺为提取时间 35 min、提取温度 55 ℃、pH 11、料液比 1:40 (g/mL),最佳工艺所得肽的粗提物含量为 114.07 mg/g,远高于其他工艺条件所得。红菌豆腐中的功能性肽具有一定的抗氧化活性,以最佳工艺提取的功能性肽的 DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率分别为 69.46% 和 79.18%。[结论]红菌豆腐是具抗氧化、营养和药用保健功能的食源性功能性肽的优良来源,极具开发利用价值。

关键词: 发酵豆制品; 超声提取; 功能性肽; 抗氧化活性

Extraction and antioxidant activity evaluation of functional peptides in Hongjun Tofu

FENG Yueqing XIA Min LIN Xiaoyu LIANG Tingyu LIU Guo QIU Yuanxin

(College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510000, China)

Abstract: [Objective] To investigate the properties of functional peptides in Hongjun Tofu. [Methods] Functional peptides were extracted from Hongjun Tofu by ultrasound-assisted water extraction. The crude peptide content was used as the evaluation index to investigate the effects of extraction time, pH, extraction temperature, and solid-liquid ratio on peptide extraction. Single-factor and orthogonal experiments were designed to optimize the extraction process, and the antioxidant activity of the obtained functional peptides was evaluated. [Results] The optimal extraction conditions were 35 minutes extraction time, 55 ℃ extraction temperature, pH 11, and a solid-liquid ratio of 1:40 (g/mL). Under these conditions, the crude peptide content reached 114.07 mg/g, significantly higher than that under other conditions. Functional peptides from Hongjun Tofu exhibited antioxidant activity, with DPPH and ABTS radical scavenging rates of 69.46% and 79.18%, respectively, when extracted under optimal conditions. [Conclusion] Hongjun Tofu is an excellent source of food-derived functional peptides with antioxidant, nutritional, and medicinal health benefits, showing great potential for development and utilization.

Keywords: fermented soy products; ultrasound-assisted extraction; functional peptides; antioxidant activity

红菌豆腐是用豆渣经发酵后制作成的一种味道甘甜的红色食品^[1],是粤东和闽西局部客家地区特有的一种传统名肴,其营养价值高,富含蛋白质(15%)、脂肪(10%)、膳食纤维(50%)等多种营养物质^[2]。传统红菌豆腐中特定的优势真菌为 *Neurospora crassa* 粗糙链孢霉菌(命名为 OM009248),在发酵前期粗糙链孢霉菌迅速增殖,达到最

大丰度,其生长情况决定了红菌豆腐的发酵是否能成功^[3]。依据传统红菌豆腐中的粗糙链孢霉菌的特性进行提纯和传代培养,得到 ZK01 粗糙链孢霉菌,作为豆渣发酵的菌剂。研究发现,在发酵过程中会产生新的营养成分和生物活性物质,如功能性肽等^[4-5],抗营养因子成分也能得到降解,使其蕴含的营养成分更利于提取或更易

通信作者:丘苑新(1980—),男,仲恺农业工程学院教授,博士。E-mail:foodqiu@163.com

收稿日期:2024-11-18 改回日期:2025-07-04

引用格式:冯悦晴,夏敏,林晓玉,等. 红菌豆腐中功能性肽的提取及抗氧化活性评价[J]. 食品与机械, 2025, 41(9): 155-160.

Citation: FENG Yueqing, XIA Min, LIN Xiaoyu, et al. Extraction and antioxidant activity evaluation of functional peptides in Hongjun Tofu[J]. Food & Machinery, 2025, 41(9): 155-160.

于被人体所吸收利用^[6-7]。红菌豆腐中功能性肽大多为大豆肽,不仅具有易溶于水,黏度低,易被人体吸收利用,可清除自由基等特点^[8-9],还具有许多功能活性及免疫调节等多种生理功能,如促进脂肪代谢、抗疲劳、抗氧化、抗血栓、降血脂等^[10]。

近年来,从发酵豆制品中提取功能性肽的研究日益活跃,这是因为食源性活性肽具有来源于食物蛋白质水解、高吸收性、高安全性等优点^[11],同时这一做法还能有效提高副产物的利用价值^[12-13]。目前,食源性活性肽已经在多个领域被广泛应用。Zhang等^[14]研究发现,大豆蛋白衍生肽对改善负氮平衡条件下的烧伤大鼠的免疫功能,减轻过度炎症有显著的积极作用。Peng等^[15]从酒糟中提取活性肽,并通过自由基清除分析进行筛选。对活性部位进行LC-MS/MS分析,发现5个肽段在LPS刺激的RAW 264.7细胞中表现出较高的抗炎活性。Li等^[16]从牡蛎水解物中分离纯化了两条具有免疫调节活性的肽段,均能显著促进巨噬细胞的增殖率和吞噬能力,诱导NO、TNF- α 和IL-6的产生。为了充分发挥其潜力并克服其局限性,仍需要进一步的研究。研究拟以红菌豆腐为原料,通过调整提取时间、提取温度、pH、料液比提高肽粗提物的得率,优化功能性肽的提取工艺,并评价其抗氧化活性,以期挖掘红菌豆腐商业化潜力,拓宽豆渣食品的市场发展空间。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

豆渣:广州海珠蟠龙市场某豆制品店;
ZK01粗糙链孢霉菌:仲恺农业工程学院实验室;
氢氧化钠、无水硫酸铜:分析纯,天津市永大化学试剂有限公司;

Gly-Gly-Tyr-Arg四肽标准品($\geq 95\%$)、10% TCA溶液、总抗氧化能力(T-AOC)检测试剂盒(ABTS微板法)、DPPH自由基清除率检测试剂盒(微板法):上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

人工气候箱:PQX-450B-30HM型,宁波莱福科技有限公司;

冷冻干燥机:SCIENTZ-50F型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

超声波清洗机:AK-050SD型,深圳市钰洁清洗设备有限公司;

台式低速大容量离心机:L550型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

双光束紫外可见分光光度计:TU-1900型,北京普析通用仪器有限责任公司;

微孔板检测仪:Infinite M200型,帝肯(上海)实验器

材有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 制备红菌豆腐

豆渣 $\rightarrow$ 高压蒸汽灭菌($121\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min) $\rightarrow$ 翻炒(至含水量 80%) $\rightarrow$ 过筛 $\rightarrow$ 接种(0.1% ZK01粗糙链孢霉菌) $\rightarrow$ 装筐、压型 $\rightarrow$ 培养发酵($28\text{ }^{\circ}\text{C}$, 82% RH, 24 h) $\rightarrow$ 翻面 $\rightarrow$ 切条 $\rightarrow$ 培养发酵($28\text{ }^{\circ}\text{C}$, 82% RH, 12 h) $\rightarrow$ 红菌豆腐

1.3.2 肽提取工艺 取适量红菌豆腐冻干样品,按料液比加入纯水,300 W超声辅助提取, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 20 min ,取上清液待用。

1.3.3 单因素试验 主要考虑提取时间、pH、提取温度、料液比4个因素对红菌豆腐提取液中肽含量的影响。设定提取时间水平为 $20, 30, 40, 50\text{ min}$, pH水平为 $9, 10, 11, 12$, 提取温度水平为 $40, 50, 60, 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 料液比水平为 $1:10, 1:20, 1:40, 1:60\text{ (g/mL)}$, 以此研究不同单因素对红菌豆腐提取功能性肽的影响。以上的单因素试验选取提取时间 30 min 、pH 10、提取温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、料液比 $1:20\text{ (g/mL)}$ 为固定条件,以肽含量为评价指标,设置3个平行,确定提取功能性肽的最适条件。

1.3.4 正交试验 基于单因素试验所得到的结果,选取提取时间、pH、提取温度、料液比4个因素作为考察因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验^[17]。

1.3.5 肽含量测定 参考文献[11]。

1.3.6 抗氧化活性评价

(1) DPPH自由基清除能力:参考文献[18]。

(2) ABTS自由基清除能力:参考文献[18]。

1.3.7 数据处理 试验数据采用SPSS 22.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 活性肽标准曲线绘制

Gly-Gly-Tyr-Arg四肽标准曲线如图1所示。线性回归方程为 $y=0.144\text{ }4x+0.044\text{ }2$, 相关系数 R^2 为 0.996 , 活性肽质量浓度在 $0\sim 2.0\text{ mg/mL}$ 范围内与其吸光值呈良好的线性关系。

2.2 单因素试验

2.2.1 提取时间对红菌豆腐提取液中肽含量的影响 如图2所示,随着提取时间的增加,肽含量的变化趋势先上升后下降,当提取时间为 30 min 时,红菌豆腐提取液中肽含量达到最高,为 41.15 mg/g 。提取时间为 $20\sim 30\text{ min}$ 时,提取液中肽含量较低,这是由于提取时间较短时颗粒没有充分溶解,导致大部分的肽处于未被提取的状态^[18]。提取时间为 $30\sim 50\text{ min}$ 时,肽含量持续减少。过长的提取时间可能会导致蛋白质链的重新聚集,降低蛋白质的溶解度,从而降低了肽在提取液中的含量。此外,长时间的提取还可能导致蛋白质的某些部分发生变性,进一步影

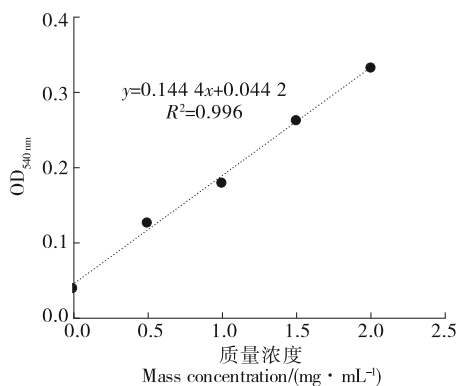
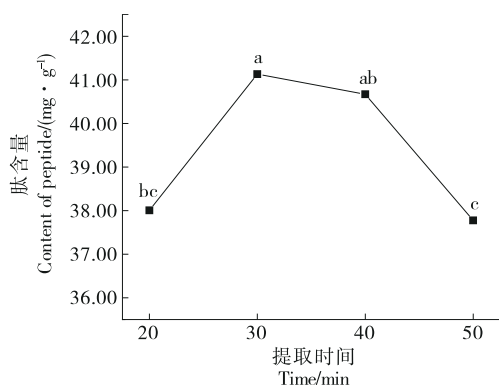


图1 Gly-Gly-Tyr-Arg 四肽标准曲线

Figure 1 Gly-Gly-Tyr-Arg quad peptide standard curve



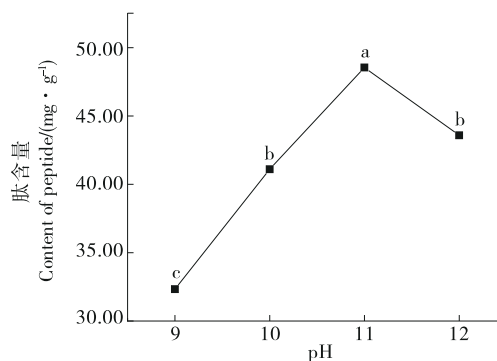
小写字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

图2 提取时间对红菌豆腐提取液中肽含量的影响

Figure 2 Effect of extraction time on functional peptide content in Hongjun Tofu extract

响其结构和功能^[19]。综上,最适提取时间为 30 min。

2.2.2 pH对红菌豆腐提取液中肽含量的影响 如图3所示,随着pH的逐渐升高,提取液中的肽含量也呈现出相应的增长趋势,在pH为11.0时达到高峰(48.63 mg/g)之后有所下降。pH为9.0~11.0时,提取液中的肽含量持续上升,可能是多肽的溶解度会受到溶液pH值的影响。由于氨基酸侧链具有不同的酸碱性质,改变溶液的pH可以改变多肽的整体电荷,进而影响其溶解性。处在碱性环境中的蛋白质表面会携带负电荷,此时携带有负电荷的配体会离开蛋白质表面,携带有正电荷的配体会被吸引至蛋白质表面,从而影响了蛋白质分子间的相互作用,最终引发了蛋白质结构的调整,使其空间结构变得更加松散^[20]。这种结构上的变化使得肽在提取过程中更容易被分离出来。但当pH达到12.0时,肽含量下降,是因为肽是蛋白质的片段,过强的碱性环境可能会破坏肽的结构,使其发生脱折叠、聚集、降解或失去活性等不可逆的变化,影响肽与生物体内其他分子的相互作用^[21]。综合考虑,理想的pH为11.0。

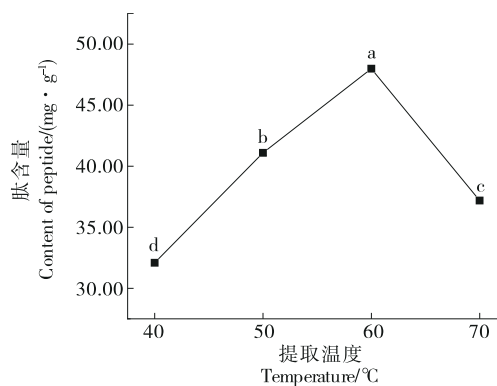


小写字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

图3 pH对红菌豆腐提取液中肽含量的影响

Figure 3 Effect of pH on functional peptide content in Hongjun Tofu extract

2.2.3 提取温度对红菌豆腐提取液中肽含量的影响 如图4所示,随着提取温度的逐渐提升,提取液中的肽含量呈持续上升的趋势;提取温度为60℃时,提取液中的肽含量达到了峰值,为48.08 mg/g;再提高提取温度后,肽含量有所下降。提取温度为40~60℃时,提取温度对肽含量的影响呈正相关。当提取温度升高时,一般溶解度也会随之增大;多肽分子的热运动加剧,分子振动频率加快,产生更多定向碰撞,同时也会导致非特异性和不可逆的骨架重排,这有助于肽的释放和分离^[22-23]。当提取温度>60℃时,肽含量下降,过高的提取温度可能使得蛋白质发生变性,不利于其中肽的析出,也意味着更多的能源消耗和资源浪费。因此,提取温度宜选择60℃左右。



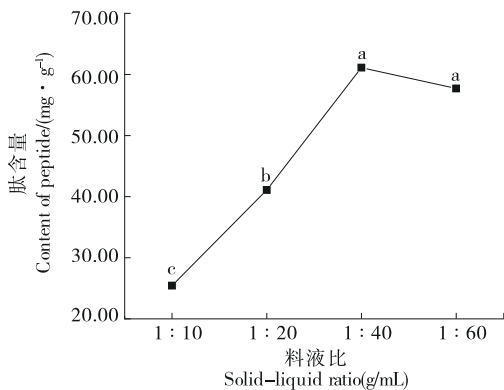
小写字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

图4 提取温度对红菌豆腐提取液中肽含量的影响

Figure 4 Effect of extraction temperature on functional peptide content in Hongjun Tofu extract

2.2.4 料液比对红菌豆腐提取液中肽含量的影响 如图5所示,豆渣提取液中肽含量随着溶剂用量的增加越来越高;当料液比为1:40 (g/mL)时,提取液中的肽含量达到最高值,为61.26 mg/g。然而,随着溶剂用量的进一步

增加,肽含量出现下降趋势。溶剂用量较少时,体系黏度大,超声波的传递受阻,影响空化作用^[8]。随着溶剂用量的增加,提取液中肽含量升高,这是由于超声波产生的空化效应作用于细胞壁,促使肽释放并扩散至提取液中^[24-25]。在料液比为 1:40 (g/mL)时达到平衡点。此时体系的黏度适中,既不会阻碍超声波的传递,又能确保物料在提取过程中能充分受到空化作用。当料液比为 1:60 (g/mL)时,肽含量下降,证明此时肽已大部分被提取出来,继续增大料液比只会延长回收时间,增大成本,降低效益。因此,理想料液比为 1:40 (g/mL)。



小写字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

图5 料液比对红菌豆腐提取液中肽含量的影响

Figure 5 Effect of solid-liquid ratio on functional peptide content in Hongjun Tofu extract

2.3 正交试验

在单因素试验的基础上,以提取时间、pH、提取温度、料液比为考察因素,提取液中肽含量作为考察指标,设计四因素三水平正交试验。正交试验因素水平见表1,试验结果及分析见表2。

表1 正交试验因素水平

Table 1 Orthogonal test levels of factors				
水平	A 提取时间/min	B pH	C 提取温度/℃	D 料液比 (g/mL)
1	25	10.5	55	1:20
2	30	11.0	60	1:30
3	35	11.5	65	1:40

由表2可知,影响红菌豆腐提取液中肽含量的各个因素之间的主次关系为料液比>提取时间>提取温度>pH,其中料液比对红菌豆腐提取液中肽含量的影响程度远超于其他3个因素;最佳的工艺组合为提取时间35 min,pH 11,提取温度55℃,料液比1:40 (g/mL),这一组合对应的是正交表中的第8组试验,该条件下,肽含量

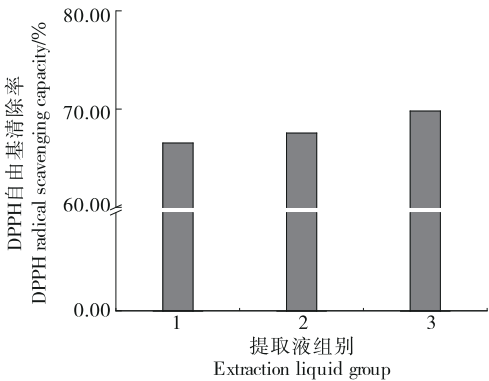
表2 正交试验设计及结果

Table 2 Orthogonal experimental design and results					
试验号	A	B	C	D	肽含量/(mg·g ⁻¹)
1	1	1	1	1	34.669 1
2	1	2	2	2	39.676 8
3	1	3	3	3	96.343 5
4	2	1	2	3	100.498 6
5	2	2	3	1	33.284 1
6	2	3	1	2	40.000 0
7	3	1	3	2	43.601 1
8	3	2	1	3	114.072 0
9	3	3	2	1	36.084 9
k_1	56.896 5	59.589 6	62.913 7	34.679 4	
k_2	57.927 6	62.344 3	58.753 5	41.092 6	
k_3	64.586 0	57.476 1	57.742 9	103.638 0	
R	7.689 5	4.868 2	5.170 8	68.958 7	

高达114.072 0 mg/g,是所有试验组中的最高值。

2.4 抗氧化活性评价

2.4.1 DPPH 自由基清除能力 由图6可知,红菌豆腐提取液的肽含量越高对DPPH 自由基的清除率也越高;其中以最佳工艺提取的功能性肽的DPPH 自由基清除率为69.46%。研究^[26]表明,肽可以有效清除体内的自由基,降低氧化应激水平,保护细胞免受氧化损伤;主要通过抑制自由基的产生、直接清除自由基、提高抗氧化酶活性以及调节细胞信号通路来实现。因此,随着肽含量的增加,抗氧化效果越来越显著,从而表现出更高的DPPH 自由基清除率。同时,提取液中的其他成分也可能对DPPH 自由基清除率产生影响,例如金属离子等可能与肽发生协同作

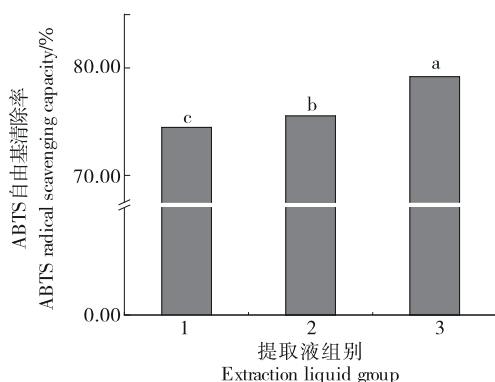


1~3号提取液分别对应表2中正交组别1、6、8号提取液,其肽含量分别为34.669 1,40.000 0,114.072 0 mg/g

图6 不同红菌豆腐提取液对DPPH 自由基的清除活性
Figure 6 DPPH radical scavenging activities of different Hongjun Tofu extracts

用,共同增强抗氧化效果,具体的生物活性物质还需要进一步探究。

2.4.2 ABTS 自由基清除能力 由图 7 可知,随着肽含量的不断增加,其对应的 ABTS 自由基清除率也呈上升趋势。其中,3 号提取液的 ABTS 自由基清除率达到了 79.18%,远高于其他两个样品。综上所述,提取液的肽含量越高,其 ABTS 自由基清除率越高,抗氧化效果也更佳。



1~3 号提取液分别对应表 2 中正交组别 1、6、8 号提取液,其肽含量分别为 34.669 1, 40.000 0, 114.072 0 mg/g;小写字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

图 7 不同红菌豆腐提取液对 ABTS 自由基的清除活性

Figure 7 ABTS radical scavenging activities of different Hongjun Tofu extracts

3 结论

该研究以红菌豆腐作为原料,采用超声水提法提取功能性肽,优化了红菌豆腐中功能性肽的提取工艺条件,并评价了功能性肽的抗氧化活性。结果表明:红菌豆腐中功能性肽的最佳提取工艺参数为提取时间 35 min、提取温度 55 °C、pH 11.0、料液比 1:40 (g/mL),该条件下肽的粗提物含量达到 114.072 0 mg/g。红菌豆腐中的功能性肽具有一定的抗氧化活性,以最佳工艺提取的功能性肽对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除率分别为 69.46%, 79.18%。通过优化提取工艺条件,有效提高了红菌豆腐中功能性肽的提取效率,同时保证其具备良好的抗氧化活性。后续将继续开展红菌豆腐中其他功能性物质的提取及功效活性研究。

参考文献

[1] 黄小璐,丘苑新,李存港,等. 添加食用胶对红菌豆腐质构特性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(4): 175-182.
HUANG X L, QIU Y X, LI C G, et al. Effect of adding edible gum on texture characteristics of HongJun Tofu[J]. China Food Additives, 2024, 35(4): 175-182.

[2] QIU Y X, LI C G, DONG H, et al. Analysis of key fungi and their effect on the edible quality of HongJun tofu, a Chinese fermented okara food[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 172: 114151.
[3] 李存港. 红菌豆腐工艺优化、关键菌群及其功能性成分研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2023: 25-27.
LI C G. Research on the optimization of production, key microbial community, and functional components of HongJun Tofu[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2023: 25-27.
[4] 李静. 豆渣的综合利用研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(2): 28-32.
LI J. Research progress on comprehensive utilization of bean dregs[J]. Cereal & Food Industry, 2022, 29(2): 28-32.
[5] 屠大伟,田仕艳,牟韦,等. 豆渣的微生物发酵及应用研究进展[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2025, 42(2): 1-8.
TU D W, TIAN S Y, MOU W, et al. Research progress on microbial fermentation and application of soybean residue[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2025, 42(2): 1-8.
[6] VONG W C, LIU S Q. Biovalorisation of okara (soybean residue) for food and nutrition[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 52: 139-147.
[7] 范晓文. 真菌联合细菌发酵改性豆渣风味及食用品质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021: 11-12.
FAN X W. Study on flavor and edible quality of soybean dregs modified by fungus and bacteria fermentation[D]. Chongqing: Southwest University, 2021: 11-12.
[8] 张伟,阮定峰,朱秀芳,等. 超声处理对大豆蛋白水解副产物中肽提取的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2022(6): 49-52.
ZHANG W, RUAN D F, ZHU X F, et al. Effect of ultrasonic treatment on peptide extraction of soybean protein hydrolysate by-product[J]. Cereal & Feed Industry, 2022(6): 49-52.
[9] 江连洲,苏睿涵,张雪晴,等. 大豆肽不溶性聚集体形成机制及应用研究进展[J]. 大豆科技, 2024(1): 6-12.
JIANG L Z, SU R H, ZHANG X Q, et al. Formation mechanism and research status of insoluble soybean peptide aggregates[J]. Soybean Science & Technology, 2024(1): 6-12.
[10] 王娜丽,孟庆杰,马志坚. 大豆肽制备方法及在畜牧业中的应用进展[J]. 中国猪业, 2023, 18(2): 51-54.
WANG N L, MENG Q J, MA Z J. Preparation methods of soy peptides and their application progress in animal husbandry[J]. China Swine Industry, 2023, 18(2): 51-54.
[11] 胡晓倩,桂子康,邓军伟,等. 大豆发酵食品毛豆腐中活性肽的制备及功效评价[J]. 中国食品学报, 2023, 23(3): 217-228.
HU X Q, GUI Z K, DENG J W, et al. Preparation and function evaluation of bioactive peptides in hairy Tofu of fermented soybean curd[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(3): 217-228.
[12] 李建科,孟永宏,刘柳,等. 我国食品工业副产物资源化利用

- 现状[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(6): 1-13.
- LI J K, MENG Y H, LIU L, et al. Utilization of food industry by-products in China[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(6): 1-13.
- [13] 封晓毓, 王艳聪, 陆维鹏, 等. 豆渣在食品中开发利用研究进展[J]. 饮料工业, 2023, 26(3): 65-71.
- FENG X Y, WANG Y C, LU W P, et al. Progress of processing and application of soybean residue in food industry[J]. Beverage Industry, 2023, 26(3): 65-71.
- [14] ZHANG J, LI W H, YING Z W, et al. Soybean protein-derived peptide nutriment increases negative nitrogen balance in burn injury-induced inflammatory stress response in aged rats through the modulation of white blood cells and immune factors[J]. Food & Nutrition Research, 2020, 64: 1-3.
- [15] PENG L, KONG X Y, WANG Z M, et al. Baijiu vinasse as a new source of bioactive peptides with antioxidant and anti-inflammatory activity[J]. Food Chemistry, 2021, 339: 128159.
- [16] LI W, XU C, ZHANG C H, et al. The purification and identification of immunoregulatory peptides from oyster (*Crassostrea hongkongensis*) enzymatic hydrolysate[J]. RSC Advances, 2019, 9(56): 32 854-32 863.
- [17] 任秀艳, 曹戈, 王孟云, 等. 玉米胚芽蛋白的碱法提取工艺及特性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 279-283.
- REN X Y, CAO G, WANG M Y, et al. Study on alkaline extraction technique and characteristics of corn germ protein [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(10): 279-283.
- [18] 陈林林, 王玲, 郑凤鸣, 等. 发酵紫苏粕制备抗氧化肽的工艺优化及抗氧化性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 116-124.
- CHEN L L, WANG L, ZHENG F M, et al. Process optimization and activity of antioxidant peptides prepared from fermented perilla meal [J]. Food Research and Development, 2023, 44(18): 116-124.
- [19] 张云瀚, 张欣, 李明明, 等. 西式干腌火腿中蛋白降解与粗肽抑菌能力相关性分析初步研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(9): 196-202.
- ZHANG Y H, ZHANG X, LI M M, et al. Preliminary study on correlation of protein degradation and crude peptide antimicrobial activity in western dry-cured ham[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(9): 196-202.
- [20] LIU P, ZHAO M M, CAO Y L, et al. Purification and identification of anti-oxidant soybean peptides by consecutive chromatography and electrospray ionization-mass spectrometry [J]. Rejuvenation Research, 2014, 17(2): 209-211.
- [21] 刘晓艺, 周玉岩, 过利敏, 等. 不同分子量红花籽抗氧化肽稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 94-102.
- LIU X Y, ZHOU Y Y, GUO L M, et al. Study on the stability of antioxidant peptides from safflower seeds with different molecular weight[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 94-102.
- [22] ZHU C Z, ZHANG W G, KANG Z L, et al. Stability of an antioxidant peptide extracted from Jinhua ham[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 783-789.
- [23] 颜阿娜, 洪燕婷, 蔡琪琪, 等. 鲭鱼抗氧化肽的性质鉴定及稳定性研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2023, 42(3): 16-22.
- YAN A L, HONG Y T, CAI Q Q, et al. Characterization and stability analysis of antioxidant peptides from mackerel[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2023, 42(3): 16-22.
- [24] 张玥, 杨玉霞, 时光宇, 等. 超声辅助提取紫贻贝加工下脚料抗菌肽工艺优化[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 159-164.
- ZHANG Y, YANG Y X, SHI G Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction process of antimicrobial peptides from the by-products of *Mytilus edulis*[J]. Food & Machinery, 2020, 36(10): 159-164.
- [25] CHEMAT F, ROMBAUT N, SICAIRES A G, et al. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 34: 540-560.
- [26] 蔡若纯. 腐乳多肽的分离纯化及功能性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 70-71.
- CAI R C. Researches on isolation, purification and bioactivities of sufu peptides[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017: 70-71.