

超声辅助核桃饼脱脂和多肽制备工艺的优化

张研彦¹, 马云睿¹, 杨歆萌¹, 马开创¹, 郭思宇¹, 罗令仪¹, 郑好¹, 高盼^{1,2}, 胡传荣^{1,2}, 何东平^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023)

摘要:采用超声辅助核桃饼脱脂,并以脱脂核桃粉为原料制备核桃蛋白,采用碱性蛋白酶酶解核桃蛋白制备多肽。通过单因素实验和正交实验对超声辅助核桃饼脱脂和核桃多肽制备工艺条件进行优化,并对最优条件下制备的核桃多肽的特性进行分析。结果表明:超声辅助核桃饼脱脂最优条件为料液比1:20、超声功率500 W、超声时间140 min,在最优条件下脱脂率为91.23%,蛋白损失率为11.32%;酶解制备核桃多肽的最优工艺条件为酶解温度50℃、酶解pH 9、加酶量3.0%、酶解时间5.0 h,在最优条件下水解度达到22.63%,多肽得率为88.24%。核桃多肽粗蛋白质含量约为95%,相对分子质量小于1 000 Da的多肽占比达91.61%。

关键词:超声辅助;脱脂;核桃蛋白;核桃多肽;酶解

中图分类号:TS229;TQ936

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2021)03-0057-06

Optimization of walnut cake defatting and walnut peptide preparation

ZHANG Yanyan¹, MA Yunrui¹, YANG Xinmeng¹, MA Kaichuang¹, GUO Siyu¹, LUO Lingyi¹, ZHENG Hao¹, GAO Pan^{1,2}, HU Chuanrong^{1,2}, HE Dongping^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Key Laboratory of Bulk Grain and Oil Intensive Processing, Ministry of Education, Wuhan 430023, China)

Abstract: The walnut cake was defatted with ultrasound assist, and with defatted walnut powder as raw material, walnut protein was prepared. The peptide was prepared by alkaline protease hydrolysis from walnut protein. The defatting conditions of walnut cake and the preparation conditions of walnut peptide were optimized through single factor experiment and orthogonal experiment. In addition, the characteristics of walnut peptide prepared under the optimal conditions were analyzed. The results showed that the optimal defatting conditions were obtained as follows: ratio of material to solvent 1:20, ultrasonic power 500 W, ultrasonic time 140 min. Under the optimal conditions, the defatting rate was 91.23%, and the lost rate of walnut protein was 11.32%. The optimal conditions of preparing walnut peptide were obtained as follows: enzymolysis temperature 50℃, enzymolysis pH 9, enzyme dosage 3.0%, enzymolysis time 5.0 h. Under the optimal conditions, the hydrolysis degree was 22.63%, and the peptide yield was 88.24%. The crude protein content in walnut peptide was about 95%, and 91.61% of walnut peptides had a relative molecular weight less than 1 000 Da.

Key words: ultrasound assist; defatting; walnut protein; walnut peptide; enzyme hydrolysis

核桃 (*Juglans regia* L.), 是胡桃科中重要的胡桃属植物,也是我国重要的木本油料资源,我国核桃

产量和种植面积均居世界第一^[1-2]。核桃中蛋白质含量为27%,核桃蛋白的消化率和净蛋白比值比其他普通植物蛋白更高^[3],营养价值与动物蛋白相近,含有较丰富的8种人体必需氨基酸,也满足FAO/WHO对成年人必需氨基酸摄入量的建议,是一种优质的植物蛋白^[4-6]。核桃饼是核桃压榨制油的副产物。以核桃饼为原料制备核桃蛋白要先进行

收稿日期:2020-11-15;修回日期:2020-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(32001735)

作者简介:张研彦(2002),男,在读本科,专业为食品科学与工程(E-mail)1458746855@qq.com。

通信作者:高盼,讲师,博士(E-mail)gaopan925@163.com。

脱脂处理。超声辅助提取法相比于传统的提取方法具有耗时短、有利于改善蛋白质功能性质等优点,被广泛应用于辣木籽^[7]和大豆^[8]等油料蛋白的研究中。

研究发现,人类摄入的蛋白质需要经过消化酶酶解,然后以小分子肽的形式被吸收^[9-11]。多肽不仅能提供人体生长、发育所需要的营养物质,同时还具备多种生理活性功能^[12-15]。因此,核桃多肽是良好的核桃深加工产品,制备和开发核桃多肽具有良好的应用前景和潜在的市场价值。目前,国内外制备多肽的方法主要有蛋白酶水解法、化学合成法、基因重组法、分离提取法、酸碱水解法等^[16]。其中蛋白酶水解法反应条件较为温和,水解程度易控制,对氨基酸破坏和环境污染程度低,且酶具有高效性和专一性,水解产物的相对分子质量分布比较均匀^[17],是生产活性肽的主要方法。目前核桃多肽的研发相对较少,优化核桃多肽制备工艺,提高核桃多肽的得率具有重要意义。本文以核桃蛋白为研究对象,采用正交实验设计的分析手段,围绕核桃饼脱脂和核桃多肽的制备工艺进行研究,提出了高品质的核桃副产品适宜加工方式和优化条件。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

核桃,由湖北圭萃园农林股份有限公司提供。

正己烷、盐酸、氢氧化钠、硼酸溶液、浓硫酸、亚甲基蓝、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、95%乙醇溶液、乙醚,国药集团化学试剂有限公司;碱性蛋白酶(2×10^5 U/g),诺维信(中国)生物技术有限公司。

1.1.2 仪器与设备

DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器, K984 自动凯氏定氮仪, 八孔消化炉, KQ-AS5000DE 型数控超声波清洗器, 家用螺旋榨油机(东莞市民健食品机械厂), FZ102 型微型植物粉碎机, 通用实验室 pH 计, DZF-6021 真空干燥箱, SZ-93 自动双重纯水蒸馏器, 101-1-S 数显鼓风干燥箱, TDSZ 台式离心机, FD-8 型冷冻干燥机, Waters 1525 高效液相色谱仪(配 2487 紫外检测器和 Empower 工作站 GPC 软件)。

1.2 实验方法

1.2.1 超声辅助核桃饼脱脂制备脱脂核桃粉

将核桃去壳去皮留仁,经压榨处理得到核桃饼,将核桃饼粉碎,过 0.425 mm (40 目)筛,得到核桃饼粉。取一定质量的核桃饼粉,用滤纸包好,置于一定体积的正己烷中浸泡,在 30℃、一定超声功率下超声

提取一定时间后,将提取液旋转蒸发回收正己烷得核桃油,脱脂后的核桃饼粉真空干燥获得脱脂核桃粉。

1.2.2 核桃蛋白的制备

以脱脂核桃粉为原料,参照文献[18]的方法制备核桃蛋白。

1.2.3 核桃多肽的制备

核桃蛋白→加水混合搅拌→调节温度和 pH→加入碱性蛋白酶酶解→高温灭酶(90℃, 10 min)→离心→取上清液→冷冻干燥→核桃多肽。

1.2.4 理化指标的测定

粗蛋白质含量的测定,参照 GB 5009.5—2016;粗脂肪含量的测定,参照 GB 5009.6—2016;水分含量的测定,参照 GB 5009.3—2016;水解度的测定采用 pH-stat 法;相对分子质量分布、酸溶蛋白含量、游离氨基酸含量的测定,参照 GB/T 22492—2008。

脱脂率(Y_0)、脱脂过程蛋白损失率(Y_1)和多肽得率(Y_2)按下式计算。

$$Y_0 = (m_0 - m_1) / m_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$Y_1 = (1 - m_2 / m_3) \times 100\% \quad (2)$$

$$Y_2 = (m_4 - m_5) / m_6 \times 100\% \quad (3)$$

式中: m_0 为原料核桃饼粉的脂肪质量, g; m_1 为所得脱脂核桃粉的脂肪质量; m_2 为所得脱脂核桃粉的蛋白质质量, g; m_3 为原料核桃饼粉的蛋白质质量, g; m_4 为核桃蛋白酶解离心后上清液中酸溶蛋白含量, g; m_5 为酶解离心后上清液中游离氨基酸含量, g; m_6 为核桃蛋白的蛋白质质量, g。

1.2.5 数据处理

单因素实验数据均重复 3 次,利用 Excel 2016 对数据进行整理、作图。

2 结果与讨论

2.1 超声辅助核桃饼脱脂制备脱脂核桃粉工艺优化

2.1.1 单因素实验

2.1.1.1 料液比的影响

在超声功率 400 W、超声时间 120 min 条件下,考察料液比对脱脂率和蛋白损失率的影响,结果如图 1 所示。

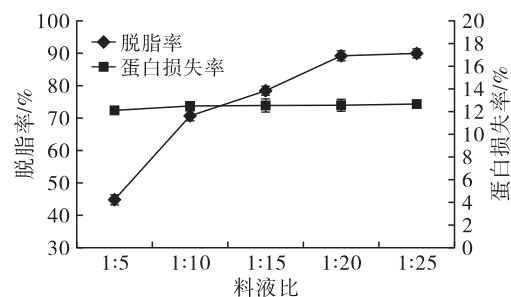


图 1 料液比对脱脂率和蛋白损失率的影响

由图1可见,脱脂率随着料液比的增加而增大,当料液比大于1:20时,脱脂率开始趋于平缓,原因可能是当料液比达到1:20时,溶剂可萃取的原料脂肪相对达到了最大,脱脂率不再明显增加。蛋白损失率随着料液比的增加变化不明显,但仍呈缓慢上升的趋势。综合考虑,选择料液比为1:20。

2.1.1.2 超声功率的影响

在料液比1:20、超声时间120 min条件下,考察超声功率对脱脂率和蛋白损失率的影响,结果如图2所示。

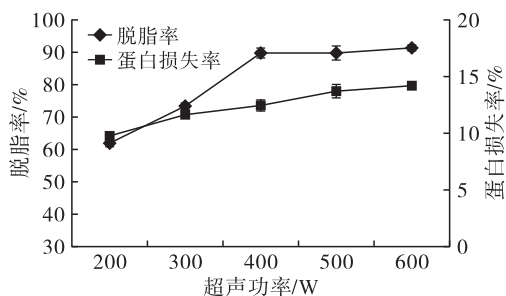


图2 超声功率对脱脂率和蛋白损失率的影响

由图2可见,脱脂率随着超声功率的增加而增大,当超声功率超过400 W时,脱脂率变化不大,这是因为超声加快了原料与萃取剂的碰撞概率,从而增大了萃取剂萃取油脂的速度,当超声功率达到400 W时,在给定的时间内油脂萃取基本完全,脱脂率变化不再显著。蛋白损失率随着超声功率的增加而增大。综合考虑,选择超声功率为400 W。

2.1.1.3 超声时间的影响

在料液比1:20、超声功率400 W条件下,考察超声时间对脱脂率和蛋白损失率的影响,结果如图3所示。

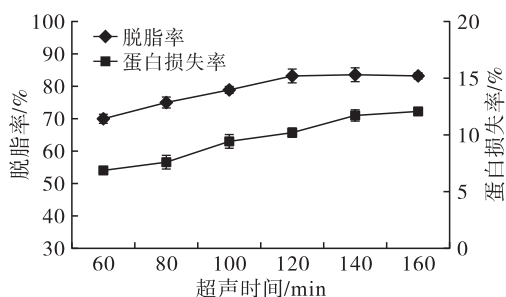


图3 超声时间对脱脂率和蛋白损失率的影响

由图3可见,脱脂率随着超声时间的延长呈先增加而后趋于平稳的趋势,其原因可能是随着超声时间的延长,萃取剂萃取脂肪的量也相应增加,但当超声时间达到120 min后,萃取剂萃取脂肪的量达到了最大,继续延长超声时间脱脂率不再上升。蛋白损失率随着超声时间的延长而增加。综合考虑,选择超声时间为120 min。

2.1.2 正交实验

在单因素实验的基础上,以脱脂率和蛋白损失率为考察指标,选择料液比、超声功率和超声时间3个因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交表进行正交实验优化,正交实验因素水平见表1,正交实验设计及结果见表2。

表1 正交实验因素水平

水平	A 料液比	B 超声功率/W	C 超声时间/min
1	1:15	300	100
2	1:20	400	120
3	1:25	500	140

表2 正交实验设计及结果

实验号	A	B	C	空列	脱脂率/%	蛋白损失率/%
1	1	1	1	1	76.53	8.69
2	1	2	2	2	79.41	12.21
3	1	3	3	3	87.97	13.57
4	2	1	2	3	73.12	11.35
5	2	2	3	1	90.85	11.49
6	2	3	1	2	88.14	10.56
7	3	1	3	2	77.87	12.82
8	3	2	1	3	85.89	9.55
9	3	3	2	1	87.46	12.04
脱脂率						
k_1	81.30	75.84	83.52	84.95		
k_2	84.04	85.38	80.00	81.81		
k_3	83.74	87.86	85.56	82.33		
R	2.74	12.02	5.56	3.14		
蛋白损失率						
k_1	11.49	10.95	9.60	10.74		
k_2	11.13	11.08	11.87	11.86		
k_3	11.47	12.06	12.63	11.49		
R	0.36	1.11	3.03	1.12		

由表2可知:对于脱脂率而言,各因素影响的主次顺序为 $B > C > A$,即超声功率 > 超声时间 > 料液比,最优方案为 $A_2B_3C_3$;对于蛋白损失率而言,各因素影响的主次顺序为 $C > B > A$,即超声时间 > 超声功率 > 料液比,由于蛋白损失率是越小越好,故最优方案为 $A_2B_1C_1$,两目标值的最优方案不相同,需要采用综合平衡法进行比较分析。

对于因素A,二者的最佳水平都相同,故选择 A_2 水平为宜;对于因素B(超声功率),其对脱脂率的影响最大,是主要因素,故选择 B_3 水平为宜;对于因素C(超声时间),通过比较其对脱脂率和蛋白损失率的极差值可知,因素C对脱脂率的影响高于对蛋白损失率的影响,因此选择 C_3 水平为宜。综上所述

述,选择最优方案为 $A_2B_3C_3$,即料液比为 1:20,超声功率为 500 W,超声时间为 140 min。在最优条件下进行验证实验,脱脂率为 91.23%,蛋白损失率为 11.32%。

2.2 酶解法制备核桃多肽工艺优化

2.2.1 单因素实验

2.2.1.1 酶解温度的影响

在底物质量分数 5.0%、加酶量 3.0%、酶解 pH 8、酶解时间 4.0 h 条件下,考察酶解温度对水解度和多肽得率的影响,结果如图 4 所示。

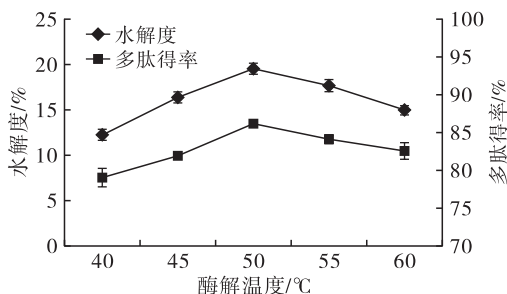


图 4 酶解温度对水解度和多肽得率的影响

由图 4 可见,水解度和多肽得率均随着酶解温度的升高呈先增加后降低的趋势,均在 50 °C 时达到最高值,这是因为酶存在最适的作用温度,过低或过高的温度都会导致蛋白酶活性降低,从而导致蛋白水解度和多肽得率降低。因此,选择酶解温度为 50 °C。

2.2.1.2 酶解 pH 的影响

在底物质量分数 5.0%、加酶量 3.0%、酶解温度 50 °C、酶解时间 4.0 h 条件下,考察酶解 pH 对水解度和多肽得率的影响,结果如图 5 所示。

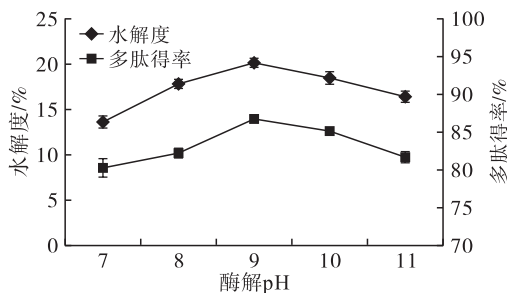


图 5 酶解 pH 对水解度和多肽得率的影响

由图 5 可见,随着酶解 pH 的增加,水解度和多肽得率都呈先增加后降低的趋势,在 pH 为 9 时均达到最大值,这是因为随着 pH 的增加,酶活性越来越高,在 pH 为 9 时达到最大,而当 pH 过高,导致蛋白酶活性降低,从而导致水解度和多肽得率降低。因此,选择酶解 pH 为 9。

2.2.1.3 加酶量的影响

在底物质量分数 5.0%、酶解 pH 8、酶解温度

50 °C、酶解时间 4.0 h 条件下,考察加酶量对水解度和多肽得率的影响,结果如图 6 所示。

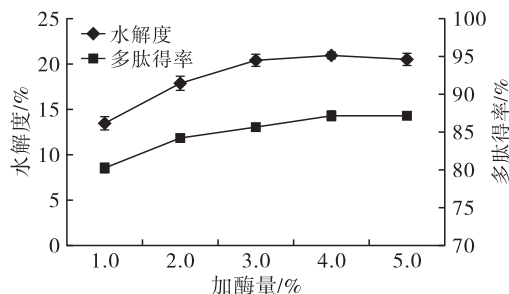


图 6 加酶量对水解度和多肽得率的影响

由图 6 可见,水解度和多肽得率均随着加酶量的增加呈先增后趋于平稳的趋势,这是因为原料浓度是固定的,当加酶量达到 3.0% 时达到了基本完全酶解。因此,选择加酶量为 3.0% 最佳。

2.2.1.4 酶解时间的影响

在底物质量分数 5.0%、加酶量 3.0%、酶解温度 50 °C、酶解 pH 8 条件下,考察酶解时间对水解度和多肽得率的影响,结果如图 7 所示。

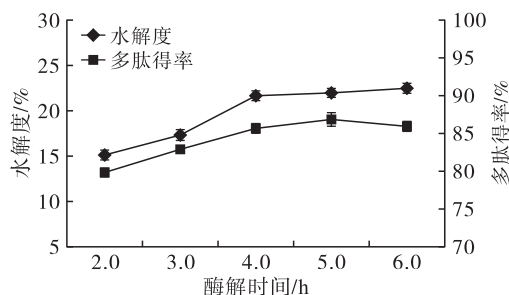


图 7 酶解时间对水解度和多肽得率的影响

由图 7 可见,水解度和多肽得率均随着酶解时间的延长而增加,当酶解时间超过 4.0 h 后,水解度增加趋势变缓,这是因为随着酶解时间的延长,酶的活性开始降低,多肽得率在 5.0 h 后开始降低,此时游离的肽过多,对蛋白酶的继续酶解产生抑制作用。因此,综合考虑选择酶解时间为 4.0 h。

2.2.2 正交实验

在单因素实验的基础上,以水解度和多肽得率为考察指标,以酶解温度、酶解 pH、加酶量和酶解时间为因素,在底物质量分数为 5.0% 条件下,采用 $L_9(3^4)$ 正交表进行正交实验,正交实验因素水平见表 3,正交实验设计及结果见表 4。

表 3 正交实验因素水平

水平	A 酶解温度/°C	B 酶解 pH	C 加酶量/%	D 酶解时间/h
1	45	8	2.0	3.0
2	50	9	3.0	4.0
3	55	10	4.0	5.0

表4 正交实验设计及结果

实验号	A	B	C	D	水解度/ %	多肽得率/ %
1	1	1	1	1	15.24	85.38
2	1	2	2	2	20.15	86.53
3	1	3	3	3	19.27	86.27
4	2	1	2	3	21.92	86.78
5	2	2	3	1	22.04	87.40
6	2	3	1	2	20.46	84.95
7	3	1	3	2	19.15	79.12
8	3	2	1	3	19.43	86.53
9	3	3	2	1	18.51	86.72
水解度						
k_1	18.22	18.77	18.38	18.60		
k_2	21.47	20.54	20.19	19.92		
k_3	19.03	19.41	20.15	20.21		
R	3.25	1.77	1.81	1.61		
多肽得率						
k_1	86.06	83.76	85.62	86.50		
k_2	86.38	86.82	86.68	83.53		
k_3	84.12	85.98	84.26	86.53		
R	2.26	3.06	2.42	3.00		

由表4可见:对于水解度,4个因素影响的主次顺序为A>C>B>D,即酶解温度>加酶量>酶解pH>酶解时间,最优方案为A₂B₂C₂D₃;对于多肽得率,4个因素影响的次要顺序为B>D>C>A,即酶解pH>酶解时间>加酶量>酶解温度,最优方案为A₂B₂C₂D₃,两种目标值的最优方案相同,故选择最优方案为A₂B₂C₂D₃,即酶解温度为50℃,酶解pH为9,加酶量为3.0%,酶解时间为5.0h。在最优条件下进行验证实验,水解度为22.63%,多肽得率为88.24%。

2.2.3 核桃多肽特性

对最优条件下制备的核桃多肽特性进行分析,结果见表5。

表5 核桃多肽特性

项目	指标
水分/%	0.82
粗蛋白质(N×6.25)/%	94.69
残油率/%	0.47
相对分子量/Da	
>5 000	0.43
3 000~5 000	0.51
2 000~3 000	1.13
1 000~2 000	6.32
500~1 000	25.81
180~500	53.23
<180	12.57

由表5可见,所制备的核桃多肽的水分含量和残油率均小于1%,粗蛋白质含量约95%,相对分子量主要分布在小于1 000 Da的范围内,占比为91.61%。相对分子量小于1 000 Da的多肽具有更好的功能活性,因此本实验可为制备小分子核桃多肽提供参考。

3 结论

以核桃饼为原料,采用超声辅助溶剂萃取法进行脱脂,以脱脂率和蛋白损失率为考察指标,通过单因素实验和正交实验分析了料液比、超声功率和超声时间3个因素的影响,得到最优的超声辅助脱脂条件,即料液比1:20、超声功率500 W、超声时间140 min,在最优条件下脱脂率为91.23%,蛋白损失率为11.32%。以核桃蛋白为原料,采用酶解法制备核桃多肽,通过单因素实验和正交实验考察了酶解温度、酶解pH、加酶量和酶解时间4个因素对水解度和多肽得率的影响,得到最优工艺条件为:酶解温度50℃,酶解pH 9,加酶量3.0%,酶解时间5.0 h。在最佳酶解条件下,水解度为22.63%,核桃多肽得率为88.24%。核桃多肽中相对分子量小于1 000 Da的多肽占比达91.61%。

参考文献:

- [1] 宋倩,赵声兰,刘彬球,等. 响应面法优化核桃壳总黄酮提取工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 214-217.
- [2] 蒲成伟, 阚欢, 刘云. 不同贮藏条件下核桃及其油脂品质的变化分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(2): 46-50.
- [3] 刘玲, 韩本勇, 陈朝银. 核桃蛋白研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(9): 116-118.
- [4] VENKATACHALAM M, SATHE S K. Chemical composition of selected edible nut seeds[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(13): 4705-4714.
- [5] SAVAGE G P. Chemical composition of walnuts (*Juglans regia* L.) grown in New Zealand[J]. Plant Food Hum Nutr, 2001, 56: 75-82.
- [6] FAO/WHO. Protein quality evaluation[M]. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1990: 66.
- [7] 唐诗琦, 刘小玲, 林莹, 等. 响应面法优化辣木籽蛋白质提取工艺的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2020(2): 34-41.
- [8] PREECEK E, HOOSHYAR N, KRIJGSMAN A J, et al. Pilot-scale ultrasound-assisted extraction of protein from soybean processing materials shows it is not recommended for industrial usage[J]. J Food Eng, 2017, 206: 1-12.
- [9] 易建华, 朱振宝, 董文宾. 核桃蛋白酶法水解工艺条件研究[J]. 食品科技, 2007, 32(3): 76-79.

(下转第67页)

- Plos One, 2019, 14(12): 1 – 13.
- [5] JIAO Y, ZHENG X Q, CHANG Y, et al. Zein – derived peptides as nanocarriers to increase the water solubility and stability of lutein[J]. Food Funct, 2018, 9(1): 117 – 123.
- [6] MEURER M C, MEES M, MARIANO L N B, et al. Hydroalcoholic extract of *Tagetes erecta* L. flowers, rich in the carotenoid lutein, attenuates inflammatory cytokine secretion and improves the oxidative stress in an animal model of ulcerative colitis[J]. Nutr Res, 2019, 66: 95 – 106.
- [7] 常景芝, 王琛, 李宜川, 等. 叶黄素对乳腺癌细胞活力的影响[J]. 中国病理生理杂志, 2018, 34(5): 930 – 933.
- [8] TAN C, XIA S Q, XUE J, et al. Liposomes as vehicles for lutein: preparation, stability, liposomal membrane dynamics, and structure[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(34): 8175 – 8184.
- [9] MORAES M, CARVALHO J M P, SILVA C R, et al. Liposomes encapsulating *beta* – carotene produced by the proliposomes method: characterization and shelf life of powders and phospholipid vesicles [J]. Int J Food Sci Technol, 2013, 48(2): 274 – 282.
- [10] FAN Y J, XIE X, ZHANG B F, et al. Absorption and antioxidant activity of lycopene nanoliposomes in vivo[J]. Curr Top Nutr Res, 2011, 9(4): 131 – 137.
- [11] CADDEO C, PUCCI L, GABRIELE M, et al. Stability, biocompatibility and antioxidant activity of PEG – modified liposomes containing resveratrol[J]. Int J Pharmaceut, 2018, 538(1/2): 40 – 47.
- [12] TAN C, XUE J, LOU X W, et al. Liposomes as delivery systems for carotenoids: comparative studies of loading ability, storage stability and in vitro release [J]. Food Funct, 2014, 5(6): 1232 – 1240.
- [13] 焦岩, 常影, 林巍, 等. 三聚磷酸钠修饰叶黄素纳米脂质体及释放性能研究[J]. 食品工业, 2017, 38(12): 63 – 67.
- [14] SEBAALY C, GREIGE – GERGES H, STAINMESSE S, et al. Effect of composition, hydrogenation of phospholipids and lyophilization on the characteristics of eugenol – loaded liposomes prepared by ethanol injection method[J]. Food Biosci, 2016, 15: 1 – 10.
- [15] GÜLTEKIN – ÖZGÜVEN M, KARADA Ğ A, DUMAN S, et al. Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan – coated liposomes and bioaccessibility studies [J]. Food Chem, 2016, 201: 205 – 212.
- [16] FATHIMA S J, FATHIMA I, ABHISHEK V, et al. Phosphatidylcholine, an edible carrier for nanoencapsulation of unstable thiamine[J]. Food Chem, 2016, 197: 562 – 570.
- [17] UZUN S, KIM H, LEAL C, et al. Ethanol – induced whey protein gels as carriers for lutein droplets[J]. Food Hydrocolloid, 2016, 61: 426 – 432.
- [18] 马愈迪, 李琳琳, 夏强. 复合维生素纳米乳液的表征及性能评价[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 51 – 54.
- [19] HAN X X, HUO P P, DING Z F, et al. Preparation of lutein – loaded PVA/sodium alginate nanofibers and investigation of its release behavior [J/OL]. Pharmaceutics, 2019, 11(9) [2020 – 06 – 24]. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11090449>.
- [20] 卜丽双, 王婷, 刘登帅, 等. 叶黄素微囊粉中叶黄素、玉米黄质检测方法的建立[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(2): 166 – 171.
- [21] 焦岩, 李大婧, 刘春泉, 等. 叶黄素纳米脂质体的制备工艺优化及其氧化稳定性[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 259 – 265.
- [22] 郝静梅, 孙志高, 盛冉, 等. 柠檬烯纳米脂质体的制备及其性质测定[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 173 – 179.
-
- (上接第 61 页)
- [10] 蒲首丞, 王金水. 酶解蛋白制备生物活性肽进展[J]. 粮食与油脂, 2005(3): 16 – 17.
- [11] CHEN H M, MURAMOTO K, YAMAUCHI F. Structural analysis of antioxidative peptides from soybean *beta* – conglycinin[J]. J Agric Food Chem, 1995, 43(3): 574 – 578.
- [12] 谢翠品, 敬思群, 刘帅, 等. 核桃蛋白酶解物分离纯化及体外抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2013, 38(3): 67 – 70.
- [13] OSBORNE T B, CAMPBELL G F. Conglutin and vitellin [J]. J Am Chem Soc, 2002, 18(7): 609 – 623.
- [14] 于婷婷, 韩飞, 陈光. 大豆降压肽研究进展[J]. 粮油食品科技, 2008, 16(2): 27 – 29.
- [15] NAKAJIMA Y, NAKASHIMA T, INABA K, et al. Effects of nitric oxide on the redox status of liver microsomes – electron spin resonance monitoring using nitroxide probes[J]. Hepatol Res, 2002, 24(1): 72 – 79.
- [16] 孔令明, 李芳, 陶永霞, 等. 多肽的功能活性与研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2009(3): 71 – 73.
- [17] 陈永浩, 裴晓惠, 王春霞, 等. 核桃蛋白肽制备及脱苦研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(24): 12219 – 12221, 12224.
- [18] 高盼, 杨歆萌, 马开创, 等. 核桃蛋白制备工艺研究[J]. 中国油脂, 2021, 46(1): 52 – 56, 75.