

油料蛋白

DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220453

# 原料压榨制油的预处理方式对核桃多肽功能特性和 ACE 抑制活性的影响

高盼<sup>1,2</sup>, 韩玉博<sup>1</sup>, 杨永<sup>2</sup>, 马开创<sup>1</sup>, 钟武<sup>1,2</sup>, 胡传荣<sup>1</sup>,  
何东平<sup>1,2</sup>, 张晖<sup>3</sup>, 张跃进<sup>4</sup>, 王兴国<sup>1,3</sup>

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北省农产品转化重点实验室, 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023;  
2. 武汉食品化妆品检验所 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全), 武汉 430012; 3. 江南大学  
食品学院, 江苏 无锡 214122; 4. 云南摩尔农庄生物科技开发有限公司, 云南 楚雄 675000)

**摘要:**旨在研究原料压榨制油的预处理方式对核桃多肽性质的影响。对核桃仁分别进行未预处理、去衣、焙烤预处理后, 进行压榨提油, 以提油后的饼为原料, 经正己烷脱脂, 碱性蛋白酶酶解制备核桃多肽, 测定核桃多肽的功能特性和 ACE 抑制活性。结果表明: 与未预处理、焙烤预处理比较, 去衣预处理的核桃多肽的持水性(50℃, 5.11 g/g)、吸油性(50℃, 3.25 g/g)、乳化性(pH 9.0, 62.57%)、乳化稳定性(pH 9.0, 84.51%)、起泡性(pH 9.0, 117.49%)及 ACE 抑制率(63.04%)最高。综上, 以去衣预处理压榨制油后的核桃饼为原料制备的核桃多肽具有良好的功能特性和 ACE 抑制活性。

**关键词:**核桃; 多肽; 压榨; 预处理方式; 功能特性; ACE 抑制活性

中图分类号: TS253; TS222+.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)09-0083-06

## Effect of raw material pretreatment method in oil pressing on functional characteristics and ACE inhibitory activity of walnut polypeptide

GAO Pan<sup>1,2</sup>, HAN Yubo<sup>1</sup>, YANG Yong<sup>2</sup>, MA Kaichuang<sup>1</sup>, ZHONG Wu<sup>1,2</sup>,  
HU Chuanrong<sup>1</sup>, HE Dongping<sup>1,2</sup>, ZHANG Hui<sup>3</sup>,  
ZHANG Yuejin<sup>4</sup>, WANG Xingguo<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil of Ministry of Education in China, Hubei Key Laboratory for Processing and Transformation of Agricultural Products, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Key Laboratory of Edible Oil Quality and Safety for State Market Regulation, Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430012, China; 3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 4. Yunnan Moore Farm Biotechnology Development Co., Ltd., Chuxiong 675000, Yunnan, China)

**Abstract:** The aim was to study the effect of pretreatment methods of raw material pressing for oil on the properties of walnut polypeptide. The walnut kernels were untreated, peeled and roasted respectively, then pressed to extract oil. The cake after oil extraction was defatted by *n*-hexane and hydrolyzed by

收稿日期: 2022-06-27; 修回日期: 2023-06-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(32001735); 云南省重大科技专项计划——生物种业和农产品精深加工重大专项(202102AE090055)

作者简介: 高盼(1990), 女, 讲师, 博士, 研究方向为油脂及植物蛋白(E-mail) gaopan925@163.com。

alkaline protease to produce walnut polypeptide, and the functional properties and ACE inhibitory activity of walnut polypeptide were determined. The results showed that compared with no treatment and roasting pretreatment, walnut polypeptide obtained by peeling of raw material had the highest water holding capacity (50℃,

5.11 g/g), oil absorption (50 °C, 3.25 g/g), emulsifying ability (pH 9.0, 62.57%), emulsifying stability (pH 9.0, 84.51%), foaming ability (pH 9.0, 117.49%) and ACE inhibitory rate (63.04%). In conclusion, the walnut polypeptide prepared from walnut cake after peeling and pressing for oil production had good functional properties and ACE inhibitory activity.

**Key words:** walnut; polypeptide; pressing; pretreatment method; functional property; ACE inhibitory activity

核桃(*Juglans regia* L.)是胡桃科胡桃属植物,是我国重要的木本油料植物。我国核桃的种植面积和产量均居世界第一位<sup>[1-2]</sup>,根据中国林业统计数据,2021年我国核桃产量达到540万t<sup>[3]</sup>。我国对于经济林,特别是核桃产业发展的重视程度不断提高,中央1号文件连续3年明确提出,要积极发展核桃等特色经济林。核桃仁中含有大量的蛋白质,其含量为18%~24%<sup>[4-5]</sup>,核桃油加工过程中会产生核桃饼粕等副产物<sup>[6]</sup>,通过对核桃饼粕的有效利用,可提高核桃产品的附加值,充分体现其经济价值。

植物蛋白水解后得到的多肽营养吸收特性优于氨基酸和蛋白质<sup>[7-9]</sup>。多肽不仅能提供人体生长、发育所需要的营养物质,还具有抗氧化、抗菌、抑制血管紧张素转换酶(ACE)活性、抗癌、抗肿瘤、免疫调节和造血等多种生理活性<sup>[10-13]</sup>。核桃多肽的加工利用是核桃蛋白的一种高价值转化,对促进我国农业生产可持续发展,实现核桃产品品种多样化和健康食品开发具有重要意义。

目前,对核桃多肽的研究主要集中在营养功效上,如核桃多肽能提高老年性痴呆模型小鼠的抗氧化能力<sup>[14]</sup>,对消化<sup>[15]</sup>和癌症治疗<sup>[16]</sup>有潜在的益处等,但有关制油原料预处理工艺对核桃多肽功能特性影响的报道较少。制油原料预处理方式会影响核桃蛋白的品质,高温焙烤会降低核桃蛋白的溶解性、吸油性等功能特性<sup>[17]</sup>,去衣能提高核桃蛋白的提取率<sup>[18-19]</sup>。因此,推测制油原料预处理方式可能对蛋白质水解得到的多肽也会产生影响,但目前鲜见这方面的研究报道。为此,本文研究了压榨制油工艺中不同原料预处理方式对核桃多肽功能特性及ACE抑制活性的影响,以期筛选合适的原料预处理方式,为核桃多肽在食品中的应用及深度开发利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

核桃(核桃仁的水分含量为5.78%),由湖北圭

萃园农林股份有限公司提供。碱性蛋白酶(200 000 U/g),南京庞博生物工程有限公司;菜籽油,成都新兴粮油有限公司;氢氧化钠、盐酸、浓硫酸、硼酸溶液、甲醛、乙酸乙酯、正己烷等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;血管紧张素转换酶(ACE)、马尿酸-组氨酰-亮氨酸(HHL),北京索莱宝科技有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

TDSZ台式离心机,湖南凯达科学仪器有限公司;涡旋混匀器,上海达姆实业有限公司;电子天平,上海精密仪器仪表有限公司;通用实验室pH计,上海奥豪斯仪器有限公司;K9840自动凯氏定氮仪,济南海能仪器有限公司;UV-754分光光度计,上海精密仪器仪表有限公司;Z300型榨油机,益加益机械设备有限公司;HDF-D高速分散均质机,宁波新芝生物科技股份有限公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 核桃多肽的制备

#### 1.2.1.1 压榨制油原料预处理

未预处理:将核桃去壳留仁,通过螺旋榨油机压榨提油后得到核桃饼。

去衣:将核桃去壳留仁,采用4% NaOH浸泡核桃仁5 min后去衣,40 °C烘烤24 h后,通过螺旋榨油机压榨提油后得到核桃饼。

焙烤:将核桃去壳留仁,将核桃仁放入烘箱中160 °C烘烤10 min,室温冷却后通过螺旋榨油机压榨提油后得到核桃饼。

#### 1.2.1.2 脱脂

将核桃饼粉碎,过0.425 mm(40目)筛,用滤纸包好,按料液比1:20置入正己烷中浸泡,在30 °C、180 W下超声100 min后,过滤上层清液于50 °C真空旋转蒸发回收正己烷,沉淀于50 °C真空烘干去除残余溶剂,得到核桃蛋白粉。

#### 1.2.1.3 酶解

将核桃蛋白粉按料液比1:20加水混合搅拌,加入3.0%碱性蛋白酶,用1.0 mol/L的NaOH溶液调节溶液pH为8.5,130 °C酶解5.0 h。在90 °C下灭

酶 10 min, 3 000 r/min 离心 5 min, 取上清液, 冷冻干燥得到核桃多肽。

### 1.2.2 核桃多肽基本理化性质及分子质量分布的测定

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; 水溶性氮含量的测定参照 NY/T 1205—2006, 氮溶解指数为水溶性氮占总氮含量的比例; 分子质量分布的测定参考 GB/T 22492—2008。

### 1.2.3 核桃多肽功能特性的测定

#### 1.2.3.1 持水性的测定

测定不同温度下核桃多肽的持水性。称取 1 g 核桃多肽样品于 50 mL 离心管(离心管质量记为  $m$ )中, 加入 20 mL 蒸馏水, 用涡旋混匀器混匀 30 s, 在不同温度的水浴锅中静置 30 min 使之充分吸水, 8 500 r/min 离心 20 min, 倒出上层液体, 称残留物和离心管质量(记为  $m_0$ ), 将残留物和离心管冷冻干燥后称质量(记为  $m_1$ ), 按式(1)计算持水性( $y_1$ )。

$$y_1 = \frac{m_0 - m_1}{m_1 - m} \quad (1)$$

#### 1.2.3.2 吸油性的测定

测定不同温度下核桃多肽的吸油性。称取 0.5 g 核桃多肽样品于 10 mL 离心管(离心管质量记为  $m_2$ )中, 加入 5 mL 菜籽油, 涡旋混匀 1 min, 于不同温度的水浴锅中静置 1 h, 8 500 r/min 离心 15 min, 倒出未被吸附的菜籽油, 称残留物和离心管质量(记为  $m_3$ ), 按式(2)计算吸油性( $y_2$ )。

$$y_2 = \frac{m_3 - m_2 - 0.5}{0.5} \quad (2)$$

#### 1.2.3.3 乳化性及乳化稳定性的测定

测定不同 pH 下核桃多肽的乳化性及乳化稳定性。称取 0.5 g 核桃多肽样品于 50 mL 水中, 用高速分散均质机 10 000 r/min 均质 1 min, 使用 1.0 mol/L 的 HCl 和 1.0 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 后, 加入 50 mL 菜籽油, 用高速分散均质机 10 000 r/min 均质 3 min, 1 000 r/min 离心 5 min, 记录乳化层高度( $H_1$ )和离心管中物料总高度( $H$ ); 将上述样品置于 80 °C 水浴中 30 min 后, 冷却至室温再 1 500 r/min 离心 5 min, 记录此时乳化层的高度( $H_2$ )。分

别按式(3)和式(4)计算乳化性( $y_3$ )和乳化稳定性( $y_4$ )。

$$y_3 = H_1/H \times 100\% \quad (3)$$

$$y_4 = H_2/H_1 \times 100\% \quad (4)$$

#### 1.2.3.4 起泡性及泡沫稳定性的测定

测定不同 pH 下核桃多肽的起泡性及泡沫稳定性。称取 0.5 g 核桃多肽样品于量筒中, 加 50 mL 水, 使用 1.0 mol/L 的 HCl 和 1.0 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH, 用高速分散均质机 10 000 r/min 均质 2 min, 记录均质前溶液的体积( $V$ )和均质后溶液和泡沫的体积( $V_1$ ); 将上述样品静置 30 min 后记录溶液和泡沫的体积( $V_2$ )。分别按式(5)和式(6)计算起泡性( $y_5$ )和泡沫稳定性( $y_6$ )。

$$y_5 = \frac{V_1 - V}{V} \times 100\% \quad (5)$$

$$y_6 = \frac{V_2 - V}{V_1 - V} \times 100\% \quad (6)$$

#### 1.2.4 ACE 抑制活性的测定

取 80  $\mu$ L 25 mmol/L 的 HHL 溶液, 分别加入 100  $\mu$ L 的去离子水和 10  $\mu$ L 的核桃蛋白酶解液(样品), 混合后置于 37 °C 恒温水浴中水浴 3 min, 然后再加入 10  $\mu$ L 25  $\times 10^{-3}$  U/mL 的 ACE 溶液。在 37 °C 恒温条件下保持 30 min, 加入 0.2 mL 1 mol/L 的 HCl 溶液终止反应, 再加入 1.2 mL 乙酸乙酯混合 15 s, 萃取反应中释放出的马尿酸, 在 3 500 r/min 下离心 5 min 后取出 0.8 mL 脂层溶液, 在 120 °C 下烘干, 复溶于 3 mL 的去离子水中, 在波长 228 nm 处测定吸光度, 按式(7)计算 ACE 抑制率( $y_7$ )。

$$y_7 = \frac{A_4 - A_5}{A_4 - A_6} \times 100\% \quad (7)$$

式中:  $A_4$  为不加样品的吸光度;  $A_5$  为加样品和 ACE 溶液的吸光度;  $A_6$  为不加 ACE 溶液的吸光度。

#### 1.2.5 数据处理

利用 Excel 2016 进行统计分析和作图, 所有试验均重复 3 次, 结果用平均值表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 核桃多肽的基本理化性质及分子质量分布

压榨制油的不同原料预处理方式制备的核桃多肽基本理化性质见表 1。

表 1 核桃多肽基本理化性质

预处理方式	水分	蛋白质	粗脂肪	氮溶解指数
未预处理	0.84 $\pm$ 0.02	82.73 $\pm$ 0.31	0.41 $\pm$ 0.01	94.28 $\pm$ 1.14
焙烤	0.82 $\pm$ 0.02	82.69 $\pm$ 0.61	0.47 $\pm$ 0.00	93.37 $\pm$ 2.33
去衣	0.79 $\pm$ 0.04	82.68 $\pm$ 0.28	0.36 $\pm$ 0.01	96.12 $\pm$ 1.06

由表 1 可知,不同压榨制油原料预处理方式制备的核桃多肽中蛋白质含量均在 82% 以上。3 种核桃多肽均具有良好的溶解性,氮溶解指数为 93.37% ~ 96.12%,其中去衣预处理的核桃多肽氮溶解指数最高,其次是未预处理的,而焙烤预处理的最低。这是因为焙烤预处理经过高温过程,蛋白质发生变性,影响了多肽的溶解性。

压榨制油的不同原料预处理方式制备的核桃多肽分子质量分布见表 2。

表 2 核桃多肽分子质量分布

分子质量/Da	含量/%		
	未预处理	焙烤	去衣
> 5 000	0.39	0.71	0.43
(3 000 ~ 5 000]	0.44	1.23	0.51
(2 000 ~ 3 000]	1.56	2.86	1.13
(1 000 ~ 2 000]	8.27	15.53	6.32
(500 ~ 1 000]	27.33	31.32	25.81
[180 ~ 500]	51.27	38.14	53.23
< 180	10.74	10.21	12.57

由表 2 可知,3 种压榨制油原料预处理方式制备的核桃多肽分子质量主要分布在小于 1 000 Da 的范围内,占总量的 79% 以上,其中去衣预处理核桃多肽的达到 91.61%,核桃蛋白的水解效果最好。未预处理制备的核桃多肽分子质量小于 1 000 Da 的约占 89.34%,比焙烤预处理制备的核桃多肽高约 10 个百分点。综上,原料经焙烤预处理得到的核桃蛋白的水解效果较去衣压榨和未预处理压榨的差。

## 2.2 核桃多肽的功能特性

### 2.2.1 持水性

压榨制油原料预处理方式对核桃多肽持水性的影响如图 1 所示。

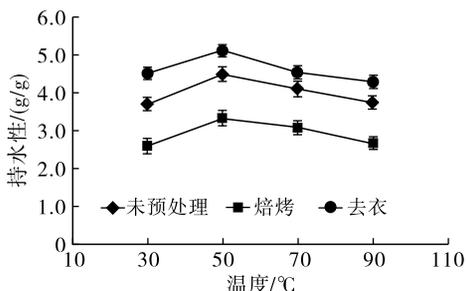


图 1 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽持水性的影响

由图 1 可知,核桃多肽的持水性随着温度的升高先增加后降低,50 °C 时持水性最好,这是因为随着温度的升高,蛋白质发生适度的热变性,延展性变好,能较好地吸收水分,但当温度过高时,蛋白质变性导致其空间结构被破坏,分子上的氢键减少,使得蛋白质分子和离子基团的水合作用减弱,持水性降

低。3 种压榨制油原料预处理方式制备的核桃多肽持水性从大到小依次为去衣 > 未预处理 > 焙烤,其中 50 °C 时去衣预处理制备的核桃多肽持水性达到 5.11 g/g。

### 2.2.2 吸油性

压榨制油原料预处理方式对核桃多肽吸油性的影响如图 2 所示。

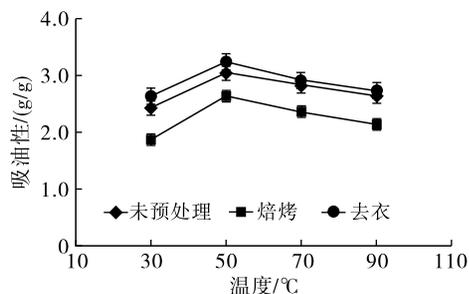


图 2 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽吸油性的影响

由图 2 可知,核桃多肽的吸油性随着温度的升高先增加后降低,50 °C 时吸油性最高。去衣预处理的核桃多肽吸油性最高,50 °C 时达到了 3.25 g/g。这可能是由于去衣预处理的核桃多肽分子质量较小,使其吸油性提高。

### 2.2.3 乳化性和乳化稳定性

压榨制油原料预处理方式对核桃多肽乳化性和乳化稳定性的影响分别如图 3 和图 4 所示。

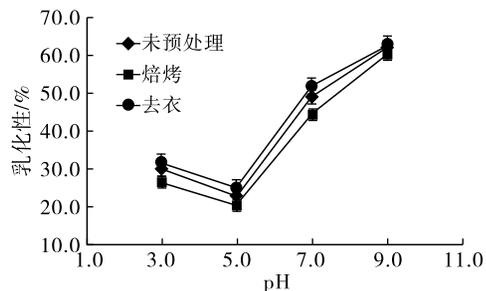


图 3 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽乳化性的影响

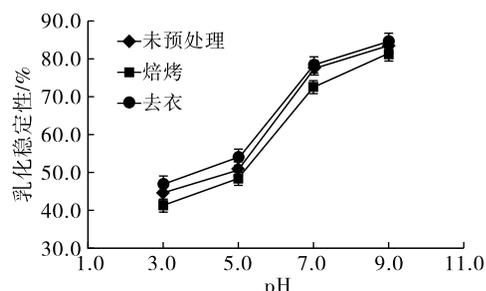


图 4 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽乳化稳定性的影响

由图 3 可知,3 种核桃多肽的乳化性均随 pH 的升高先降低后增加,pH 5.0 时乳化性最低,原因可能是 pH 为 5.0 时处在核桃蛋白的等电点附近,蛋白质所带电荷为零,不易形成水化层,使得形成的乳

化粒子易发生絮凝和聚集,导致乳化性降低<sup>[20]</sup>。去衣预处理制备的核桃多肽乳化性最优,pH 9.0时乳化性高达62.57%。

由图4可知,3种核桃多肽的乳化稳定性均随pH的升高逐渐增加,当pH超过7.0时,增长速度变缓。去衣预处理的核桃多肽乳化稳定性最好,pH 7.0时达到78.38%,pH 9.0时高达84.51%,这可能是因为去衣预处理的核桃多肽中小分子质量的多肽较多,所以乳化稳定性最好。

#### 2.2.4 起泡性和泡沫稳定性

多肽的起泡性和泡沫稳定性在食品工业中有着重要的作用。压榨制油原料预处理方式对核桃多肽起泡性和泡沫稳定性的影响分别如图5和图6所示。

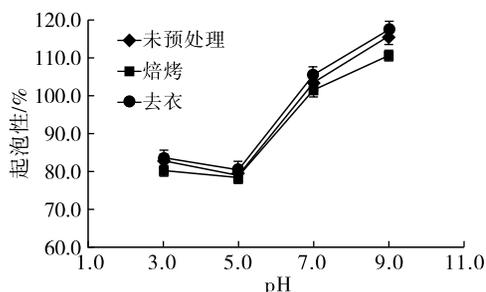


图5 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽起泡性的影响

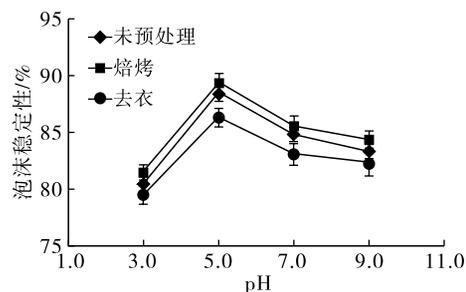


图6 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽泡沫稳定性的影响

由图5可知,3种核桃多肽的起泡性均随着pH的增大先降低后升高,其中去衣预处理的核桃多肽起泡性最好,pH 9.0时达到了117.49%。这是因为去衣预处理的核桃多肽中小分子多肽含量较高,小分子多肽越多,体系就越容易形成液膜,越容易起泡。

由图6可知,3种核桃多肽泡沫稳定性均随着pH的增加先升高后降低,其中去衣预处理的核桃多肽泡沫稳定性最差,而焙烤预处理的核桃多肽泡沫稳定性最好,pH 5.0时为89.35%。去衣预处理的核桃多肽泡沫稳定性最差的原因可能是,去衣预处理多肽中的小分子质量多肽相对较多,其液膜强度较弱,导致泡沫稳定性弱于其他两种预处理方式制

备的核桃多肽。

#### 2.3 ACE抑制活性

压榨制油原料预处理方式对核桃多肽ACE抑制率的影响如图7所示。

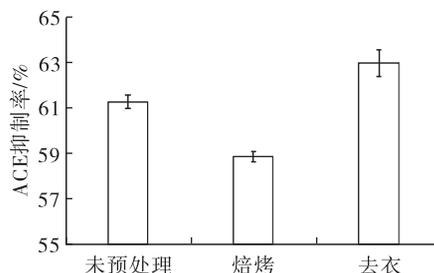


图7 压榨制油原料预处理方式对核桃多肽ACE抑制率的影响

由图7可知,焙烤预处理的核桃多肽ACE抑制率较低,仅为58.89%。这是因为原料焙烤时的高温会对蛋白质产生影响,导致制备的多肽功能活性降低。而去衣核桃多肽的ACE抑制率最高,为63.04%,可见去衣处理能提升核桃多肽的品质,这也为生产高品质核桃蛋白产品提供了理论依据。

#### 3 结论

通过比较未预处理、烘烤和去衣3种压榨制油的原料预处理方式制备的核桃多肽的分子质量、持水性、吸油性、乳化性、乳化稳定性、起泡性、泡沫稳定性以及ACE抑制活性发现,3种预处理方式得到的核桃多肽功能特性随pH或温度的变化趋势相似。综合来看,去衣的核桃多肽功能特性最好,其持水性(50℃)为5.11 g/g,吸油性(50℃)为3.25 g/g,乳化性(pH 9.0)为62.57%,乳化稳定性(pH 9.0)为84.51%,起泡性(pH 9.0)为117.49%,泡沫稳定性(pH 5.0)为89.35%,ACE抑制率为63.04%。因此,可以去衣压榨提油后的饼为原料制备核桃多肽。

#### 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] 王瑞元. 认真研究解决核桃产业发展中的问题,促进核桃产业健康发展:在国家核桃油及核桃加工产业创新战略联盟第三届年会上的发言[J/OL]. 中国油脂, 2022: 1-2[2023-05-31]. <https://doi.org/10.9902/j.cnki.1003-7969.z221101>.
- [4] 豁银强,刘传菊,聂荣祖,等. 核桃蛋白的组成、制备及特性研究进展[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(12): 191-197.
- [5] LIU Y, WEI K, MENG X, et al. Separation and

- identification of iron - chelating peptides from defatted walnut flake by nanoLC - ESI - MS/MS and de novo sequencing [J]. *Process Biochem*, 2017, 59:223 - 228.
- [6] 郭蔓莉, 吴澎, 赵路苹, 等. 核桃加工副产物的综合利用及精深加工[J]. *粮油食品科技*, 2018, 26(2): 25 - 29.
- [7] 李昌文, 张丽华, 纵伟. 核桃多肽制备技术及生理活性研究进展[J]. *食品工业*, 2020, 41(9):257 - 259.
- [8] 姜莉, 徐怀德, 陈金海, 等. 核桃多肽果味酸奶的研制[J]. *中国乳品工业*, 2012, 40(12): 54 - 57.
- [9] 张兴灿. 核桃蛋白多肽新型酶解制备工艺的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
- [10] CHEN N, YANG H, SUN Y. Purification and identification of antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates[J]. *Peptides*, 2012, 38(2): 344 - 349.
- [11] 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(3): 67 - 70.
- [12] 慈傲特. 山核桃饼粕抗氧化肽的制备与鉴定[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [13] 姜丽, 徐怀德, 陈金海. 核桃多肽功能特性的研究[J]. *食品科技*, 2013, 38(1): 228 - 231.
- [14] YANG Z, LIU J, YAN X, et al. Effect of walnut polypeptide on lipids in *D* - galactose induced senile dementia model mice [J]. *Food Sci*, 2015, 31(4): 575 - 582.
- [15] 陈树俊, 李乐, 胡洁, 等. 核桃多肽 - 苦荞 - 藜麦复合粉制备工艺及体外消化和抗氧化功能特性分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(12):254 - 261.
- [16] JAHANBANI R, GHAFARI S M, SALAMI M, et al. Antioxidant and anticancer activities of walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates using different proteases [J]. *Plant Food Hum Nutr*, 2016, 71(4):402 - 409.
- [17] 郭兴峰, 陈计峦, 林燕, 等. 热榨和冷榨核桃饼粕中蛋白质提取及其性质研究[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(18):287 - 292.
- [18] 张红, 姚舜, 李国军, 等. 核桃仁脱皮和蛋白提取研究[J]. *粮食与油脂*, 2003(12):22 - 23.
- [19] 裴昊铭, 张彩猛, 李兴飞, 等. 去皮处理对水法提取核桃仁蛋白质和脂质的影响[J]. *中国油脂*, 2021, 46(12):11 - 15.
- [20] 薛蕾, 李大文, 尉芹, 等. 苦杏仁蛋白的功能特性[J]. *食品科学*, 2013, 34(7): 70 - 75.
- (上接第 66 页)
- [16] 王灵燕. 可可脂改良剂的生物合成[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2011.
- [17] 陈洋, 董鹏, 王小三, 等. 无溶剂体系酶促酸解合成富含 1,3 - 二硬脂酸 - 2 - 油酸甘油三酯的工艺研究[J]. *中国油脂*, 2018, 43(7): 57 - 60.
- [18] KADIVAR S, DE CLERCQ N, VAN DE WALLE D, et al. Optimisation of enzymatic synthesis of cocoa butter equivalent from high oleic sunflower oil [J]. *J Sci Food Agric*, 2014, 94(7): 1325 - 1331.
- [19] 孙晓洋, 孟宏昌, 毕艳兰, 等. Lipozyme TL IM 脂肪酶催化茶油酯交换制备类可可脂的研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(12): 72 - 76,87.
- [20] 宋海东, 魏安池, 赵凯艳, 等. 影响酶催化制备类可可脂过程中酰基位移和酯交换因素研究[J]. *粮食与油脂*, 2014, 27(2): 1 - 4.
- [21] 邹孝强, 高盼, 徐林海, 等. 基于核桃油的中长链甘油三酯的酶法制备及纯化[J]. *中国油脂*, 2022, 47(4): 58 - 63.
- [22] 孙聪, 张浩, 敖小惠, 等. 酶促酸解制备 1 - 油酸 - 2 - 棕榈酸 - 3 - 亚油酸甘油三酯[J]. *中国油脂*, 2021, 46(4): 92 - 98.
- [23] 孙聪. 人乳替代脂的组成、相似性评价及制备研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2018.
- [24] LEE J H, SON J M, AKOH C C, et al. Optimized synthesis of 1,3 - dioleoyl - 2 - palmitoylglycerol - rich triacylglycerol via interesterification catalyzed by a lipase from *Thermomyces lanuginosus* [J]. *New Biotechnol*, 2010, 27(1): 38 - 45.
- [25] MACRAE A R. Lipase - catalyzed interesterification of oils and fats [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1983, 60(2): 291 - 294.
- [26] CIFTCI O N, FADILUĞLU S, GOGUS F. Conversion of olive pomace oil to cocoa butter - like fat in a packed - bed enzyme reactor [J]. *Bioresour Technol*, 2009, 100(1): 324 - 329.
- [27] 陆继源. 酶法酯交换合成中长碳链结构甘油三酯[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2017.
- [28] 范晓波, 孟宗, 陈琰, 等. 油酸与极度氢化大豆油酶促酸解过程中油酸位置分布规律研究[J]. *粮食与食品工业*, 2016, 23(2): 13 - 18.
- [29] 周海燕. Lipozyme TL IM 催化棕榈液油酯交换规律研究及产品特性表征[D]. 广州: 暨南大学, 2021.