

# 芝麻多肽对美拉德反应制备的浓香芝麻油风味的影响及其膜分离纯化工艺优化

刘春晓<sup>1</sup>, 王斌<sup>2</sup>, 高盼<sup>1,2</sup>, 胡传荣<sup>1,2</sup>, 何东平<sup>1,2</sup>

(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:**以芝麻多肽和精炼芝麻油为原料, 利用美拉德生香源反应制备浓香芝麻油, 研究不同水解度的芝麻多肽对浓香芝麻油感官综合评分的影响, 采用高效液相色谱对浓香芝麻油感官综合评分最高的芝麻多肽进行相对分子质量分布分析, 并对该芝麻多肽膜分离纯化工艺进行优化。结果表明: 水解度为 20% 的芝麻多肽制备的浓香芝麻油感官综合得分最高, 可达 5.4 分; 水解度为 20% 的芝麻多肽中 1 000 Da 以下的芝麻多肽占 83.33%, 对美拉德生香源反应的影响最大; 芝麻多肽最佳膜分离纯化工艺条件为酶解液 pH 8.0、膜分离压力 0.32 MPa、膜分离温度 35.5 °C、膜分离时间 30 min, 在此条件下膜通量可达 89.20 g/(m<sup>2</sup>·min)。

**关键词:**浓香芝麻油; 芝麻多肽; 感官评价; 水解; 膜通量

中图分类号: TS225.1; TS229 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)07-0069-06

## Effect of sesame polypeptide on fragrant flavor sesame oil prepared with Maillard reaction and optimization of membrane separation and purification process of sesame polypeptide

LIU Chunxiao<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>2</sup>, GAO Pan<sup>1,2</sup>, HU Chuanrong<sup>1,2</sup>, HE Dongping<sup>1,2</sup>

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

**Abstract:** Fragrant sesame oil was prepared by Maillard reaction with refined sesame oil and sesame polypeptide used as raw materials. The effect of sesame polypeptide with different degrees of hydrolysis on the sensory comprehensive score of fragrant flavor sesame oil was studied. The relative molecular weight distribution of sesame polypeptide with the highest sensory comprehensive score of fragrant flavor sesame oil was determined by high performance liquid chromatography (HPLC), and the separation and purification process of the sesame polypeptide with membrane was optimized. The results showed that the highest sensory comprehensive score of fragrant flavor sesame oil was 5.4 when the degree of hydrolysis (DH) was 20%. The sesame polypeptide less than 1 000 Da accounted for 83.33%, which had the greatest effect on Maillard aroma reaction. The optimal membrane conditions for sesame polypeptide separation and purification were obtained as follows: enzymatic solution pH 8.0, membrane separation pressure 0.32 MPa, membrane separation temperature 35.5 °C, membrane separation time 30 min. Under the optimal conditions, the membrane flux could reach 89.20 g/(m<sup>2</sup>·min).

**Key words:** fragrant sesame oil; sesame polypeptide; sensory evaluation; hydrolysis; membrane flux

收稿日期: 2020-09-07; 修回日期: 2021-04-27

作者简介: 刘春晓(1995), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail) 1429214414@qq.com。

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

芝麻是我国最重要的油料作物之一, 芝麻榨油后的副产物芝麻饼粕中蛋白质含量为 38%~50%, 芝麻蛋白具有较高的应用潜力<sup>[1]</sup>。芝麻多肽是芝麻蛋白经酶水解后得到的有生物活性的小分子肽,

与蛋白质相比,小分子肽容易被人体吸收利用,且具有抗氧化、抗菌、降血压、调节免疫等生理活性<sup>[2-5]</sup>。多肽不仅具有较高的生物效价<sup>[6]</sup>,而且可以作为热反应前体物质参与美拉德生香源反应,从而为食品带来不同的风味特征或起到增强食品风味的作用,是一种较好的风味增强剂<sup>[7]</sup>。

美拉德反应是羰基化合物与氨基化合物之间发生的一种复杂反应。美拉德反应广泛存在于各类食品加工中,因可产生诱人的色泽、浓郁的芳香及醇厚的滋味而受到人们的关注<sup>[8-9]</sup>。美拉德生香源反应可以通过控制原材料、反应温度及加工方法,制备各种具有不同浓郁香味的浓香油脂<sup>[10-11]</sup>。多肽是美拉德反应的重要前体物质,能与还原糖经加热处理后产生特殊的风味,显著增强食品的滋味<sup>[12]</sup>。Ogasawara 等<sup>[13]</sup>采用美拉德反应制备 1 000 ~ 5 000 Da 的大豆肽,产物具有良好的风味增强效果,同时日本豆酱中呈味成分的核心物质也是多肽<sup>[14]</sup>。

目前对芝麻多肽的研究多集中在芝麻多肽的抗氧化性上,对不同水解度的芝麻多肽酶解液制备浓香芝麻油的研究不多。本研究以芝麻粕为原料,通过改变酶解反应时间获得不同水解度的芝麻多肽,以美拉德生香源反应工艺制备浓香芝麻油,以感官评价为标准,探究不同水解度芝麻多肽对制备的浓香芝麻油感官风味的影响,得到最适合美拉德生香源反应制备浓香芝麻油的芝麻多肽。以膜通量为指标,分别研究膜分离时间、膜分离压力、酶解液 pH、膜分离温度对芝麻多肽膜分离纯化的影响,并利用响应面法进一步优化膜分离纯化芝麻多肽的工艺条件,为芝麻多肽酶解液制备浓香芝麻油提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

芝麻粕(蛋白质含量(43.49 ± 1.20)%,粗脂肪含量(0.50 ± 0.07)%,灰分含量(12.23 ± 0.10)%,水分含量(4.79 ± 0.01)%,粗纤维含量(7.65 ± 0.05)%),合肥燕庄油脂责任有限公司;精炼芝麻油、小磨香油,益海嘉里有限公司;冷榨芝麻清油,山东香达人食品股份有限公司。

Alcalase 碱性蛋白酶(200 000 U/g),南宁庞博生物工程有限公司;盐酸、氢氧化钠、正己烷、硼酸、硫酸、冰乙酸、硫酸铜、硫酸钾、碳酸钠均为分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司;甘氨酸-甘氨酸-酪氨酸-精氨酸(纯度 97%,相对分子质量 451 Da),美国 Sigma-Aldrich 公司;抑肽酶(6 000 U/mg,相对分子质量 6 511 Da)、细胞色素 C(纯度 95%,

相对分子质量 12 355 Da),上海源叶生物科技有限公司。

DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器;ZN-100A 型粉碎机;FD-8 型冷冻干燥机;TD5A-WS 离心机;梅特勒 FE20 pH 计;101-1-S 数显鼓风干燥箱;K9840 自动凯氏定氮仪;SOX406 脂肪测定仪;超滤膜设备(膜材料为亲水性聚醚砜膜,截留相对分子质量 1 000 Da),上海摩速科学器材有限公司;Waters1525 高效液相色谱仪(配 2487 紫外检测器和 Chromeleon 7 GPC 数据处理软件)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 不同水解度芝麻多肽酶解液的制备

取 50 g 芝麻粕用粉碎机粉碎,过 0.180 mm 孔径(80 目)筛。称取一定量的芝麻粕粉,以 3% 的底物浓度溶于 pH 8.5 0.2 mol/L 的磷酸盐缓冲液中。按照 3 000 U/g 的加酶量加入 Alcalase 碱性蛋白酶,充分混合均匀,置于 50 °C 的水浴中开始反应。酶解过程中采用 pH-stat 法<sup>[15]</sup>检测水解度。酶解至特定水解度后,将酶解液加热到 105 °C,保持 10 min 以终止酶解反应,冷却至 20 °C,于 4 000 r/min 离心 10 min,收集上清液备用。

#### 1.2.2 浓香芝麻油的制备

称取 20 mL 芝麻多肽酶解液上清液,加入 50 mL 精炼芝麻油混合,加热至 130 °C,反应 30 min 后冷却至 20 °C,离心过滤,制得浓香芝麻油。

#### 1.2.3 浓香芝麻油的感官评价

由武汉轻工大学食品科学与工程学院的 15 名评估者进行感官评价。15 名评估者在评估前根据 ISO 8586 的准则接受培训,并通过了筛选测试,以便熟悉芝麻油的感官属性并提高其识别、鉴定样品芝麻风味、焦糊味和香味持久性的能力。要求评估者对每个样品进行品尝,对评定项目进行独立打分。品尝后,评估人员使用温水漱口,以免影响下一个样品的感官评价。所有感官评价均在室温下进行 3 次。每个评定项目的评分范围为 1~6,具体评定标准见表 1。对每个参数的感官特征分析结果取平均值,综合得分 = 0.5 × 芝麻风味得分 + 0.4 × 香味持久性得分 + 0.1 × 焦糊味得分。

表 1 浓香芝麻油感官评定标准

评定项目	评分标准					不存在
	非常强	强	中等	弱	非常弱	
芝麻风味	6	5	4	3	2	1
焦糊味	6	5	4	3	2	1
香味持久性	6	5	4	3	2	1

如果有其他异味,另外用文字进行描述。对感官评定结果进行分析时,首先考察芝麻风味的强度,以芝麻风味最强为最佳;其次考察芝麻香味持久性,香味越持久,说明提香工艺过程越彻底,风味油品质越好;最后考察热反应产香过程中产生的焦糊味,由于高温反应,可能产生少量焦糊味,但焦糊味不能过于强烈。浓香油的其他风味则以无异味为宜<sup>[16]</sup>。

#### 1.2.4 理化指标的测定

水分及挥发物的测定,GB 5009.236—2016;过氧化值的测定,GB 5009.227—2016;酸值的测定,GB 5009.229—2016;色泽的测定,GB/T 22460—2008。

#### 1.2.5 芝麻多肽相对分子质量分布分析

取 10 mL 芝麻多肽酶解液样品于 20 mL 容量瓶中,用流动相定容,60 Hz 超声 5 min,离心,经微滤膜过滤后备用。用 Waters1525 高效液相色谱仪(配 2487 紫外检测器)检测,Chromleon 7 GPC 数据处理软件分析色谱图<sup>[17-20]</sup>。

液相色谱条件:TSKgel 2000 SWXL 色谱柱(300 mm×7.8 mm);流动相为乙腈-水-三氟乙酸(体积比 40:60:0.1),流速 0.5 mL/min;紫外检测波长 220 nm;进样量 10 μL;柱温 30℃,保留时间 45 min。

#### 1.2.6 芝麻多肽酶解液的膜分离纯化

以芝麻多肽酶解液为原料,调节酶解液 pH,采用超滤膜设备,在一定的温度、压力下超滤一定时间,测定不同膜分离条件下的膜通量。超滤过程中膜分离压力由进料蠕动泵控制,膜分离温度由数显恒温水浴锅控制,膜通量测定参考文献<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同水解度芝麻多肽制备的浓香芝麻油感官综合评价(见图 1)

由图 1 可知:随着芝麻多肽酶解液水解度的增

加,浓香芝麻油综合得分持续升高,当芝麻多肽酶解液水解度为 20% 时综合得分最高;芝麻风味随着水解度的升高持续增强,当水解度为 20% 时芝麻风味最为浓烈,这可能是因为芝麻蛋白的水解度增大将内部更多的氨基暴露出来促进了后续的美拉德生香源反应的进行<sup>[8]</sup>;香味持久性随水解度增加而持续增加,当水解度为 20% 时香味持久性最强;而焦糊味强度随水解度增加先增加后减少,在水解度为 10% 时出现转折,当水解度为 0%、20% 时焦糊味较弱。因此,综合评价以水解度 20% 为最佳(综合得分 5.4 分),此时浓香芝麻油的芝麻风味和香味持久性最优,焦糊味较弱,整体感官综合评价最优。

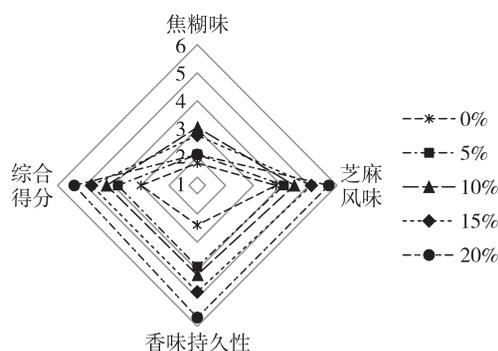


图 1 不同水解度芝麻多肽酶解液制备的浓香芝麻油感官综合评价

### 2.2 美拉德生香源反应制备的浓香芝麻油的理化指标

由水解度为 20% 的芝麻多肽酶解液制备的浓香芝麻油的理化指标与冷榨芝麻清油、精炼芝麻油和小磨香油的理化指标对比结果见表 2。

表 2 浓香芝麻油与冷榨芝麻清油、精炼芝麻油、小磨香油的理化指标

样品	水分及挥发物/%	酸值(KOH) / (mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)	色泽 (133.4 mm 槽)	气味、滋味	透明度
浓香芝麻油	0.05	0.39	3.60	Y18 R2.0	具有浓郁的烤芝麻香味,风味持久性强,口感好	澄清、透明
冷榨芝麻清油	0.04	0.35	3.35	Y16 R1.5	具有烤芝麻香味,口感好	澄清、透明
精炼芝麻油	0.04	0.35	3.45	Y12 R1.5	具有烤芝麻香味,口感好	澄清、透明
小磨香油	0.06	0.52	4.15	Y12 R2.0	具有浓郁的烤芝麻香味,口感好	澄清、透明

由表 2 可知,浓香芝麻油的水分及挥发物含量为 0.05%,酸值(KOH)为 0.39 mg/g,过氧化值为 3.60 mmol/kg,与精炼芝麻油、冷榨芝麻清油的理化

指标基本无差别,且其芝麻风味更加浓郁,香味更加持久;浓香芝麻油的水分及挥发物、酸值、过氧化值与小磨香油相比略有降低,颜色略深,但符合国家一

级芝麻成品油标准。

### 2.3 水解度 20% 的芝麻多肽的相对分子质量分布 (见表 3)

表 3 水解度 20% 的芝麻多肽的相对分子质量分布

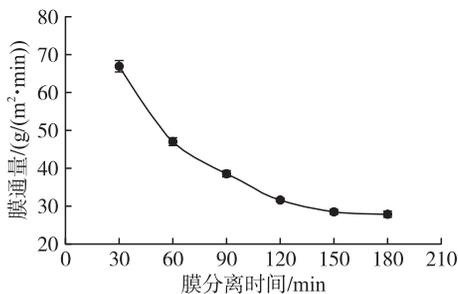
相对分子质量/Da	比例/%
> 5 000	2.35
[3 000 ~ 5 000]	2.90
[2 000 ~ 3000)	3.17
[1 000 ~ 2 000)	8.25
[500 ~ 1 000)	21.01
[180 ~ 500)	37.93
< 180	24.39

由表 3 可知:水解度为 20% 的芝麻多肽相对分子质量主要集中在 180 ~ 500 Da 之间,占 37.93%; 其次是小于 180 Da 与 500 ~ 1 000 Da 之间,分别占

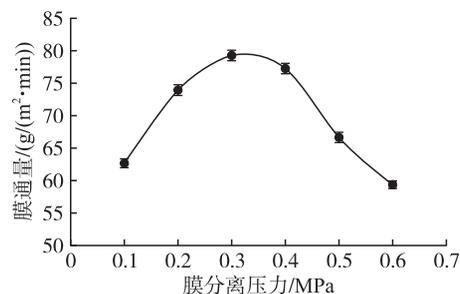
24.39%、21.01%; 大部分芝麻多肽片段集中在 1 000 Da 以下,占 83.33%,相对分子质量在 2 000 ~ 3 000 Da、3 000 ~ 5 000 Da 和大于 5 000 Da 的最少,分别占 3.17%、2.90%、2.35%。芝麻多肽酶解液制备的浓香芝麻油具有独特的香味,说明 1 000 Da 以下的芝麻多肽片段对美拉德生香源反应的影响最大。

### 2.4 水解度 20% 的芝麻多肽膜分离纯化的单因素实验

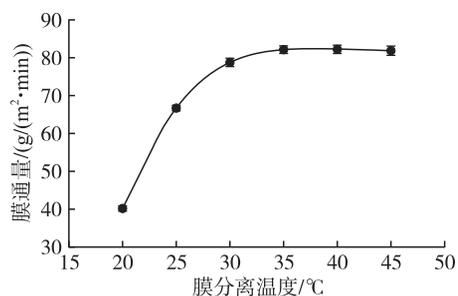
以水解度为 20% 的芝麻多肽酶解液为原料制备的浓香芝麻油感官综合评价最优,为了分离参与美拉德生香源反应的芝麻多肽,分别研究超滤膜膜分离时间、膜分离压力、膜分离温度、酶解液 pH 对膜通量的影响,结果如图 2 所示。



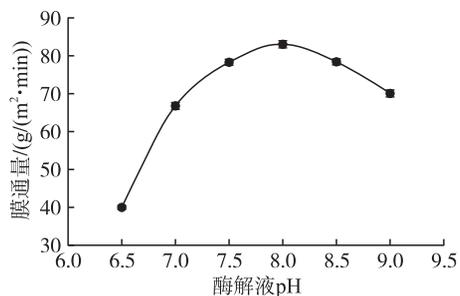
注:酶解液 pH 8.0,膜分离压力 0.35 MPa,膜分离温度 35 ℃。



注:酶解液 pH 8.0,膜分离温度 35 ℃,膜分离时间 35 min。



注:酶解液 pH 8.0,膜分离压力 0.35 MPa,膜分离时间 35 min。



注:膜分离温度 35 ℃,膜分离压力 0.35 MPa,膜分离时间 35 min。

图 2 膜分离时间、膜分离压力、膜分离温度、酶解液 pH 对膜通量的影响

由图 2 可知,随着膜分离时间的延长,膜通量持续减少后趋于平缓,这可能是因为随着膜分离时间的延长,芝麻多肽酶解液浓度过高,造成了超滤膜的污染,使得膜孔堵塞,导致膜通量下降。因此,考虑分离纯化效率,选择最佳膜分离时间为 30 min。

由图 2 可知,随着膜分离压力的增加,膜通量先增加后降低,在膜分离压力为 0.3 MPa 时最高。这可能是因为膜分离压力过低时,压力不够,导致膜通量不高,而当膜分离压力过高时,可能使得膜变形,

膜孔堵塞,导致膜通量减少。因此,选择最佳膜分离压力为 0.3 MPa。

由图 2 可知,随着膜分离温度的升高,膜通量持续增加后趋于平缓,这可能是因为随着膜分离温度的升高,芝麻多肽酶解液的黏度降低,酶解液的扩散系数与传质系数增大<sup>[15]</sup>,导致膜通量持续增加。因此,选择最佳膜分离温度为 35 ℃。

由图 2 可知,随着酶解液 pH 的增加,膜通量先增加后降低,在酶解液 pH 8.0 时膜通量达到峰值。

因此,选择最佳酶解液 pH 为 8.0。

## 2.5 水解度 20% 的芝麻多肽膜分离纯化的响应面实验

在单因素实验基础上,固定膜分离时间为 30 min,以酶解液 pH(A)、膜分离压力(B)、膜分离温度(C)为因素,膜通量(Y)为指标,根据 Box - Behnken 实验设计原理采用三因素三水平的响应面分析方法优化芝麻多肽的膜分离纯化工艺。Box - Behnken 实验因素水平见表 4, Box - Behnken 实验设计及结果见表 5, 方差分析见表 6。

表 4 Box - Behnken 实验因素水平

水平	A	B/MPa	C/°C
-1	7.5	0.25	32
0	8.0	0.30	35
1	8.5	0.35	38

表 5 Box - Behnken 实验设计及结果

实验号	A	B	C	Y/(g/(m <sup>2</sup> ·min))
1	0	0	0	89.90
2	-1	0	1	87.25
3	1	1	0	84.58
4	0	0	0	88.90
5	0	1	1	85.47
6	0	-1	1	84.59
7	1	-1	0	83.71
8	0	0	0	89.00
9	1	0	-1	85.47
10	0	1	-1	84.60
11	0	0	0	88.90
12	-1	1	0	85.48
13	-1	0	-1	86.37
14	-1	-1	0	84.80
15	1	0	1	86.34
16	0	0	0	89.08
17	0	-1	-1	83.70

表 6 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	68.159 2	9	7.573 2	73.081 1	<0.000 1 **
A	1.805 0	1	1.805 0	17.418 1	0.004 2 **
B	1.386 1	1	1.386 1	13.375 9	0.008 1 **
C	1.540 0	1	1.540 0	14.861 0	0.006 3 **
AB	0.009 0	1	0.009 0	0.087 1	0.776 5
AC	0.000 0	1	0.000 0	0.000 2	0.988 0
BC	0.000 1	1	0.000 1	0.001 0	0.976 1
A <sup>2</sup>	7.937 4	1	7.937 4	76.595 1	<0.000 1 **
B <sup>2</sup>	41.527 3	1	41.527 3	400.735 2	<0.000 1 **

续表 6

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
C <sup>2</sup>	8.556 0	1	8.556 0	82.564 7	<0.000 1 **
残差	0.725 4	7	0.103 6		
失拟项	0.010 7	3	0.003 5	0.019 9	0.995 6
净误差	0.714 7	4	0.178 7		
总离差	68.884 6	16			

注: \*\* 表示差异极显著( $P < 0.01$ ); \* 表示差异显著( $P < 0.05$ )。

根据表 5 实验数据,拟合所得的回归方程如下:  
 $Y = 89.16 - 0.47A + 0.42B + 0.44C + 0.047AB - 0.0025AC - 0.005BC - 1.37A^2 - 3.14B^2 - 1.43C^2$ ,  
 $R^2 = 0.9895$ 。

由表 6 可知,模型  $P$  小于 0.01,极显著,失拟项  $P$  为 0.9956 > 0.05,不显著,说明模型选择正确,拟合程度好。3 个因素对膜通量影响程度的大小顺序依次为酶解液 pH > 膜分离温度 > 膜分离压力。A、B、C、A<sup>2</sup>、B<sup>2</sup>、C<sup>2</sup> 对膜通量影响极显著。

响应面法优化的膜分离条件为酶解液 pH 8.0、膜分离压力 0.32 MPa、膜分离温度 35.5 °C,理论膜通量可达 89.24 g/(m<sup>2</sup>·min),实际膜通量为 89.20 g/(m<sup>2</sup>·min),与理论值相吻合。

## 3 结论

以芝麻粕为原料,制备水解度分别为 0%、5%、10%、15%、20% 的芝麻多肽,以其为原料利用美拉德生香源反应制备浓香芝麻油,对浓香芝麻油的感官评价表明,水解度为 20% 的芝麻多肽制备的浓香芝麻油感官综合评价得分最高。水解度 20% 的芝麻多肽相对分子质量主要集中在 180 ~ 500 Da 之间,占 37.93%;其次是小于 180 Da 与 500 ~ 1 000 Da 之间,分别占 24.39%、21.01%;大部分芝麻多肽片段集中在 1 000 Da 以下,占 83.33%;芝麻多肽酶解液制备的浓香芝麻油能产生独特的香味,说明 1 000 Da 以下的芝麻多肽对美拉德生香源反应的影响最大。采用膜分离工艺分离纯化水解度 20% 的芝麻多肽,在膜分离时间 30 min、酶解液 pH 8.0、膜分离压力 0.32 MPa、膜分离温度 35.5 °C 条件下,膜通量为 89.20 g/(m<sup>2</sup>·min)。

## 参考文献:

- [1] 唐章晖. 芝麻饼粕的综合利用研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2013.
- [2] LÓPEZ - FANDIÑO J, OTTE J. Physiological, chemical and technological aspects of milk - protein - derived peptides with antihypertensive and ACE - inhibitory activity [J]. Int Dairy J, 2006, 16(11):1277 - 1293.

- [3] 彭惠惠, 李吕木, 钱坤, 等. 发酵芝麻粕中芝麻小肽的分离纯化及其体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(9):66-69.
- [4] 钱森和, 王洲, 魏明, 等. 美拉德反应对芝麻多肽抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(8):24-28,88.
- [5] 邵元龙, 董英. 芝麻蛋白水解工艺优化及芝麻多肽组分抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(1):69-73.
- [6] ZHAO M M, ZHANG J N, WU C P, et al. Preparation of soybean peptides and characteristic study of their Maillard reaction products[J]. Modern Food Sci Technol, 2015, 31(2):138-144, 279.
- [7] 兰小红. 大豆肽美拉德反应特性研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2009.
- [8] JAEGER H, JANOSITZ A, KNORR D. The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies[J]. Pathol Biol, 2010, 58(3):207-213.
- [9] 龚平, 阚建全. 美拉德反应产物性质的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4):141-146.
- [10] 陈哲, 何东平, 胡传荣, 等. 用美拉德反应方法制备浓香茶籽油新工艺的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(6):94-97.
- [11] 宋高翔, 何东平, 胡传荣, 等. 美拉德生香源反应制备浓香芝麻油的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(11):12-15.
- [12] LU C Y, HAO Z, PAYNE R, et al. Effects of water content on volatile generation and peptide degradation in the Maillard reaction of glycine, diglycine, and triglycine[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(16):6443-6447.
- [13] OGASAWARA M, KATSUMATA T, EGI M. Taste properties of Maillard - reaction products prepared from 1 000 to 5 000 Da peptide[J]. Food Chem, 2006, 99(3):600-604.
- [14] OGASAWARA M, YAMADA Y, EGI M. Taste enhancer from the long - term ripening of miso (soybean paste) [J]. Food Chem, 2006, 99(4):736-741.
- [15] 陶然. 芝麻蛋白及多肽的研制[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.
- [16] 叶展, 周力, 胡传荣, 等. 浓香茶叶籽油的制备及其条件优化[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(4):22-25.
- [17] 吕娟, 周刚, 李振莲, 等. 凝胶过滤色谱法测定蛋白胨中多肽的相对分子量分布[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15):5131-5136.
- [18] 韩昊天, 李晓彤, 吴澎, 等. 花生多肽研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(10):140-146.
- [19] 张会翠. 花生 (*Arachis hypogaea*) 蛋白多肽提取、分离及纯化[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [20] 丁丹华, 彭光华, 何东平. HPLC 法测定油茶籽多肽相对分子量分布及氨基酸组成[J]. 中国油脂, 2010, 35(11):68-71.
- [21] 田少君, 焦宝利, 毛小平, 等. 大豆肽的超滤分离及其清除自由基活性研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(4):18-21.

(上接第 63 页)

- [14] CHENG W, WU D, LIU Y. Michael addition polymerization of trifunctional amine and acrylic monomer: a versatile platform for development of biomaterials[J]. Biomacromolecules, 2016, 17(10):3115-3126.
- [15] GAO Q, SHI S Q, ZHANG S, et al. Soybean meal - based adhesive enhanced by MUF resin[J]. J Appl Polym Sci, 2012, 125(5):1-6.
- [16] 王建华, 卫亚丽, 文宗河, 等. 蛋白质结构的 FT-IR 研究进展[J]. 化学通报, 2004, 7(3):482-486.
- [17] PRADYAWONG S, QI G, LI N, et al. Adhesion properties of soy protein adhesives enhanced by biomass lignin[J]. Int J Adhes Adhes, 2017, 75:66-73.
- [18] CHEN J, CHEN X, ZHU Q, et al. Determination of the domain structure of the 7S and 11S globulins from soy proteins by XRD and FTIR[J]. J Sci Food Agric, 2013, 93(7):1687-1691.
- [19] 郝秀, 范东斌. 环氧单体交联改性大豆蛋白胶黏剂的研究[J]. 木材加工机械, 2018(5):1-6.
- [20] LUO J, LI X, ZHANG H, et al. Properties of a soybean meal - based plywood adhesive modified by a commercial epoxy resin[J]. Int J Adhes Adhes, 2016, 71:99-104.