

# 美拉德生香源反应制备浓香芝麻油工艺优化

刘春晓<sup>1</sup>, 王斌<sup>1</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:**以精炼芝麻油为原料, 采用芝麻饼、芝麻粕和芝麻渣 3 种底物在不同酶解液状态下基于美拉德生香源反应制备浓香芝麻油, 通过感官评价确定最佳反应底物和酶解液状态, 再通过单因素实验和正交实验优化浓香芝麻油的制备工艺。结果表明, 美拉德生香源反应制备浓香芝麻油的最优工艺条件为: 酶解 pH 8.0, 酶解时间 3.0 h, 以芝麻粕酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料, 还原糖添加量 2.5%, 不添加甘油。在最优条件下制备的浓香芝麻油符合一级成品芝麻油国家标准, 与市售芝麻油相比, 芝麻风味更浓郁, 香味持久性更强, 感官综合评分达 5.5 分。

**关键词:**浓香芝麻油; 感官评价; 美拉德反应; 芝麻粕

中图分类号: TS225.1; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)02-0028-06

## Optimization of preparation of fragrant sesame oil by Maillard reaction

LIU Chunxiao<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>1</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:** With refined sesame oil as raw material, fragrant sesame oil was prepared with three substrates of sesame cake, sesame meal and sesame residue under different enzymatic hydrolysis conditions based on Maillard reaction. The optimal reaction substrate and enzymatic hydrolysis condition were obtained by sensory evaluation. Then the preparation process of fragrant sesame oil was optimized by single factor experiment and orthogonal experiment. The results showed that the optimal preparation process conditions of fragrant sesame oil were obtained as follows: enzymatic hydrolysis pH 8.0, enzymatic hydrolysis time 3.0 h, with the supernatant and enzymatic precipitation (mass ratio 1:1) after enzymatic hydrolysis of sesame meal as the reaction substrates, dosage of reducing sugar 2.5%, and no glycerol added. Under these conditions, the fragrant sesame oil met the national first-level sesame oil standard. Compared with the commercial sesame oil, fragrant sesame oil had a stronger sesame flavor, stronger flavor persistence and the comprehensive sensory score could reach 5.5 points.

**Key words:** fragrant sesame oil; sensory evaluation; Maillard reaction; sesame meal

芝麻油, 又称香油, 因其香味浓郁、口感绵长, 营养丰富并具有独特的风味, 深受消费者的喜爱<sup>[1-3]</sup>。芝麻油具有天然的烤芝麻香味<sup>[4-5]</sup>, 是重要的药食两用食物<sup>[6]</sup>。目前, 芝麻油的加工主要采用传统的生产工艺, 如压榨法、压滤法、水代法等<sup>[7-8]</sup>, 但是传统工艺生产芝麻油时产生香味的过程往往得不到稳

定控制, 高温压榨也容易产生致癌物苯并芘<sup>[9]</sup>。

美拉德反应是氨基化合物与羰基化合物之间发生的一系列复杂反应, 通过控制原材料、温度及加工方法可产生诱人的色泽、浓郁的芳香及醇厚的滋味<sup>[10-11]</sup>。在食品加工中, 美拉德反应可用于制备浓香油脂<sup>[12-14]</sup>。利用美拉德生香源反应制备的芝麻油不仅具有浓郁的芝麻香味, 而且可以克服传统工艺生产芝麻油的缺点; 同时以精炼芝麻油为原料, 解决了传统水代法制备浓香芝麻油得率低、劳动强度大、副产品浪费、污染环境等问题, 是一种极具潜力的浓香芝麻油的加工方式<sup>[15-16]</sup>。

收稿日期: 2020-10-09; 修回日期: 2021-09-26

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。

目前,对以美拉德生香源反应制备浓香芝麻油的研究较少,且主要采用单一底物的单一酶解液状态,未见不同底物酶解成不同酶解液状态对浓香芝麻油风味影响的报道。因此,本文以芝麻粕、芝麻饼、芝麻渣为底物进行酶解,探索不同底物、不同酶解液状态对浓香芝麻油风味的影响,在此基础上,以感官综合评分为指标,通过单因素实验和正交实验优化浓香芝麻油制备工艺条件,以期浓香芝麻油的工业生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣,瑞福油脂股份有限公司;精炼芝麻油、小磨香油,益海嘉里有限公司;冷榨芝麻油,山东香达人食品股份有限公司。

盐酸、氢氧化钠、正己烷、硼酸、浓硫酸、硫酸铜、硫酸钾、双色指示剂(溴甲酚绿-亚甲基红指示剂)、3,5-二硝基水杨酸、碳酸钠、95%乙醇、乙醚、乙酸、异辛烷、磷酸,均为分析纯,国药集团上海化学试剂有限公司;Alcalase碱性蛋白酶,上海源叶生物科技有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市英峪予华仪器厂;ZN-100A型粉碎机,上海恒平科学仪器有限公司;TD5A-WS离心机,湖南省凯达科学仪器有限公司;FE20 pH计,梅特勒-托利多公司;HH型恒温水浴锅,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;K9840自动凯氏定氮仪、SOX406脂肪测定仪,济南海能仪器股份有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣的组成成分分析

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,粗纤维含量的测定参照 GB 5009.88—2014,灰分含量的测定参照 GB 5009.4—2016,水分含量的测定参照 GB/T 10358—2008。

#### 1.2.2 脱脂芝麻饼与脱脂芝麻渣的制备

将芝麻饼与芝麻渣分别于 50℃烘箱烘 8 h,粉碎机粉碎后,用正己烷浸泡脱脂,油层浸出后弃去上层正己烷,更换新的正己烷,直至上层正己烷澄清透明为止。在通风橱中挥干正己烷,磨粉后过 0.180 mm(80目)筛,制得脱脂芝麻饼与脱脂芝麻渣,备用。

#### 1.2.3 浓香芝麻油的制备

分别将芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣粉碎过 0.180

mm(80目)筛,作为底物<sup>[17-18]</sup>。称取 100 g 底物,按料液比 1:5 加水溶解,在一定 pH 下加入 3 000 U/g 的 Alcalase 碱性蛋白酶,充分混合均匀,置于 50℃的水浴锅中酶解反应一定时间后,以 4 000 r/min 离心 10 min,取不同状态的酶解液 20 g,加入一定的还原糖和甘油,以料油比 1:10 加入精炼芝麻油混合,加热至 120℃,反应 30 min 后置于干燥器中冷却至室温,离心过滤得到浓香芝麻油。

#### 1.2.4 感官评价体系的建立

由武汉轻工大学食品科学与工程学院的 30 名评估者对浓香芝麻油进行感官评价,评估者在评估前根据 ISO 8586-1(2012)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、鉴定芝麻油样品的芝麻风味、焦糊味和香味持久性的能力。感官评价时,要求评估者对每个样品进行品尝,并鉴定芝麻油样品的风味,独立打分。品尝一个样品后,评估人员应使用温水漱口,以免影响下一个样品的感官评估。所有感官测试均在室温下进行 3 次。采取指标打分方式进行评价,对每个参数的感官分析结果取平均值,同时根据各参数权重,对实验样品进行综合评分。浓香芝麻油感官评价标准见表 1。

表 1 浓香芝麻油感官评价标准

评价项目	评分(分)					
	非常强	强	中等	弱	非常弱	不存在
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

注:综合评分=0.6×芝麻风味得分+0.3×香味持久性得分+0.1×焦糊味得分(焦糊味得分≤3.0)。

如果有其他异味,另外用文字进行描述。对感官评价结果进行分析时,首先考察芝麻风味的强度,以芝麻风味最强为最佳;其次考察香味持久性,香味越持久,说明提香工艺过程越彻底,风味油脂品质较好;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,焦糊味是浓香芝麻油风味的重要组成部分,因此必不可少,但过高的焦糊味会造成产品风味品质的下降,消费者可接受度较差,因此以焦糊味强度弱为宜。浓香芝麻油的其他风味以无异味为宜<sup>[16]</sup>。

#### 1.2.5 芝麻油理化指标的测定

水分及挥发物的测定参照 GB 5009.236—2016,过氧化值的测定参照 GB 5009.227—2016,酸值的测定参照 GB 5009.229—2016,碘值的测定参照 GB/T 5532—2008,皂化值的测定参照 GB/T

5534—2008,色泽的测定参照 GB/T 22460—2008。

## 2 结果与分析

### 2.1 底物对浓香芝麻油感官评价的影响

芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣的组成成分见表2。

由表2可知:芝麻粕的蛋白质、粗纤维含量最高,粗脂肪含量最低;而芝麻渣的蛋白质、粗纤维含

量最低,粗脂肪含量最高。

按1.2.3方法,分别以芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣为底物,在酶解 pH 8.0,酶解时间 3.0 h,以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料,还原糖添加量 2.0%,甘油添加量 1.0% 条件下制备浓香芝麻油,对浓香芝麻油进行感官评价,结果如图1所示。

表2 芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣组成成分

样品	蛋白质(N×5.3)	粗脂肪	灰分	水分	粗纤维
芝麻饼	40.91±0.97	16.15±0.14	11.76±0.24	0.42±0.01	8.16±0.00
芝麻粕	53.49±0.62	2.50±0.03	12.23±0.10	2.79±0.12	9.65±0.27
芝麻渣	38.06±1.33	26.66±0.12	11.45±0.08	4.49±0.15	7.96±0.15

注:除水分外,其他成分含量均以干基计。下同

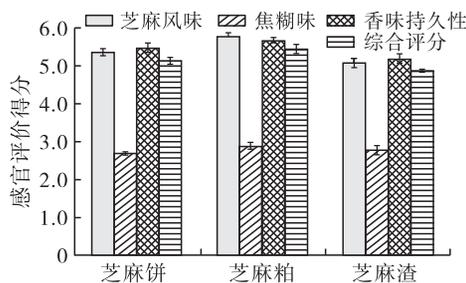


图1 芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣制备浓香芝麻油感官评价得分

由图1可知:以芝麻粕为底物制备的浓香芝麻油在芝麻风味、香味持久性上得分最高,综合评分也最高;以芝麻饼为底物制备的浓香芝麻油次之;以芝麻渣为底物制备的浓香芝麻油在芝麻风味和香味持久性方面的得分最低,综合评分也最低。原因可能与芝麻粕中蛋白质含量最高有关<sup>[18]</sup>。

为了进一步探讨底物粗脂肪含量对浓香芝麻油感官评价的影响,按1.2.2方法对芝麻饼与芝麻渣进行脱脂,用相同的工艺制备浓香芝麻油并进行感官评价。脱脂芝麻饼、脱脂芝麻渣组成成分见表3,感官评价得分见图2。

表3 脱脂芝麻饼、脱脂芝麻渣组成成分

样品	蛋白质	粗脂肪	灰分	水分
脱脂芝麻饼	50.68±0.87	0.79±0.08	13.65±0.12	3.16±0.13
脱脂芝麻渣	43.25±1.21	0.22±0.19	19.88±0.09	3.26±0.01

由表3可知,脱脂芝麻饼、脱脂芝麻渣的粗脂肪含量比未脱脂的芝麻饼、芝麻渣显著降低。由图2可知,相比未脱脂的芝麻饼、芝麻渣,以脱脂芝麻饼、脱脂芝麻渣为底物制备的浓香芝麻油感官综合评分明显提升。说明美拉德反应底物粗脂肪含量不能对美拉德生香源反应产生促进作用。

综上,选择以芝麻粕为底物通过美拉德生香源反应制备浓香芝麻油。

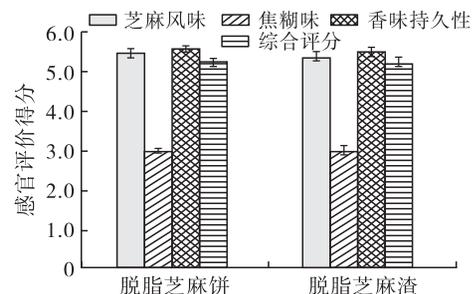
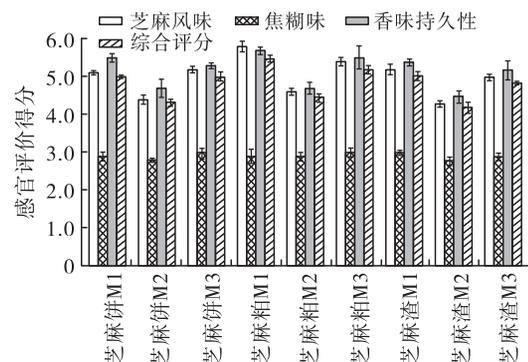


图2 脱脂芝麻饼、脱脂芝麻渣制备浓香芝麻油感官评价得分

### 2.2 酶解液状态对浓香芝麻油感官评价的影响

按1.2.3方法,分别以芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣为底物,在酶解 pH 8.0,酶解时间 3.0 h,分别以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1、酶解上清液、酶解上清液与酶解沉淀质量比 2:1 为原料,还原糖添加量 2.0%,甘油添加量 1.0% 条件下制备浓香芝麻油,对浓香芝麻油进行感官评价,结果见图3。



注:M1为酶解上清液与酶解沉淀质量比1:1,M2为酶解上清液,M3为酶解上清液与酶解沉淀质量比2:1。

图3 酶解液状态对浓香芝麻油感官评价的影响

由图3可知,芝麻饼、芝麻粕和芝麻渣为底物时,均为以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料时制备的浓香芝麻油感官综合评分最高,而以酶

解上清液为原料时制备的浓香芝麻油在各项评分中最低。这可能是因为酶解上清液与酶解沉淀质量比为1:1时,参与美拉德反应的芝麻多肽含量最高,其与还原糖的比例最佳。而纯酶解上清液中芝麻多肽与还原糖含量较低,不利于美拉德反应的发生<sup>[19]</sup>。但对比发现,以酶解上清液制备的浓香芝麻油焦糊味得分最低,这可能是因为离心除去了固体杂质,使得反应更加均匀。综合考虑,选择芝麻粕酶解上清液与酶解沉淀质量比1:1为原料,通过美拉德生香源反应制备浓香芝麻油。

### 2.3 浓香芝麻油制备的单因素实验

#### 2.3.1 酶解 pH 对浓香芝麻油感官评价的影响

以芝麻粕为底物,在酶解时间 3.0 h、以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料、还原糖添加量 2.0%、甘油添加量 1.0% 条件下制备浓香芝麻油,按 1.2.4 方法进行感官评价,得出各感官特性指标平均值,绘制雷达图,考察酶解 pH 对浓香芝麻油感官评价的影响,结果见图 4。

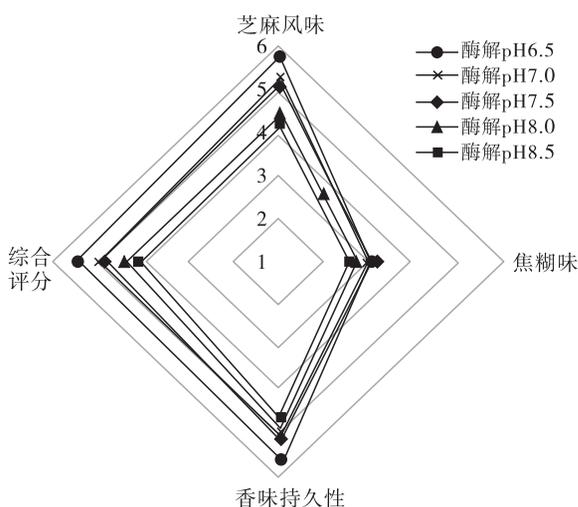


图4 酶解 pH 对浓香芝麻油感官评价的影响

由图 4 可知,随着酶解 pH 的增加,浓香芝麻油感官综合评分先升高后降低,在酶解 pH 为 8.0 时,浓香芝麻油综合评分最高,芝麻风味最为浓烈,香味持久性最强,焦糊味适中。因此,综合评价以酶解 pH 8.0 为最佳。

#### 2.3.2 还原糖添加量对浓香芝麻油感官评价的影响

以芝麻粕为底物,在酶解 pH 8.0、酶解时间 3.0 h、以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料、甘油添加量 1.0% 条件下制备浓香芝麻油,按 1.2.4 方法进行感官评价,得出各感官特性指标平均值,绘制雷达图,考察还原糖添加量对浓香芝麻油感官评价的影响,结果见图 5。

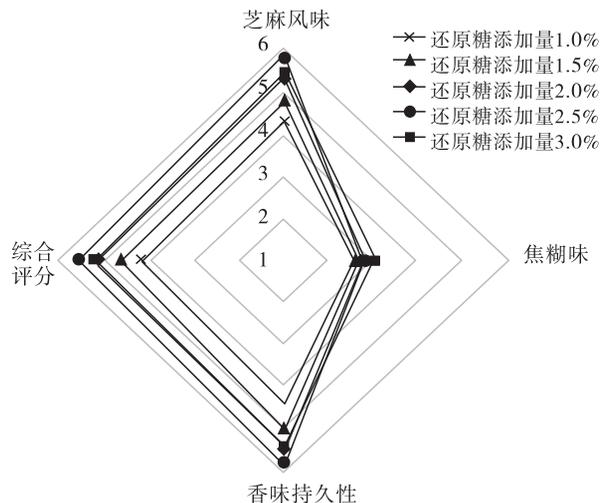


图5 还原糖添加量对浓香芝麻油感官评价的影响

由图 5 可知,随着还原糖添加量的增加,浓香芝麻油综合评分先上升后降低,当还原糖添加量为 2.5% 时,综合评分最高,这是因为美拉德反应在初级反应阶段中主要反应物为含游离氨基的化合物和还原糖或羰基化合物<sup>[20-21]</sup>。芝麻风味和香味持久性与综合评分变化趋势一致,还原糖添加量为 2.5% 时,芝麻风味最为浓烈,香味持久性最强。焦糊味评分随还原糖添加量的增加呈上升趋势。因此,综合评价以还原糖添加量 2.5% 为最佳。

#### 2.3.3 甘油添加量对浓香芝麻油感官评价的影响

以芝麻粕为底物,在酶解 pH 8.0、酶解时间 3.0 h、以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料、还原糖添加量 2.0% 条件下制备浓香芝麻油,按 1.2.4 方法进行感官评价,得出各感官特性指标平均值,绘制雷达图,考察甘油添加量对浓香芝麻油感官评价的影响,结果见图 6。

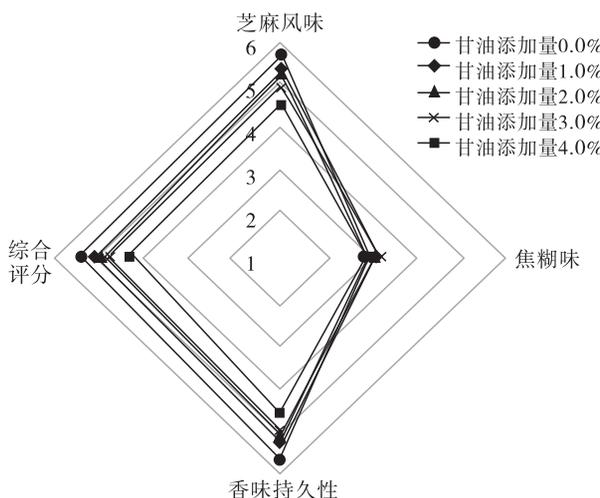


图6 甘油添加量对浓香芝麻油感官评价的影响

由图 6 可知,随着甘油添加量的增加,浓香芝麻油综合评分平缓下降,不添加甘油时制备的浓香芝

麻油的综合评分最高,芝麻风味最为浓烈,香味持久性最强,焦糊味适中。因此,综合评价以不添加甘油为最佳。

#### 2.3.4 酶解时间对浓香芝麻油感官评价的影响

以芝麻粕为底物,在酶解 pH 8.0、以酶解上清液和酶解沉淀质量比 1:1 为原料、还原糖添加量 2.0%、甘油添加量 1.0% 条件下制备浓香芝麻油,按 1.2.4 方法进行感官评价,得出各感官特性指标平均值,绘制雷达图,考察酶解时间对浓香芝麻油感官评价的影响,结果见图 7。

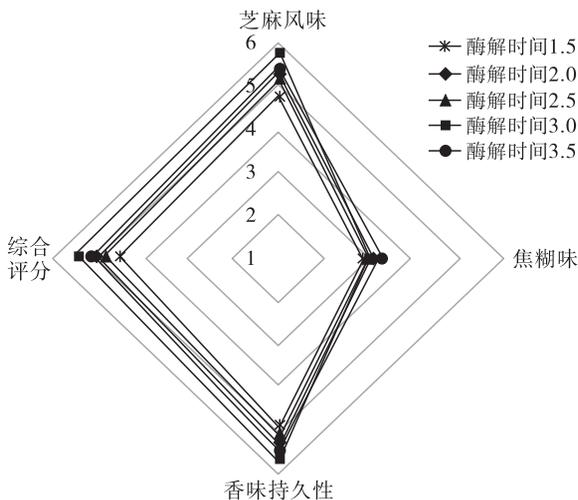


图7 酶解时间对浓香芝麻油感官评价的影响

由图 7 可知,随着酶解时间的延长,浓香芝麻油综合评分呈先升高后降低的趋势,当酶解时间为 3.0 h 时制备的浓香芝麻油的综合评分最高,芝麻风味和香味持久性评分均最高,焦糊味适中。因此,综合评价以酶解时间 3.0 h 为最佳。

#### 2.4 浓香芝麻油制备的正交实验

在单因素实验的基础上,以浓香芝麻油的感官综合评分作为指标,选择酶解 pH、还原糖添加量、甘油添加量和酶解时间进行  $L_9(3^4)$  正交实验。正交实验因素水平见表 4,正交实验设计及结果见表 5。

表 4 正交实验因素水平

水平	A 酶解 pH	B 还原糖添加量/%	C 甘油添加量/%	D 酶解时间/h
1	7.5	2.0	0.0	2.0
2	8.0	2.5	1.0	2.5
3	8.5	3.0	2.0	3.0

表 5 正交实验设计及结果

实验号	A	B	C	D	感官综合评分
1	1	1	1	1	5.0
2	1	2	2	2	5.0
3	1	3	3	3	4.8
4	2	1	3	2	4.8
5	2	2	1	3	5.6
6	2	3	2	1	5.3
7	3	1	2	3	5.1
8	3	2	3	1	5.1
9	3	3	1	2	5.3
$k_1$	4.93	4.97	5.30	5.13	
$k_2$	5.23	5.23	5.13	5.03	
$k_3$	5.17	5.13	4.90	5.17	
R	0.30	0.26	0.40	0.14	

由表 5 可知,4 个因素对感官综合评分影响的主次关系为 C(甘油添加量) > A(酶解 pH) > B(还原糖添加量) > D(酶解时间)。最优因素水平组合为  $A_2B_2C_1D_3$ ,即酶解 pH 8.0、还原糖添加量 2.5%、不添加甘油、酶解时间 3.0 h。在最优条件下进行验证实验,浓香芝麻油的感官综合评分达 5.5 分。

#### 2.5 浓香芝麻油质量分析

基于上述实验结果,在以芝麻粕为底物、料液比 1:5、酶解时间 3.0 h、酶解 pH 8.0、以酶解上清液与酶解沉淀质量比 1:1 为原料、还原糖添加量 2.5%、不添加甘油、反应温度 120 °C、反应时间 30 min 条件下制备浓香芝麻油,检测浓香芝麻油理化指标,并与市售的冷榨芝麻油、精炼芝麻油、小磨香油进行对比,结果如表 6 所示。

表 6 浓香芝麻油与市售芝麻油的理化指标比较

样品	水分及挥发物/%	酸值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)	碘值(I)/(g/100 g)	皂化值(KOH)/(mg/g)	色泽(133.4 mm)	气味、滋味	透明度
浓香芝麻油	0.04 ± 0.01	0.41 ± 0.02	3.62 ± 0.02	105.39 ± 0.56	186.24 ± 1.12	Y17 R1.9	具有浓郁的烤芝麻风味,香味持久性强,口感好	澄清、透明
冷榨芝麻油	0.05 ± 0.01	0.37 ± 0.02	3.41 ± 0.06	104.27 ± 1.02	187.08 ± 0.12	Y15 R1.7	烤芝麻风味,口感好	澄清、透明
精炼芝麻油	0.05 ± 0.02	0.38 ± 0.03	3.39 ± 0.03	106.59 ± 0.20	190.11 ± 0.98	Y13 R1.8	烤芝麻风味,口感好	澄清、透明
小磨香油	0.06 ± 0.02	0.49 ± 0.02	4.11 ± 0.12	107.33 ± 0.83	191.01 ± 0.77	Y13 R2.0	具有浓郁的烤芝麻风味,口感好	澄清、透明

由表6可知,浓香芝麻油水分及挥发物含量为0.04%,优于精炼芝麻油、冷榨芝麻油和小磨香油,酸值和过氧化值优于小磨香油,各项理化指标均符合GB/T 8233—2018一级成品芝麻油标准。浓香芝麻油颜色虽然较3种市售芝麻油的深,但芝麻风味更加浓郁,香味更加持久。

### 3 结论

以芝麻饼、芝麻粕、芝麻渣为底物,采用碱性蛋白酶进行酶解,得到不同状态的酶解液,再加入精炼芝麻油,通过美拉德生香源反应制备浓香芝麻油。以感官综合评分为指标,研究不同反应底物和酶解液状态对浓香芝麻油感官评价的影响,并通过单因素实验和正交实验优化浓香芝麻油制备的工艺条件。结果表明,浓香芝麻油制备的最佳工艺条件为:以芝麻粕在pH 8.0的条件下酶解3.0 h后离心得到酶解上清液与酶解沉淀质量比1:1为原料,添加2.5%的还原糖,不添加甘油,用美拉德生香源反应制备浓香芝麻油。在最佳工艺条件下,浓香芝麻油感官综合评分达5.5分。所制备的浓香芝麻油理化指标均达到一级成品芝麻油国家标准,与市售芝麻油相比,芝麻风味更浓郁,香味持久性更强。

### 参考文献:

- [1] 马雪婷,尹文婷,李诗佳,等.炒籽温度对芝麻油香气活性组分和感官品质的影响[J].中国油脂,2021,46(8):6-11.
- [2] 何东平.油脂精炼与加工工艺学[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [3] 王瑞元.中国为全球芝麻产业的发展作出了重要贡献[J].中国油脂,2019,44(12):1-2.
- [4] 赵丹,汪学德,马宇翔.不同工艺芝麻油的品质研究[J].中国油脂,2018,43(3):50-53.
- [5] 唐晓丹,秦早,杨冉,等.不同香型芝麻油中挥发性风味成分的研究[J].中国油脂,2013,38(6):87-90.
- [6] 赵丹.冷榨油脂的营养分析与功能研究[D].郑州:河南工业大学,2018.
- [7] 张艳,宋高翔,陶宇.芝麻油加工工艺现状及发展趋势[J].粮食与食品工业,2015(5):23-26.
- [8] 张雅娜,王辰,刘丽美,等.芝麻油提取方法研究进展[J].中国食物与营养,2017,23(10):42-46.
- [9] 王佳蕊,郝雅茹,齐慧丽.芝麻油中苯并(a)芘减控技术的研究[J].粮食与油脂,2020,33(12):88-91.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] XU Y X, CHEN Q C, LEI S J, et al. Effects of lard on the formation of volatiles from the Maillard reaction of cysteine with xylose [J]. *J Sci Food Agric*, 2011, 91(12): 2241-2246.
- [13] 祁岩龙,冯怀章,于洋,等.美拉德反应研究进展及在食品工业中的应用[J].食品工业,2018,39(3):248-252.
- [14] QIN Z, HAN Y F, WANG N N, et al. Improvement of the oxidative stability of cold-pressed sesame oil using products from the Maillard reaction of sesame enzymatically hydrolyzed protein and reducing sugars[J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(4):1524-1531.
- [15] 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.
- [16] 王斌,胡传荣,何东平,等.芝麻酶解液对浓香芝麻油美拉德反应风味的影响及工艺优化[J].粮食与油脂,2016,29(3):38-42.
- [17] 刘春晓,王斌,高盼,等.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[J].中国油脂,2021,46(7):69-74.
- [18] 王斌.冷榨芝麻粕美拉德反应制备浓香芝麻油的研究[D].武汉:武汉轻工大学,2016.
- [19] 芦鑫,孙强,张丽霞,等.亚临界水水解脱脂高温芝麻饼粕中蛋白与糖类研究[J].中国粮油学报,2016,31(10):66-72.
- [20] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. *Food Chem*, 1998, 62(4): 415-424.
- [21] VAN BOEKEL M A J S. Effect of heating on Maillard reactions in milk[J]. *Food Chem*, 1998, 62(4): 403-414.