

# 微波与烤箱烘烤灭酶对新水剂法提取南瓜籽油的影响

付家园, 吴文标

(西南大学 食品科学学院, 重庆 400700)

**摘要:** 为了比较不同的灭酶方式在新水剂法提油中的应用效果, 以南瓜籽仁为原料, 经微波(不同微波功率和微波时间)和烤箱烘烤(不同烘烤温度和烘烤时间)处理后, 采用新水剂法提取南瓜籽油, 测定了南瓜籽脂肪酶活性、南瓜籽油提取率、南瓜籽粕的蛋白质溶解度和南瓜籽油的理化指标。结果表明: 微波处理最佳条件为微波功率 480 W、微波时间 60 s, 在此条件下南瓜籽油提取率为 95.51%, 而烤箱烘烤处理最佳条件为烘烤温度 110 °C、烘烤时间 10 min, 在此条件下南瓜籽油提取率为 94.13%, 二者均显著高于未灭酶处理时的南瓜籽油提取率(90.54%); 与烤箱烘烤灭酶处理相比, 微波灭酶处理获得的南瓜籽油具有更低的过氧化值和更高的黄酮含量、总酚含量、DPPH 自由基清除率, 微波灭酶处理获得的脱脂粕的蛋白质溶解度更高, 且耗电量只有烤箱烘烤灭酶的 6.15%。在采用新水剂法提取南瓜籽油时, 微波灭酶优于烤箱烘烤灭酶。

**关键词:** 南瓜籽油; 新水剂法; 微波; 烤箱烘烤; 油提取率; 油品质

中图分类号: TS221; TS225

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2022)01-0004-06

## Effect of microwave and oven baking to inactivate enzyme on the extraction of pumpkin seed oil with new aqueous method

FU Jiayuan, WU Wenbiao

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400700, China)

**Abstract:** In order to compare the effects of different enzyme inactivation methods in the oil extraction by the new aqueous method, pumpkin seed kernels were treated with microwave (different microwave power and microwave time) and oven (different baking temperature and baking time), and they were used to extract pumpkin seed oil with the new aqueous method. The activities of lipase in pumpkin seeds, extraction rate of pumpkin seed oil, protein solubility of pumpkin seed meal and physicochemical indexes of pumpkin seed oil were determined. The results showed that the optimal conditions for microwave treatment were 480 W and 60 s, and the extraction rate of pumpkin seed oil was 95.51%, while the optimal conditions for oven baking were 110 °C and 10 min, and the extraction rate of pumpkin seed oil was 94.13%, both of which were significantly higher than that without enzyme inactivation treatment (90.54%). Compared with the oven baking treatment, the pumpkin seed oil obtained by microwave treatment had a lower peroxide value and higher flavonoid content, total phenol content, and DPPH radical scavenging rate. In addition, the protein solubility of the defatted meal obtained by microwave treatment was higher, and the power consumption was only 6.15% of that obtained by oven baking treatment. Microwave inactivation was superior to oven baking in the extraction of pumpkin seed oil using the new aqueous method.

**Key words:** pumpkin seed oil; new aqueous method; microwave; oven baking; oil extraction rate; oil quality

收稿日期: 2021-03-29; 修回日期: 2021-09-23

作者简介: 付家园(1992), 女, 硕士研究生, 研究方向为现代粮油食品加工技术(E-mail) 515627245@qq.com。

通信作者: 吴文标, 教授(E-mail) wbwu@163.com。

可食用的南瓜籽仁含 36% ~ 50% 的油脂、24% ~ 37% 的蛋白质和丰富的生物活性物质<sup>[1]</sup>。南瓜籽油的提取方法主要有溶剂浸出法、压榨法、超

临界二氧化碳萃取法、水酶法等。传统的溶剂浸出法油脂提取率可高达98%~99%<sup>[2-3]</sup>,并且是目前油脂行业大规模使用的加工方法,但是出于环保、人体健康和降低火灾风险等方面考虑,发展替代方法已在世界范围内成为研究热点。而关于采用乙醇(无毒)、异丙醇(微毒)和萜类(无毒)等绿色溶剂提取油脂也有研究报道,从目前的研究结果看,因其对非脂类杂质的提取量高和成本高等缺点仍然难以实现应用于大规模生产的目标。热榨法的油脂提取率低于溶剂浸出法,且因饼中的蛋白质变性,进一步深加工的价值较低。冷榨所得油脂和冷榨饼品质高,但出油率偏低<sup>[4]</sup>。超临界二氧化碳萃取法需要使用高压,目前仍难以应用于大规模生产。鉴于此,基于对环境、健康和成本的关注,世界范围内对水剂法加工油料技术进行了广泛的研究<sup>[5-7]</sup>;然而传统水剂法以及水酶法存在废水量大、处理困难、油脂提取率偏低、大量有用物质随废水损失等问题,且酶的成本高,其前景不容乐观。

目前,开发出了一种新水剂法,其只用少量的水(料液比大于5:1),在提取油脂的过程中,所加的水完全被油料中的亲水性物质(油料中的非油固体物,主要为蛋白质和碳水化合物)通过氢键作用而吸收,所以在提取油脂的过程中见不到自由水,且在氢键的驱动下吸水的湿固体物聚团,从而使油脂从聚集的湿固体物表面排出。这种新水剂法用于花生、葵花籽、芝麻、油菜籽、油茶籽、核桃、巴旦木、松籽等含油量高的植物油料加工时可回收94%~97%的油脂<sup>[8-11]</sup>,用于含油量偏低的大豆时可回收81%的油脂<sup>[12]</sup>。在这些报道的新型水剂法提油工艺中,均有加热灭酶(兼有杀菌作用)工序,且使用烤箱(基于热空气加热方式,由外向内传热)完成此工序。为了探讨新水剂法提油工艺中其他灭酶方式的可行性,本试验以产自我国内蒙古自治区的南瓜籽为原料,就微波(基于分子运动,内外同时加热)与烤箱烘烤灭酶处理方式对新水剂法分离油脂效率及产品质量的影响进行比较研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

脱壳南瓜籽(南瓜籽仁),产自内蒙古巴彦淖尔(含水分9.13%、脂肪45.28%和蛋白质24.68%);蒸馏水;食盐;碳酸钠、氢氧化钾等化学试剂皆为分析纯及以上。

CS-700多功能粉碎机,K11烤箱,ER-SS20CNW微波炉,CS101电热鼓风干燥箱,分样筛,BSA323S电子分析天平,BMS220.4电子分析天平,

D-Sheeter单螺杆挤压机,752N紫外分光光度计,KDN-04A凯氏定氮仪,80-2电动离心机,202-0恒温培养箱,JJ-1搅拌机。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 南瓜籽的灭酶处理与新型水剂法提取南瓜籽油

去除损伤、虫蛀的南瓜籽仁后,称取一定量的南瓜籽仁于一定温度的烤箱中烘烤处理一定时间或放入微波炉在一定功率下微波处理一定时间进行灭酶,取出摊开降至室温。取灭酶的南瓜籽仁于粉碎机粉碎3次,每次1 min,再手工研磨后过0.15 mm(100目)样品筛,得到南瓜籽仁浆。取10 g南瓜籽仁浆,加入1.60 mL水和0.08 g食盐,于30℃搅拌30 min,于4 000 r/min离心3次,每次30 min,收集油脂和沉淀。将沉淀称重后用单螺杆挤压机挤压3次得到脱脂粕,测定其含油量。

#### 1.2.2 南瓜籽油提取率的计算

按式(1)计算南瓜籽油提取率。

$$R = (X_1 - X_2) / X_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: $R$ 为南瓜籽油提取率; $X_1$ 为南瓜籽仁浆的含油量,g; $X_2$ 为脱脂粕的含油量,g。

#### 1.2.3 基本理化指标的测定

含油量的测定参照GB 5009.6—2016;透明度、气味和滋味的测定参照GB/T 5525—2008;水分及挥发物含量的测定参照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;总酚含量的测定参照GB/T 8313—2008;黄酮含量的测定参照NY/T 1295—2007;DPPH自由基清除率的测定参照Faller等<sup>[13]</sup>的方法;脂肪酶活性的测定参照GB/T 5523—2008。

#### 1.2.4 南瓜籽粕粉吸油性的测定

将新水剂法分离油脂后的脱脂粕,采用正己烷用索氏抽提法脱去全部残油,将溶剂挥发尽后得到全脱油南瓜籽粕粉。称取1.000 0 g全脱油南瓜籽粕粉于干燥称重的离心管中,加入10 mL大豆油,涡旋振荡30 s,然后移入40℃水浴锅保温30 min,以4 000 r/min离心30 min,倒出离心管上部油并将残余物和离心管一起称重,按式(2)计算全脱油南瓜籽粕粉的吸油性。

$$O = (m_2 - m_1) / m_0 \quad (2)$$

式中: $O$ 为全脱油南瓜籽粕粉的吸油性,g/g; $m_0$ 为全脱油南瓜籽粕粉的质量,g; $m_1$ 为离心管加全脱油南瓜籽粕粉的质量,g; $m_2$ 为离心后离心管加沉淀物的质量,g。

### 1.2.5 脱脂粕蛋白质溶解度的测定

称取 0.300 0 g 南瓜籽粕粉,加入 30.00 mL 蒸馏水,调节 pH 至 10,于 20 °C 下置于恒温磁力搅拌器中搅拌 1 h 后,于 4 000 r/min 离心 20 min,取上清液用凯氏定氮法测定含氮量。脱脂粕蛋白质溶解度用氮溶指数(NSI)表示,按式(3)计算。

$$I_{NS} = c_1/c_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中: $I_{NS}$ 为脱脂粕蛋白质的溶解度; $c_1$ 为上清液中氮含量,g; $c_0$ 为样品中氮含量,g。

## 2 结果与分析

### 2.1 微波与烤箱烘烤灭酶处理对南瓜籽油提取率的影响

#### 2.1.1 烤箱烘烤处理的影响

按照 1.2.1 方法,固定烘烤温度为 110 °C,考察不同烘烤时间对南瓜籽油提取率、全脱油南瓜籽粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响,结果见图 1。

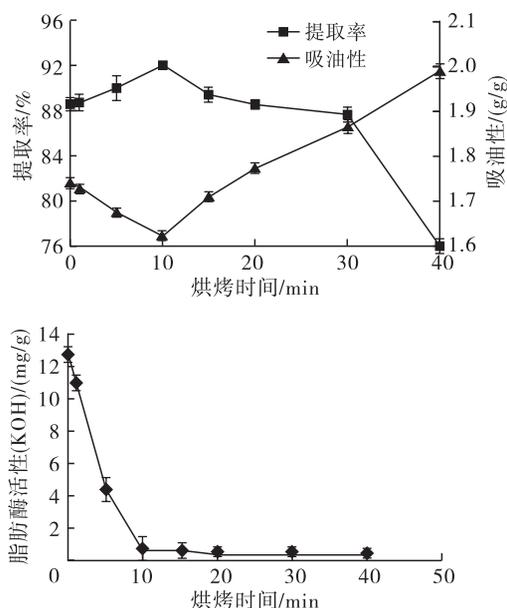


图 1 烤箱烘烤时间对南瓜籽油提取率、粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响

由图 1 可见,未烘烤时南瓜籽油提取率为 90.69%,随烘烤时间的延长,南瓜籽油提取率呈先增长后缓慢降低直至急剧下降的趋势,在烘烤 10 min 时南瓜籽油提取率最高,为 94.13%。试验发现,在烘烤 40 min 时,出现南瓜籽中油与非油固体物不分离、非油固体物完全不成团的现象,此时南瓜籽油提取率大幅降低。

采用新水剂法提油时,油料中的脂肪酶会促进中性油的水解,导致中性油损失和酸值增加。由图 1 可见,南瓜籽脂肪酶活性随烘烤时间的延长呈明显下降趋势,经 1 min 烘烤处理的南瓜籽脂肪酶活性为 10.99 mg/g,与未经烘烤的南瓜籽脂肪酶活性

(12.73 mg/g) 相比有显著差异( $p < 0.05$ ),在南瓜籽油提取率最高的烘烤时间(10 min)时,南瓜籽的脂肪酶活性为 0.58 mg/g,之后随烘烤时间的延长,南瓜籽脂肪酶活性呈平稳的变化趋势,所提取的南瓜籽油的酸值亦无显著差异( $p > 0.05$ )。

由图 1 可见,全脱油南瓜籽粕粉(油料中的非油固体物)的吸油性随烘烤时间的延长先缓慢降低后快速升高,在烘烤时间从 0 min 到 10 min 时,全脱油南瓜籽粕粉的吸油性从 1.74 g/g 降低至 1.62 g/g,而后随烘烤时间延长至 40 min,吸油性逐渐上升至 1.99 g/g,此时南瓜籽仁浆加水搅拌不成团。该趋势与不同烘烤时间下南瓜籽油提取率的变化趋势正好相反,因此南瓜籽中非油固体物吸油性的变化可能是引起南瓜籽油提取率变化的原因之一。

按照 1.2.1 方法,固定烘烤时间为 10 min,考察不同烘烤温度对南瓜籽油提取率、全脱油南瓜籽粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响,结果见图 2。

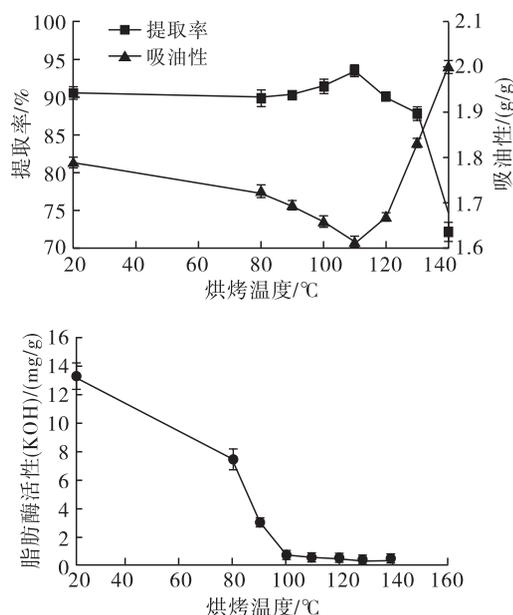


图 2 烤箱烘烤温度对南瓜籽油提取率、粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响

由图 2 可见:烘烤温度为 110 °C 时,南瓜籽油提取率最高,为 94.19%,与未烘烤的南瓜籽油提取率(90.54%)相比有显著差异( $p < 0.05$ );随着烘烤温度的进一步升高,南瓜籽油提取率显著下降;在烘烤温度为 140 °C 时,出现经加水搅拌南瓜籽中油与非油固体物不分离、非油固体物完全不成团的现象,南瓜籽油提取率大幅度降低。

由图 2 还可看出,南瓜籽的脂肪酶活性随烘烤温度的升高呈明显下降趋势,经 80 °C 烘烤处理,南瓜籽脂肪酶活性为 7.50 mg/g,与未经烘烤的南瓜籽脂肪酶活性(13.27 mg/g)相比有显著差异( $p <$

0.05),在烘烤温度为100℃时,南瓜籽脂肪酶活性为0.72 mg/g,而后随烘烤温度的进一步升高,南瓜籽脂肪酶活性呈平稳的变化趋势,经分析无显著差异( $p > 0.05$ )。

由图2还可见,全脱油南瓜籽粕粉的吸油性随烘烤温度的升高先降低后快速升高,在烘烤温度从室温(20℃)上升到110℃时,全脱油南瓜籽粕粉的吸油性从1.76 g/g降低至1.61 g/g,而后随烘烤温度上升至140℃时,吸油性逐渐上升至2.0 g/g,此时南瓜籽仁浆加水搅拌不成团。该趋势与不同烘烤温度下南瓜籽油提取率的变化趋势正好相反,由此可见,南瓜籽中非油固体物吸油性的变化是导致南瓜籽油提取率变化的原因之一。

### 2.1.2 微波处理的影响

按照1.2.1方法,固定微波功率为480 W,考察不同微波时间对南瓜籽油提取率、全脱油南瓜籽粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响,结果见图3。

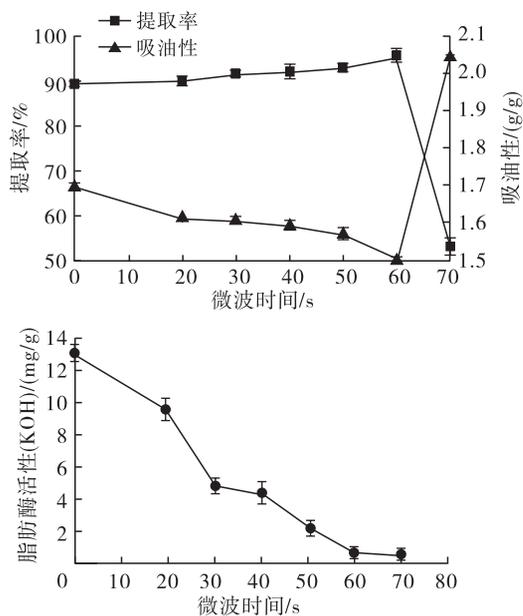


图3 微波时间对南瓜籽油提取率、粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响

由图3可见:微波时间由0 s延长至60 s时,南瓜籽油提取率逐渐增加,在微波处理60 s时,南瓜籽油提取率达最高,为95.44%,与未经微波处理的南瓜籽油提取率(89.19%)相比有差异显著( $p < 0.05$ );进一步延长微波时间至70 s时,南瓜籽油提取率急剧降低至52.70%,且在微波时间70 s时出现经加水搅拌南瓜籽中油与非油固体物之间不分离、非油固体物完全不成团的现象,导致南瓜籽油提取率大幅降低。

由图3还可看出,南瓜籽的脂肪酶活性随微波时间的延长呈明显下降趋势,微波时间20 s时,南

瓜籽脂肪酶活性为9.64 mg/g,与未经微波处理的南瓜籽脂肪酶活性(13.16 mg/g)相比有显著差异( $p < 0.05$ ),在南瓜籽油提取率最高时的微波时间(60 s)时,南瓜籽脂肪酶活性为0.52 mg/g,之后随微波时间的延长,南瓜籽脂肪酶活性呈平稳的变化趋势,所提取的南瓜籽油的酸值亦无显著差异( $p > 0.05$ )。

由图3还可以看出:全脱油南瓜籽粕粉的吸油性随微波时间的延长先降低后迅速升高,该趋势与不同微波时间下南瓜籽油提取率的变化趋势正好相反;在微波处理时间从0 s延长到60 s时,全脱油南瓜籽粕粉的吸油性从1.74 g/g降低至1.56 g/g,而后随微波时间延长至70 s,吸油性迅速上升至2.04 g/g。说明南瓜籽中非油固体物吸油性的变化是导致油提取率变化的原因之一。

按照1.2.1方法,固定微波时间为60 s,考察不同微波功率对南瓜籽油提取率、全脱油南瓜籽粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响,结果见图4。

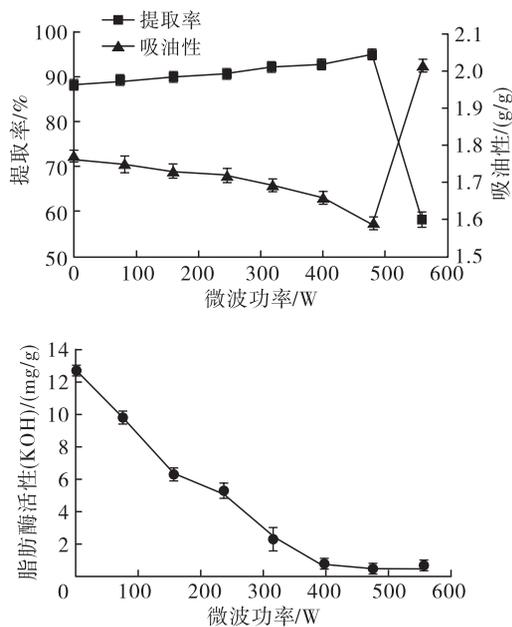


图4 微波功率对南瓜籽油提取率、粕粉吸油性和南瓜籽脂肪酶活性的影响

由图4可以看出,在微波功率为480 W时,南瓜籽油提取率最高,为95.51%。南瓜籽脂肪酶活性随微波功率的增加呈明显下降趋势,经80 W微波处理的南瓜籽脂肪酶活性为9.84 mg/g,与未经处理的南瓜籽脂肪酶活性(12.96 mg/g)相比有显著差异( $p < 0.05$ ),在微波功率为400 W时,南瓜籽脂肪酶活性为0.53 mg/g,之后随微波功率的增加,南瓜籽脂肪酶活性呈平稳的变化趋势,经分析无显著差异( $p > 0.05$ )。全脱油南瓜籽粕粉的吸油性随

微波功率的增加先逐渐降低后迅速升高,该趋势与不同微波功率下南瓜籽油提取率的变化趋势相反,显然南瓜籽中非油固体物吸油性的变化是导致南瓜籽油提取率变化的原因之一。

### 2.1.3 微波与烤箱烘烤处理效率的比较

根据 2.1.1 和 2.1.2 的研究,确定烤箱烘烤灭酶处理的最佳条件为烘烤温度 110 °C、烘烤时间 10 min,微波灭酶处理的最佳条件为微波功率 480 W、微波时间 60 s,分别在最佳条件下进行验证试验,得到南瓜籽油的提取率分别为 94.13% (烤箱烘烤处理)和 95.51% (微波处理),经分析二者的南瓜籽油提取率具有显著差异( $p < 0.05$ )。另外,微波处理所需时间仅为烤箱烘烤处理的 1/10,而且在实验室条件下,处理 1 kg 南瓜籽仁时,微波处理耗电量(0.008 kW·h,计算得出)仅为烤箱烘烤处理耗电量(0.13 kW·h,由精密微型电度表测出)的 6.15%。在中试或大规模生产条件下的比较,有待于进一步试验。

## 2.2 微波与烤箱烘烤处理对南瓜籽油质量的影响

### 2.2.1 烤箱烘烤处理对酸值的影响

按照 1.2.1 方法,分别考察不同烘烤时间(固定烤箱温度为 110 °C)和烘烤温度(固定烘烤时间为 10 min)对南瓜籽油酸值的影响,结果见图 5。

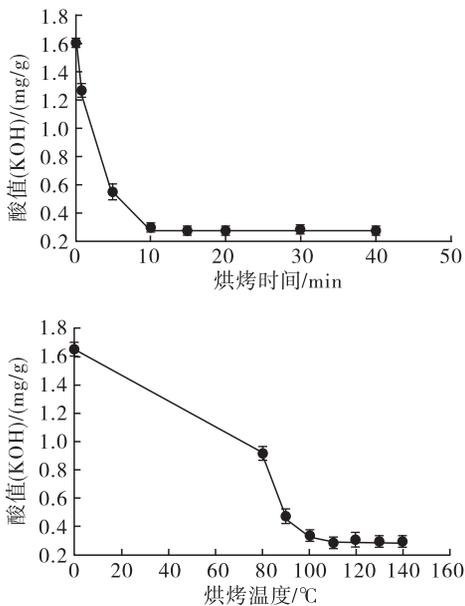


图 5 烤箱烘烤时间和烘烤温度对南瓜籽油酸值的影响

由图 5 可见,南瓜籽油的酸值随烘烤时间延长的变化趋势与南瓜籽脂肪酶活性的变化趋势(图 1)是一致的,经 1 min 烘烤处理的南瓜籽油酸值(KOH)为 1.24 mg/g,与未经烘烤的南瓜籽油酸值(KOH)(1.60 mg/g)相比有显著差异( $p < 0.05$ )。南瓜籽油酸值(KOH)在烘烤时间 10 min 时为 0.28

mg/g,之后随烘烤时间延长呈平稳的变化趋势,经分析无显著差异( $p > 0.05$ )。

由图 5 还可见:南瓜籽油的酸值随烘烤温度的升高而下降,其变化趋势与南瓜籽脂肪酶活性的变化趋势(图 2)一致,经 80 °C 烘烤处理的南瓜籽油酸值(KOH)为 0.90 mg/g,与未经烘烤的南瓜籽油酸值(KOH)(1.63 mg/g)相比有显著差异( $p < 0.05$ );南瓜籽油的酸值(KOH)在烘烤温度 100 °C 时为 0.32 mg/g,之后随烘烤温度的升高轻微下降后呈平稳的变化趋势,经分析无显著差异( $p > 0.05$ )。

### 2.2.2 微波处理对酸值的影响

按照 1.2.1 方法,考察不同微波时间(固定微波功率 480 W)和微波功率(固定微波时间 60 s)对南瓜籽油酸值的影响,结果见图 6。

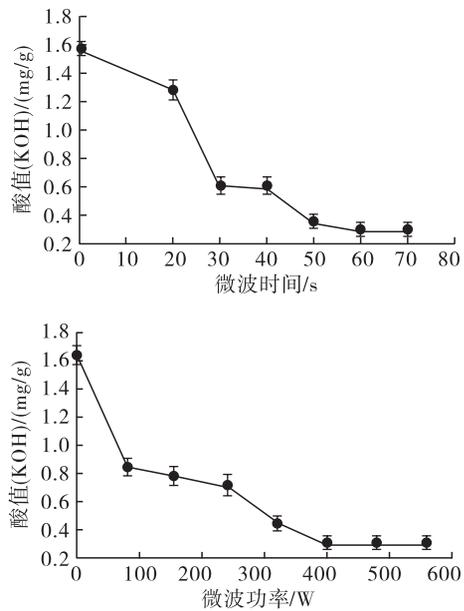


图 6 微波时间和微波功率对南瓜籽油酸值的影响

由图 6 可见,南瓜籽油酸值随微波时间延长的变化趋势与南瓜籽脂肪酶活性的变化趋势(图 3)一致。经 20 s 微波处理的南瓜籽油酸值(KOH)为 1.28 mg/g,与未经微波处理的南瓜籽油酸值(KOH)(1.56 mg/g)相比有显著差异( $p < 0.05$ )。南瓜籽油的酸值(KOH)在微波时间 60 s 时为 0.28 mg/g,之后随微波时间的延长呈平稳的变化趋势,经分析无显著差异( $p > 0.05$ )。

由图 6 还可见,南瓜籽油的酸值随微波功率的增加呈明显下降趋势,与南瓜籽脂肪酶活性的变化趋势(图 4)一致。经 80 W 微波处理的南瓜籽油酸值(KOH)为 0.83 mg/g,与未经微波处理的南瓜籽油的酸值(KOH)(1.64 mg/g)相比有显著差异( $p < 0.05$ );南瓜籽油酸值在微波功率 400 W 时为 0.28 mg/g,之后随微波功率增加呈平稳的变化趋势,经

分析无显著差异( $p > 0.05$ )。

### 2.2.3 微波与烤箱烘烤处理对南瓜籽油理化指标的影响

对最佳微波处理条件下和烤箱烘烤处理条件下所得南瓜籽油的理化指标进行测定,结果如表1所示。

表1 不同处理方式所得南瓜籽油的理化指标

项目	未处理	烤箱烘烤处理	微波处理
气味、滋味	具有南瓜籽油固有的气味和滋味,无不良气味		
透明度	澄清、透明	澄清、透明	澄清、透明
水分及挥发物含量/%	0.016	0.012	0.013
酸值(KOH)/(mg/g)	1.54	0.28	0.28
过氧化值/(mmol/kg)	4.82	2.63	2.34
总酚含量/(mg/kg)	331	349	364
黄酮含量/(mg/kg)	19.46	24.73	26.88
DPPH 自由基清除率/%	21.46	25.58	28.83

由表1可见,微波处理所得南瓜籽油的过氧化值、总酚含量、黄酮含量、DPPH 自由基清除率皆优于未处理和经烤箱烘烤处理所得的南瓜籽油,而在气味及滋味、透明度上三者并无明显差异,烤箱烘烤处理与微波处理所得南瓜籽油的酸值一致,烤箱烘烤处理与微波处理所得南瓜籽油的理化指标皆优于未处理的南瓜籽油。

### 2.3 微波与烤箱烘烤处理对脱脂粕蛋白质溶解度的影响

对最佳微波处理条件下和烤箱烘烤处理条件下所得脱脂粕的蛋白质溶解度进行测定,结果表明,未处理时所得脱脂粕的蛋白质溶解度为80%,经烤箱烘烤处理所得脱脂粕的蛋白质溶解度下降了20%,而经微波处理所得脱脂粕的蛋白质溶解度只下降了10%。这可能与微波时间短、微波功率小有关。从获得较高蛋白质溶解度的脱脂粕考虑,微波处理优于烤箱烘烤处理。

## 3 结论

采用新水剂法提取南瓜籽油时,与烤箱烘烤灭酶处理方式相比,微波灭酶处理方式下南瓜籽油的提取率略优,耗时仅为烤箱烘烤处理的10%,耗电量仅为烤箱烘烤处理的6.15%,所得南瓜籽油的理化指标稍优,脱脂粕的蛋白质溶解度更好。这说明在采用新水剂法提取南瓜籽油时,采用微波处理灭酶优于烤箱烘烤处理。另外,除了脱脂粕蛋白质溶

解度外,就其他指标而言,微波处理与烤箱烘烤处理均优于未处理。

### 参考文献:

- [1] VERONEZI C M, JORGE N. Bioactive compounds in lipid fractions of pumpkin (*Cucurbita* sp.) seeds for use in food [J]. *J Food Sci*, 2012, 77(6): C653 - C657.
- [2] 汪爱国, 杨海燕, 章宇宁, 等. 溶剂浸取法提取麻疯果仁油的工艺研究[J]. *中国油脂*, 2010, 35(2): 10 - 13.
- [3] 宋鹏, 解桂东, 周爽, 等. 混合溶剂在大豆油浸出法中应用的研究[J]. *食品工业*, 2014, 35(11): 114 - 118.
- [4] 闫圣坤, 杨嘉鹏, 王庆惠, 等. 低温冷榨核桃油工艺及主要压榨参数优化[J]. *农业工程*, 2020, 10(1): 48 - 52.
- [5] YUSOFF M M, GORDON M H, NIRANIAN K. Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: a review [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2014, 41(1): 60 - 82.
- [6] LI X J, LI Z G, WANG X, et al. Application of cavitation system to accelerate aqueous enzymatic extraction of seed oil from *Cucurbita pepo* L. and evaluation of hypoglycemic effect [J]. *Food Chem*, 2016, 212: 403 - 410.
- [7] JIAO J, LI Z G, GAI Q Y, et al. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pumpkin seeds and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities [J]. *Food Chem*, 2014, 147: 17 - 24.
- [8] TU J C, WU W B, YANG J F, et al. A method of producing edible oils with high quality by water [J/OL]. *J Food Proc Preserv*, 2017, 41: e132806 [2021 - 03 - 27]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13280>.
- [9] TU J C, WU W B. Critical functional properties of defatted peanut meal produced by aqueous extraction and conventional methods [J]. *J Food Sci Technol*, 2019, 56(10): 4722 - 4731.
- [10] LÜ M, WU W B. An advanced aqueous method of extracting rapeseed oil with high quality [J/OL]. *J Food Proc Eng*, 2019, 42: e129572 [2021 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12957>.
- [11] FU S T, WU W B. Optimization of conditions for producing high-quality oil and de-oiled meal from almond seeds by water [J/OL]. *J Food Proc Preserv*, 2019, 43: e140508 [2021 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14050>.
- [12] TU J, WU W. Establishment of an aqueous method of extracting soy oils assisted by adding free oil [J/OL]. *Grasas Aceites*, 2019, 70(3): e313 [2021 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.3989/gya.0711182>.
- [13] FALLER A L K, FIALHO E. Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods [J]. *J Food Compos Anal*, 2010, 23(6): 561 - 568.