

小磨香油芝麻渣中类黑精的提取及抗氧化活性分析

毛肇洁¹, 林冰洁¹, 余远¹, 王霞^{1,2}, 咸丽¹, 张羽¹, 杨忠欣³, 张丰香^{1,2}

(1. 潍坊医学院公共卫生学院, 山东潍坊 261053) (2. 潍坊市食品营养与安全重点实验室, 山东潍坊 261053)
(3. 瑞福油脂股份有限公司, 山东潍坊 261057)

摘要:以小磨香油芝麻渣为原料, 利用不同溶液辅助超声提取芝麻渣中的类黑精, 并采用电子舌对类黑精的滋味进行检测、傅里叶红外对其结构进行初步分析、及类黑精抗氧化活性的检测和分析。结果表明, 以 pH 10.0 碱溶液为提取液中的类黑精含量最高, 其次是 60% 乙醇溶液, 且醇提类黑精有更强的苦味; pH 10.0 碱提组分的蛋白含量最高, 60% 醇提组分的总糖含量最高, 分别为 47.58% 和 25.18%, 芝麻渣类黑精主要是蛋白结合型; 芝麻渣类黑精最突出的滋味是苦味, 最高苦味值达到 7.28 ± 0.03 , 其次是鲜味; 随着类黑精浓度的增加, 几种抗氧化活性指标有增加的趋势, 其中用水提取的有最好的 $\cdot\text{OH}$ 清除效果, 达到 56.52%, 60% 醇提类黑精在浓度为 1 mg/mL 时, DPPH·清除率已高达 95%; 芝麻渣类黑精中具有芳胺和呋喃等杂芳环结构。本研究说明芝麻渣类黑精适合用 pH 10 碱溶液和 60% 醇溶液提取且具有较好的抗氧化活性, 为芝麻渣类黑精的初步探索以及芝麻渣的开发利用提供了一定理论依据。

关键词: 芝麻渣; 类黑精; 提取; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2021)07-221-227

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.7.0206

Extraction and Antioxidant Activity Analysis of Melanoidins from the Sesame Residue of Pure Sesame Oil

MAO Zhao-jie¹, LIN Bing-jie¹, YU Yuan¹, WANG Xia^{1,2}, XIAN Li¹, ZHANG Yu¹, YANG Zhong-xin³,
ZHANG Feng-xiang^{1,2}

(1.College of Public Health of Weifang Medical University, Weifang 261053, China) (2.Weifang Key Laboratory for Food Nutrition and Safety, Weifang 261053, China) (3.Ruifu Oils and Fats Co. Ltd., Weifang 261057, China)

Abstract: Sesame seed residue was used as raw material. The melanoidins were extracted from sesame dregs by different solutions assisted with ultrasonic extraction. The taste and structure of melanoidins were evaluated by electronic tongue, Fourier transform infrared, respectively. The antioxidant activities of sesame residue melanoidins were also analyzed. The results showed that the melanoidin content of the sample extracted by pH 10.0 alkali solution was the highest, followed by 60% ethanol solution. The extraction by alcohol had a stronger bitter taste. The protein content of extraction by pH 10.0 alkali and the total sugar content of extraction by 60% alcohol were higher than that of other solutions, which content were 47.58% and 25.18%, respectively. Sesame residue melanin was mainly protein binding type. Bitterness was the most prominent taste of sesame residue melanoidins, the highest bitter value was 7.28 ± 0.03 , followed by umami. With the increase of melanoidins concentration, their antioxidant abilities also increased. The extraction by water had the best $\cdot\text{OH}$ scavenging effect, which has reached 56.52%. The DPPH· scavenging rate of extraction by 60% alcohol at the concentration of 1 mg/mL was 95%. There were heteroaromatic rings such as aromatic amines and furans in sesame residue melanoidins. This work showed that melanoidins of sesame residue will be suitable to be extracted by pH 10 alkali and 60% alcohol solution and has good antioxidant activity. It will provide theoretical basis for the exploration of melanoidins and the utilization of sesame residue.

Key words: sesame residue; melanoidins; extraction; antioxidant activity

引文格式:

毛肇洁, 林冰洁, 余远, 等. 小磨香油芝麻渣中类黑精的提取及抗氧化活性分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(7): 221-227

MAO Zhao-jie, LIN Bing-jie, YU Yuan, et al. Extraction and antioxidant activity analysis of melanoidins from the sesame residue of pure sesame oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 221-217

收稿日期: 2021-02-27

基金项目: 山东省高等学校青创人才引育计划 (2019-6-156, LU-Jiao)

作者简介: 毛肇洁 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与安全; 通讯作者: 张丰香 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养与安全

芝麻在我国已经有两千多年的栽培史,是重要的油料作物之一,香油源于芝麻,又称为芝麻油、麻油,是中国传统的调味植物油。其中,用水代法加工制取的芝麻香油称为小磨香油,其制油工艺具有操作温度低、营养成分及香味物质损失少的优点,是中国传统的、特有的制油方法,在我国已有 600 多年历史^[1]。小磨香油较冷轧香油储藏稳定性高,产品呈琥珀色、香味浓郁、口感绵长,其营养丰富并具有独特的风味,深受世界各国消费者的喜爱,除在我国香油市场占主导地位,还远销韩国、日本、东南亚等,广受国际赞誉。

焙炒是小磨香油的关键工艺,在 150~200 °C 高温条件下,芝麻当中会发生一系列的化学反应,其中最主要的就是美拉德反应,使焙炒后的芝麻香味浓郁,较多研究者认为是芝麻中含有的还原糖和氨基酸在焙炒过程中生成的美拉德反应产物^[2],经水代法提取香油后剩余的芝麻渣呈深褐色^[3]。美拉德反应产物中,改变食品色泽的这类物质被称类黑精,是美拉德反应后期生成的一类褐色的大分子含氮化合物^[4]。研究发现,类黑精不仅能赋予食物色泽和风味,还有很好的生物活性,如抗氧化、抑菌、抗炎、益生元活性等^[5],类黑精的结构目前尚未得出定论,但现有的研究表明类黑精的主要是由重复单元的吡咯或呋喃组成的聚合物。小磨香油加工剩余的芝麻渣仍然具有很高的营养成分,若未能及时处理,当作废料丢弃或者只是用来做肥料,则对资源造成了浪费^[6]。目前绝大部分芝麻渣仅是简单的作为饲料处理,对其中美拉德反应产物的研究不足,影响芝麻渣深度的开发利用。因此,本研究主要围绕小磨香油芝麻渣中类黑精的提取及活性展开,为芝麻渣的深度开发利用提供一定的科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

新鲜小磨香油芝麻渣,瑞福油脂股份有限公司;牛血清蛋白、DPPH, Sigma 公司;考马斯亮蓝 G250、葡萄糖、PBS、抗坏血酸,北京索莱宝科技有限公司;其余试剂均为国产分析纯试剂。

1.2 仪器与设备

台式冷冻离心机(3-16KL),德国 Sigma 公司;数控超声波清洗器(KQ-500DE),昆山市超声仪器有限公司;台式酸度计(FE28),梅特勒-托利多集团;紫外可见分光光度计(UV-5100B),上海元析仪器有限公司;酶标仪(Thermo1510),美国赛默飞世尔科技公司;冷冻干燥机(FDU-2110),日本 EYELA 公

司;电子舌(SA402B),日本 INSENT;傅里叶红外光谱仪(Nicolet iS50),美国 Thermo 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 类黑精的提取方法

将芝麻渣进行冷冻干燥,用 30%~60% 沸程的石油醚对干燥后的芝麻渣进行脱脂^[7]。准确称量 1 g 脱脂芝麻渣样品 6 份,分别加入去离子水, pH 8、pH 10 的水溶液,体积分数为 30%、60%、90% 的乙醇溶液 50 mL, 100 Hz 超声提取 1 h; 5000 r/min 离心 10 min; 取上清液,在 420 nm 下测其吸光度值^[8,9],吸光值越大表示类黑精含量越高;将剩余上清液收集透析,截留分子量为 14 ku,时间 24 h,间隔 4~6 h 换水,透析所得产物冷冻干燥,即得芝麻渣类黑精组分, -20 °C 储存备用。

1.3.2 类黑精组分中蛋白和总糖的测定

采用考马斯亮蓝法^[10];总糖的测定采用苯酚-硫酸法^[11]。

1.3.3 类黑精及芝麻渣溶液滋味测定

将不同溶液提取类黑精后离心剩余的芝麻渣中加入电子舌基准液 50 mL, 100 Hz 超声提取 1 h, 过滤,得到滤液,用于测定苦味;分别称取 60% 乙醇和 pH 10.0 碱提取的类黑精 0.3 g 和 0.5 g 溶于 100 mL 基准液中,过滤之后利用电子舌对其苦、涩、咸、鲜、酸五味进行测定。测量循环次数为四次。

1.3.4 类黑精抗氧化活性测定

1.3.4.1 清除·OH 的能力

分别配置 0.1、1、2、5 mg/mL 的样品溶液和 Vc 溶液,将 Vc 作为阳性对照,不加样品溶液作为空白对照,参照 WANG 等^[12]的方法。分别吸取 200 μL 不同浓度的溶液置于 1.5 mL 的离心管中,然后依次加入 150 μL 的 7.5 mmol/L 硫酸亚铁溶液、300 μL 8.0 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液和 300 μL 7.5 mmol/L 双氧水溶液,旋涡震荡混匀后在 37 °C 下反应 45 min,用酶标仪在 510 nm 下测溶液的吸光度值。按下列公式计算类黑精的羟自由基清除率:

$$\text{清自由基清除率} / \% = (1 - \frac{OD_{\text{样}}}{OD_{\text{空}}}) \times 100\%$$

注: OD_空为不加样品的空白对照吸光度, OD_样为加入样品溶液的吸光度。

1.3.4.2 还原力的测定

配置 1 mg/mL 和 5 mg/mL 的样品溶液和 Vc 溶液, Vc 作为阳性对照,参考 OYAIZU^[13]的方法添加试剂,测溶液在 700 nm 处吸光度值。

1.3.4.3 DPPH·清除率的测定

分别配置 0.1 mg/mL、1 mg/mL、5 mg/mL 的样品溶液和 Vc 溶液，参照 SHYU 等^[14]的方法测定芝麻渣类黑精 DPPH 自由基清除率。

1.3.5 傅里叶红外光谱仪测定类黑精结构

将冷冻干燥后的类黑精样品与纯 KBr 研细均匀，置于模具中，用 $(5\sim 10)\times 10^7$ Pa 压力在油压机上压成透明薄片，采用傅立叶变换红外光谱仪在 4000~400 cm^{-1} 波数范围测定吸收光谱。扫描次数 16 次，分辨率 4 cm^{-1} 。

1.4 数据处理

数据表示为平均值±标准偏差 (SD)，利用 *t* 检验进行组间差异比较、spearman 相关性检验进行关联性分析， $p < 0.05$ 为差异具有统计学意义。采用 GraphPad Prism 8.0 等软件进行数据处理和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同溶液对类黑精提取的影响

本实验采用去离子水、不同 pH 值的碱溶液和不同浓度的乙醇溶液对冷冻干燥后的芝麻渣类黑精进行提取，采用 420 nm 吸光度值的大小表征类黑精溶出量的多少^[8]。实验结果如图 1 所示。随着溶液 pH 值的增加，提取溶液的颜色越深，吸光度值越大，pH 10.0 提取类黑精的吸光度值为 1.86；采用不同浓度乙醇提取时，吸光度值在 60% 乙醇浓度时有最大值 1.60，90% 乙醇提取的吸光度值最低。因此，本实验主要对去离子水提、60% 醇提和 pH 10.0 碱提的芝麻渣类黑精展开研究，与咖啡中的类黑精提取不同，焙烤芝麻中类黑精多采用乙醇浸提法提取，如 SHYU^[15]和 YOO^[16]等都采用了高浓度的乙醇对焙烤芝麻中的类黑精进行了提取，在提取剂中适当添加有机溶剂可以减少蛋白的溶解，提高提取效果^[17]。

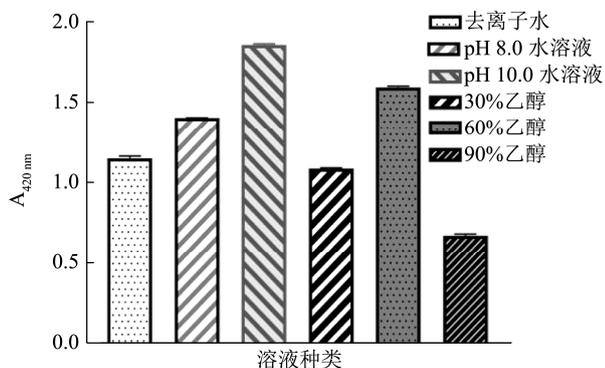


图 1 不同提取溶液在 A_{420 nm} 吸光度值

Fig.1 Absorbance values of different extraction solutions in

A_{420nm}

2.2 不同溶液提取类黑精组份中蛋白和总糖的含量

类黑精是还原性的糖和游离的氨基酸发生美拉德反应的末期产物，是一类大分子、含氮、带有负电荷、呈褐色的聚合物，现在研究认为类黑精可以分为多聚糖型类黑精和蛋白质型类黑精两大类，如咖啡中的类黑精多为多聚糖型，而焙烤食品中的多为蛋白质型^[18]。本实验分别对水提、60% 醇提和 pH 10.0 碱提的类黑精组分中的蛋白和总糖含量进行了测定，测定结果如图 2 所示。pH 10.0 碱提组分的蛋白含量最高，达到 47.58%，其次是 60% 醇提 30.40%、水提 24.89%，这主要因为芝麻当中的蛋白 70% 左右为 11S 球蛋白，易溶于碱溶液而不易溶于水^[19]；60% 醇提组分的总糖含量最高，为 25.18%，水提与 pH 10.0 碱提组分的多糖含量相差不大。利用 spearman 相关性检验对不同提取溶液的 A₄₂₀ 值和蛋白含量进行相关性分析，得到 $r=0.9333$ ， $p=0.0007 < 0.05$ ，即吸光度值与蛋白含量相关，蛋白含量越高，溶液颜色越深，吸光度值越大，间接说明焙烤芝麻渣中的类黑精主要是蛋白质结合型的。

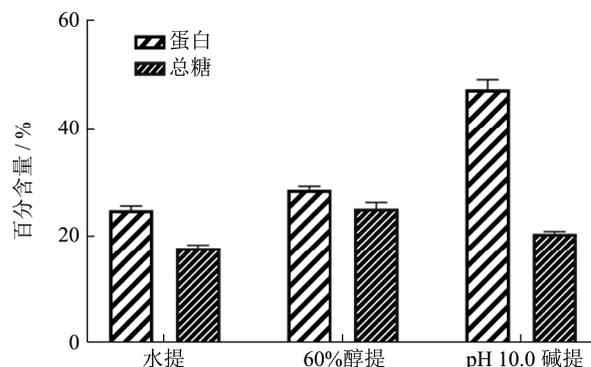


图 2 不同溶液提取类黑精组分的蛋白和总糖含量

Fig.2 Protein and polysaccharide contents of melanoidins extracted by different solutions

2.3 类黑精的滋味及芝麻渣的苦味

采用电子舌对芝麻渣类黑精的苦味 (Bitterness)、涩味 (Astringency)、鲜味 (Umami)、酸味 (Sourness)、丰富度 (Richness)、苦味回味 (Aftertaste-A)、涩味回味 (Aftertaste-B) 和咸味 (Salt) 进行测定，结果如图 3 所示。从图中可以看出，芝麻渣类黑精最突出的滋味是苦味和鲜味。60% 醇提类黑精在低的浓度下却有高的苦味值 7.28，pH 10.0 碱提类黑精的苦味值是 6.46，两者之间的差异具有统计学意义， $p < 0.01$ 。对原芝麻渣和不同溶液提取类黑精之后的芝麻渣的苦味进行测定，其结果见图 4。不同溶液提取类黑精之后，

芝麻渣的苦味都显著下降, 其中 60%乙醇提取之后, 剩余芝麻渣的苦味最小, 其次是 pH 10.0 碱提, 水提之后芝麻渣苦味的降低最小。因此可以推断使芝麻渣产生苦味的主要是类黑精类物质, 人们对于苦味往往是拒绝的, 因为苦味往往被认为与有毒和不能吃的东西有关, 但是有些苦味物质可作为特色风味或对人体有益, 比如咖啡、苦瓜等^[9]。

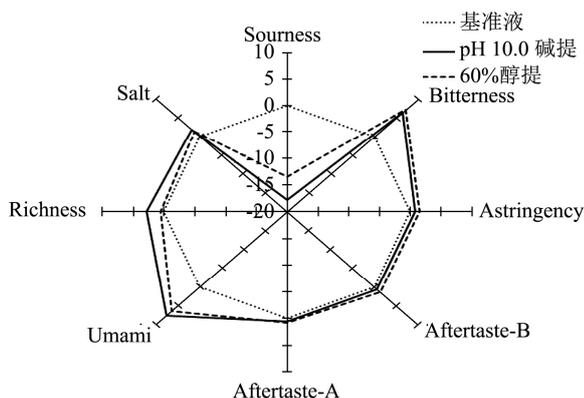


图 3 芝麻渣类黑精的滋味分析图

Fig.3 Taste analysis diagram of melanoidins from sesame residue

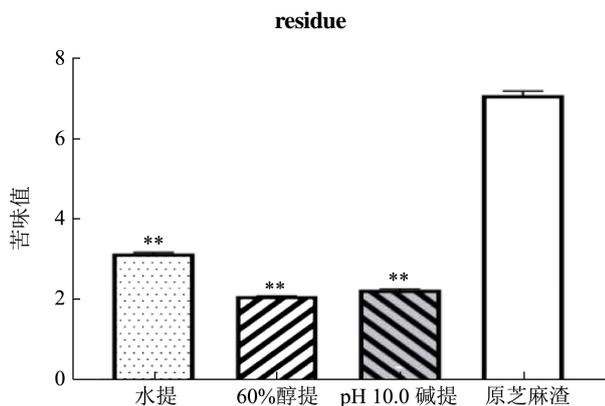


图 4 原芝麻渣和提取类黑精后剩余芝麻渣的苦味

Fig.4 Bitterness of sesame residue and residual sesame residue after extraction of melanoidins

注: **是指与原芝麻渣相比, $p < 0.01$ 。

2.4 芝麻渣类黑精的抗氧化活性

现有的研究发现类黑精具有很好的抗氧化活性。LEE 等^[20]发现从焙烤芝麻中分离出的褐色组分对酶促褐变的抑制效果要好于其他组分。YOO 等^[16]也发现富含褐色物质的甲醇提取组分有很好的抗氧化活性。JO 等^[21]从脱脂的焙烤芝麻渣中提取的褐色物质能防止火鸡胸肉和大腿肉中脂质的氧化。焙烤芝麻粕中的美拉德反应产物有很好的抗氧化活性, 随着焙烤温度的升高, 芝麻粕的甲醇提取物的褐变指数显著增加, 其清除 DPPH·和抑制 Cu^{2+} 诱导的人 LDL 氧化的抗氧

化作用也增强^[22]。ZHAO 等^[23,24]利用单糖和游离的氨基酸以及芝麻蛋白水解肽制备 MRPs, 发现利用木糖和芝麻蛋白肽生成的美拉德反应产物可显著提高冷压芝麻的氧化稳定性。本实验从·OH 和 DPPH·的清除能力以及还原能力三个方面分析了不同溶液提取的芝麻渣类黑精的抗氧化活性。

2.4.1 芝麻渣类黑精的·OH 清除能力

不同溶液提取类黑精的·OH 清除能力如图 5 所示。类黑精·OH 清除能力和浓度有关, 随着浓度增加, 其清除能力也增加, 但都比同等浓度下的 Vc 的清除率低 ($p < 0.01$), 这与彭松林等^[25]对卤烤鸭中类黑精的·OH 清除能力的研究结果相一致; 当浓度大于 1 mg/mL 时, 水提和碱提类黑精的清除率随浓度增加提升较快, 且水提类黑精的清除率要高于碱提和醇提类黑精 ($p < 0.01$), ·OH 清除能力有随着类黑精浓度的增高而增强的趋势, 5 mg/mL 水提类黑精的清除率是样品中清除率最高的, 其清除率达到了 56.52%; 当浓度小于 2 mg/mL 时, 醇提的清除率要高于碱提的 ($p < 0.01$), 类黑精的浓度和提取方式是影响·OH 清除率的因素。

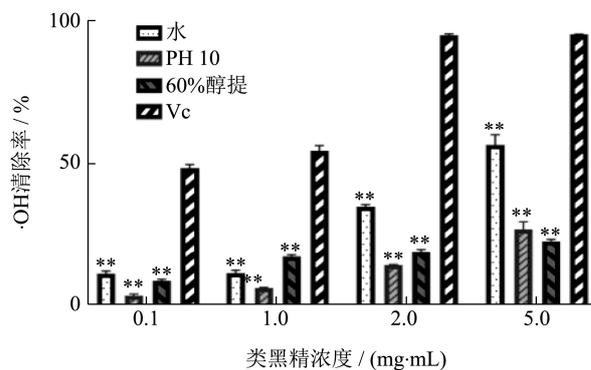


图 5 不同溶液提取类黑精的·OH 清除率

Fig.5 ·OH scavenging rate of melanoidin extracted from different solutions

注: **是指与 Vc 对照组相比, $p < 0.01$ 。

2.4.2 类黑精的还原力

彭松林^[25]和赵一梦^[26]等研究发现卤烤鸭和黑蒜中的类黑精具有一定的还原能力, 但是不强。本研究发现不同溶液提取的类黑精也具有一定的还原能力, 具体结果见图 6。随着类黑精浓度的增加, 其还原能力也增加, 但都低于同浓度下 Vc 的还原能力 ($p < 0.01$)。不同浓度下, 60%醇提类黑精的还原能力要高于水提和 pH 10.0 碱提的 ($p < 0.05$); 5 mg/mL 的 60%醇提类黑精的清除率最高, $A_{700\text{ nm}}$ 为 0.22, 水提和 pH 10.0 碱提分别为 0.16、0.18, 而同样浓度下 Vc 的 $A_{700\text{ nm}}$ 为 1.60。

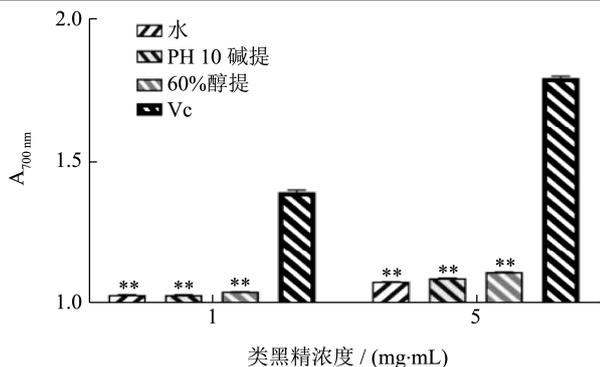


图6 不同溶液提取类黑精的还原力

Fig.6 Reducing ability of melanoidins extracted from different solutions

注: **是指与 Vc 对照组相比, $p < 0.01$ 。

2.4.3 类黑精对 DPPH·的清除能力

芝麻渣类黑精对 DPPH·的清除能力如图 7 所示。芝麻渣类黑精清除 DPPH·的能力与浓度有关, 在 0.1 mg/mL 的浓度下, 三种溶液提取的类黑精的清除能力都要小于 Vc 对照组 ($p < 0.01$), 在此浓度下清除能力最好的是 60% 醇提类黑精, DPPH·清除率达到 47.20%, 水提和 pH 10 碱提分别为 40.46%、29.12%; 当浓度提升到 1 mg/mL 时, 三种溶液提取类黑精的清除能力都有增加, 60% 醇提类黑精的清除能力与 Vc 对照组一致, 差异无统计学意义, $p > 0.05$; 当类黑精浓度进一步增加到 5 mg/mL 时, 水提和 60% 醇提类黑精的清除能力与 Vc 对照组一致, 差异无统计学意义, $p > 0.05$; pH 10.0 碱提类黑精的清除能力在 1 mg/mL 时最大, 清除率为 46.91%, 当浓度增加到 5 mg/mL 时下降为 16.99%。综上分析, 一定浓度水平下, 水提和醇提类黑精具有较强的 DPPH·的清除能力, 清除率可达 95%, 显著高于王明慧^[27]等研究的糯米藕类黑精 DPPH·的清除能力, 其改变类黑精的相对浓度, 最强清除率仅达到 53.39%。

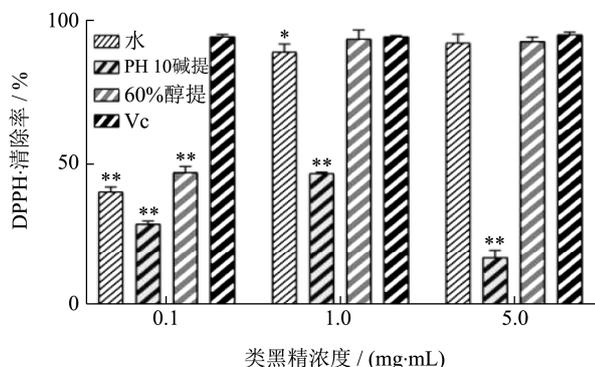


图7 不同溶液提取类黑精的 DPPH·清除率

Fig.7 DPPH free radicals scavenging rate of melanoidins extracted from different solutions

注: *与 Vc 对照相比, $p < 0.05$; **与 Vc 对照组相比, $p < 0.01$ 。

2.5 芝麻渣类黑精的结构

目前食品中类黑精的完整结构还没有被破解。但从无水模型系统(葡萄糖-谷蛋白加热到 150 °C 45 min, 葡萄糖-甘氨酸/谷氨酸加热到 125 °C 2 h)和食品中获得的高分子量类黑素结构已有相关报道。研究发现从模型系统、面包皮、咖啡和番茄酱中提取的黑色素, 主要由呋喃组成, 并含有羰基化合物、吡咯、吡嗪和吡啶等结构^[28]。本实验提取芝麻渣类黑精的傅里叶红外光谱图如图 8 所示。在 3050 cm^{-1} 附近的弱吸收峰主要是不饱和碳的 C-H 伸缩振动吸收; 在 1600 cm^{-1} 和 1500 cm^{-1} 附近有强的吸收峰, 主要是由芳环骨架振动引起的; 在 880~680 cm^{-1} 范围内存在很弱吸收带, 表明芳环的氢被取代, 形成共轭体系; 在 1685~1660 cm^{-1} 范围内有尖且强的吸收峰, 推断为存在 α 或 β 不饱和酮结构; 在 3385 cm^{-1} 附近宽的吸收峰主要归于 O-H 和 N-H 伸缩震动, 且在 1400 cm^{-1} 附近存在 C-N 伸缩震动吸收峰^[29]。因此, 综上分析, 芝麻渣类黑精中也存有芳族胺和呋喃等杂芳环结构。

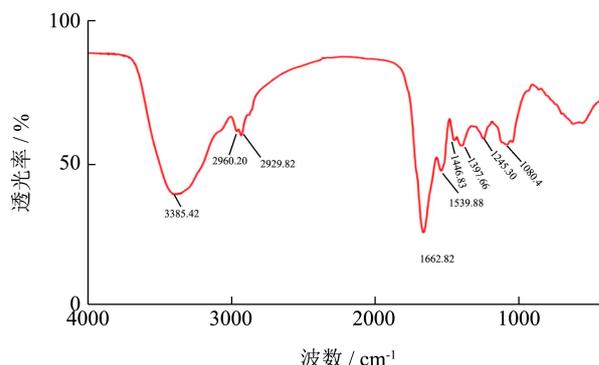


图8 芝麻渣类黑精的傅里叶红外变换光谱图

Fig.8 Fourier transform infrared spectrogram of melanoidins from sesame dregs

3 结论

食品类黑精已经成为众研究者关注的焦点, 但是关于芝麻渣类黑精仍鲜少有涉足。本研究采用不同 pH 值的碱液和不同浓度的乙醇溶液对芝麻渣中的类黑精进行提取, 发现用 pH 10.0 的碱溶液和体积分数为 60% 的乙醇提取芝麻渣中的类黑精含量较高, 而醇提溶液的苦味值最大, 且对芝麻渣的脱苦能力最强, 芝麻渣类黑精的滋味主要是由苦味和鲜味值组成, 因此 60% 的乙醇溶液是芝麻渣类黑精的良好提取溶剂。用 pH 10.0 的碱溶液提取的芝麻渣类黑精的蛋白质含量最高, 达 47.58%, 60% 乙醇提取的多糖含量最高, 达 25.18%; 且提取液的吸光度值与蛋白含量存在相关性, 推断芝麻渣类黑精主要是蛋白结合型。经红外光

谱显示,芝麻渣类黑精中含有芳族胺和呋喃等结构。本研究揭示了芝麻渣类黑精的滋味和一定浓度的乙醇溶液对芝麻渣类黑精具有良好的提取性,并研究发现芝麻渣类黑精具有良好的清除 DPPH· 的能力,为后续芝麻渣类黑精的研究奠定基础,利用类黑精的抗氧化性、抗菌性和抗血糖等功能研究保健食品,延长食品货架期^[30,31],并提高芝麻渣的利用率。

参考文献

- [1] 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
WANG Rui-yuan. China has made important contributions to the development of global sesame industry [J]. China Oils and Fats, 2019, 44(12): 1-2
- [2] 王楠楠,汪学德,刘宏伟,等.焙炒对压榨芝麻油品质及抗氧化活性的影响研究[J].中国油脂,2019,44(9):7-11
WANG Nan-nan, WANG Xue-de, LIU Hong-wei, et al. Effect of roasting on quality and antioxidant of pressed sesame oil [J]. China Oils and Fats, 2019, 44(9): 7-11
- [3] Yaacour R, Saliba R, Nsouli B, et al. Formation of lipid oxidation and isomerization products during processing of nuts and sesame seeds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 7082-7090
- [4] Helou C, Jacolot P, Philippe H, et al. Maillard reaction products in bread: a novel semi-quantitative method for evaluating melanoidins in bread [J]. Food Chemistry, 2016, 190: 904-911
- [5] Mesias M, Cristina D A. Melanoidins as a potential functional food ingredient [J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 14: 37-42
- [6] 谢放华.小磨麻油副产物芝麻渣的成分分析及综合利用研究[J].中国油脂,2000,4:58-59
XIE Fang-hua. Study on the composition analysis and comprehensive utilization of sesame slag by-product of small grinding hemp oil [J]. China Oils and Fats, 2000, 4: 58-59
- [7] 赵月琳.石油醚测定脱脂棉及脱脂纱布油脂含量[J].苏盐科技,2005,3:11,42
ZHAO Yue-lin. Determination of oil content of skimmed cotton and skimmed gauze with petroleum ether [J]. Modern Salt and Chemical Industry, 2005, 3: 11, 42
- [8] Dolores R, Silvia P M O, Luisa G S, et al. Inhibition of induced DNA oxidative damage by beers: correlation with the content of polyphenols and melanoidins [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2005, 53(9): 3637-3642
- [9] 郑佳佳.酒糟类黑精提取、纯化技术研究[D].泰安:山东农业大学,2015
ZHENG Jia-jia. Extraction and purification techniques of melanoidin from distillers' grains [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015
- [10] 杨静华.考马斯亮蓝法测定苦荞麦中可溶性蛋白的含量[J].山西医药杂志,2018,47(2):206-207
YANG Jing-hua. Determination of soluble protein in Tartary buckwheat by Coomassie brilliant blue method [J]. Shanxi Medical Journal, 2018, 47(2): 206-207
- [11] 吕亭亭,杨志华,韩永红,等.响应面法优化苯酚-硫酸法测定泡桐花多糖含量[J].化学与生物工程,2020,37(7):62-68
LYU Ting-ting, YANG Zhi-hua, HAN Yong-hong, et al. Optimization in pheno-sulfuric acid method for determination of content of paulowniae flos polysaccharide by response surface methodology [J]. Chemistry & Bioengineering, 2020, 37(7): 62-68
- [12] Wang W Q, Bao Y H, Chen Y. Characteristics and antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products from interactions in a whey protein isolate and sugars system [J]. Food Chemistry, 2013, 139(1-4): 355-361
- [13] Oyaizu M. Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine [J]. Jpn J Nutr, 1986, 44(6): 307-315
- [14] Decker R E A, Welch B. Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1990, 38(3): 674-677
- [15] Shin Y S, Heang J Y, Hwang L S. Effect of roasting condition on the antioxidative activity of the methanolic extract from defatted sesame meal [J]. Food and Drug Analysis, 2009, 17(4): 300-306
- [16] Yoo M A, Kim H W, Kang M H, et al. Antioxidant effect of brown substances separated from defatted roasted sesame dregs [J]. Food Science and Biotechnology, 2004, 13(3): 274-278
- [17] 潘成磊.卤烤鸭贮藏特性及品质改良的研究[D].重庆:西南大学,2020
PAN Cheng-lei. Study on storage characteristics and quality improvement of grilled marinated duck [D]. Chongqing: Southwest University, 2020
- [18] Mesias M, Cristina D A. Melanoidins as a potential functional food ingredient [J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 14(7): 37-42
- [19] 张国治,袁东振,芦鑫,等.三种芝麻蛋白结构和性质比较研究[J].中国油脂,2017,42(7):55-58,64

- ZHANG Guo-zhi, YUAN Dong-zhen, LU Xin, et al. Comparison of structure and properties of three kinds of sesame proteins [J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(7): 55-58, 64
- [20] Lee J C, Kim H W, Kang M H. Tyrosinase inhibitors of browning-related products rractionated from roasted sesame dregs [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2004, 13(6): 714-727
- [21] Jo S C, Nan K C, Min B R, et al. Antioxidant activities of defatted sesame meal extracts in cooked turkey breast and thigh meats [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(11): 2141-2146
- [22] Wan Y, Li H X, Fu G M, et al. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(13): 2571-2578
- [23] Zhao Q, 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]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(4): 1524-1531
- [24] Liu H M, Han Y F, Wang N, et al. Formation and antioxidant activity of Maillard reaction products derived from different sugar-amino acid aqueous model systems of sesame roasting [J]. *Journal of Oleo Science*, 2020, 69(4): 391-401
- [25] 彭松林,潘成磊,康梦瑶,等.卤烤鸭中类黑精的提取及其抗氧化活性与化学稳定性[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(2): 22-29
- PENG Song-lin, PAN Cheng-lei, KANG Meng-yao, et al. Extraction, antioxidant activity and chemical stability of melanoidin extract from stewed roast duck [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(2): 22-29
- [26] 赵一梦,丁彦方,邓云.黑蒜类黑精高静水压辅助提取工艺及其抗氧化性和稳定性研究[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2019, 37(5): 76-82
- ZHAO Yi-meng, DING Yan-fang, DENG Yun. Optimization of high hydrostatic pressure assisted extraction of melanoidins from black garlic and its anti-oxidation and stability [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2019, 37(5): 76-82
- [27] 王明慧,闫佳,韩永斌,等.糯米藕类黑精提取工艺及其体外的抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(10): 223-228
- WANG Ming-hui, YAN Jia, HAN Yong-bin, et al. Extraction and antioxidant activity of melanoidin in lotus root filled with sticky rice [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(10): 223-228
- [28] Wang Y, He Q, Yao W R. Melanoidins produced by the Maillard reaction: structure and biological activity [J]. *Food Chemistry*, 2011, 128(3): 573-584
- [29] Nguyen T M H, Cho E J, Song Y, et al. Use of coffee flower as a novel resource for the production of bioactive compounds, melanoidins, and bio-sugars [J]. *Food Chemistry*, 2019, 299: 1-8
- [30] 赵瑜亮.酱鸭贮藏品质控制及其货架期预测研究[D].杭州: 浙江工业大学, 2018
- ZHAO Yu-liang. Study on storage quality control and shelf life prediction of duck easoned with soy sauce [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2018
- [31] Kim J S. Antioxidant activity of various soluble melanoidins isolated from black garlic after different thermal processing steps [J]. *Prev Nutr Food Sci*, 2020, 25(3): 301-309

(上接第 107 页)

- [16] 张银叶,代苗苗,邱叶燕,等.一种新型蛋白类药物口服载体的海藻酸钠/巯基化果糖-壳聚糖复合[J]. *生物学杂志*, 2013, 30(1): 22-26
- ZHANG Yin-ye, DAI Miao-miao, QIU Ye-yan, et al. Sodium alginate/sulphydryl fructose-chitosan compound as a new oral carrier for protein drugs [J]. *Journal of Biology*, 2013, 30(1): 22-26