

# 吸附精制对芝麻香油多环芳烃脱除和风味保留的影响

刘玉兰<sup>1</sup>, 石龙凯<sup>1</sup>, 刘燕<sup>2</sup>, 安骏<sup>3</sup>, 张东东<sup>1</sup>

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001) (2. 合肥燕庄食用油有限责任公司, 安徽合肥 231283)

(3. 中粮食品营销有限公司, 北京 100020)

**摘要:** 本文研究了吸附精制对芝麻香油中多环芳烃的脱除效果及对芝麻香油感官风味和三种脂类伴随物的影响。结果表明: 3种吸附剂对多环芳烃的脱除效果依次为: Norit 活性炭→WY2 活性炭→活性白土。吸附精制处理后芝麻油样中苯并[a]芘残留量皆不超过我国国标限量(苯并[a]芘小于 10 μg/kg)。采用油重 0.2% 的 Norit 活性炭或 0.5% 的 WY2 活性炭可以将芝麻香油中苯并[a]芘和 PAH<sub>4</sub> 含量脱除至符合或接近符合出口欧盟的限量要求(苯并[a]芘小于 2 μg/kg, PAH<sub>4</sub> 小于 10 μg/kg), 吸附精制芝麻香油中苯并[a]芘残留量分别为 0.83 和 1.50 μg/kg, PAH<sub>4</sub> 残留量分别为 4.85 和 10.94 μg/kg, 同时芝麻香油风味的损失很小, 维生素 E、芝麻素和芝麻林素的保留率较高。综合考虑对芝麻香油中多环芳烃脱除、风味及营养成分保留的综合效果, 采用 0.5% WY2 活性炭进行吸附精制最为合理。

**关键词:** 芝麻香油; 吸附; 多环芳烃; 风味; 脂类伴随物

文章编号: 1673-9078(2016)9-248-253

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.9.036

## Effects of Adsorption on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Removal and Flavor Retention in Sesame Oils during the Refining Process

LIU Yu-lan<sup>1</sup>, SHI Long-kai<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>2</sup>, AN Jun<sup>3</sup>, ZHANG Dong-dong<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou, 450001, China) (2. Hefei Yanzhuang Edible Oils Co., Ltd., Hefei 231283, China) (3. Food Sales & Distribution Co., Ltd., Beijing 100020, China)

**Abstract:** The effects of adsorption on flavor, removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and contents of three lipid components of sesame oil during the refining process were studied. The PAH removal efficiencies of three tested adsorbents were in the descending order of Norit activated carbon>WY2 activated carbon>activated clay. The contents of benzo[a]pyrene (B[a]P) in the adsorbed sesame oils was lower than the limit of the national standard GB 2716-2005 of China (B[a]P<10 μg/kg). The contents of B[a]P and PAH<sub>4</sub> in the adsorbed sesame oils treated with 0.2% Norit activated carbon and 0.5% WY2 activated carbon were lower than or were close to the limits set by EU No 835/2011 (B[a]P content: <2 μg/kg; PAH<sub>4</sub> content: 10 μg/kg). Their B[a]P contents were 0.83 and 1.50 μg/kg, respectively, and their PAH<sub>4</sub> contents were 4.85 and 10.94 μg/kg, respectively. Meanwhile, the inherent flavor loss was low, and the retention rates of sesamin, sesamol, and vitamin E were high. The comprehensive assessment of the removal of PAHs, and the retentions of flavor and beneficial lipid components in sesame oils indicated that 0.5% WY2 activated carbon was the most suitable adsorbent.

**Key words:** sesame oils; adsorption; polycyclic aromatic hydrocarbons; flavor; lipid accompaniments

芝麻香油因其特有的风味和较高的营养价值备受消费者的喜爱。在芝麻香油的生产过程中需要对芝麻

收稿日期: 2015-09-05

基金项目: 国家自然科学基金项目“油脂中苯并芘产机理研究”(31271884); 现代农业(芝麻)产业技术体系建设专项资金(CARS15-1-10); 2015年河南省科技攻关项目“油料油脂加工过程多环芳烃控制及检测关键技术研究”(152102210262)

作者简介: 刘玉兰(1957-), 教授, 研究方向: 油料油脂生产技术和产品质量安全

籽粒进行高温焙炒以使芝麻油产生浓郁香味, 但不当或过度的焙炒会使芝麻籽粒焦糊, 很可能因有机物的热解和不完全燃烧作用而产生多环芳烃(PAHs)类污染物<sup>[1-4]</sup>。同时, 为了不减弱焙炒所产生的特有香味, 芝麻香油通常只经过简单的沉淀和冷滤处理, 无法进行 PAHs 的有效脱除, 使得芝麻香油的安全风险增加。

刘玉兰等<sup>[5,6]</sup>、张小涛等<sup>[7]</sup>及赵欢欢等<sup>[8]</sup>的研究表明, 利用吸附剂的吸附作用可以有效降低油脂中多环芳烃的含量, 且活性炭对油脂中多环芳烃的脱除效果

较其他吸附剂更好。但吸附剂同时会对油脂中的其它组分产生或多或少的吸附作用,使芝麻香油的风味和有益组分含量有所损失。而芝麻香油尤其是水代法生产的小磨香油的特殊香味是消费者选择其产品的主要因素,香味损失会造成芝麻香油感官品质和商品价值降低。芝麻香油中的有益组分包括芝麻木酚素和维生素 E 等,这些成分具有优良抗氧化作用和生理活性,不仅可以提升芝麻香油的储存稳定性,延缓其品质劣变,同时还具有降低人体胆固醇、预防冠心病和癌症的营养价值和生理功能。

本研究以芝麻香油为试验对象,采用不同种类吸附剂对其进行吸附精制,通过对吸附精制前后芝麻香油中多环芳烃(美国优控的 16 种多环芳烃即 EPA<sub>16</sub>,其中包括我国限量规定的苯并[a]芘,欧盟限量规定的 PAH<sub>4</sub>)含量、有益脂类伴随物(芝麻素、芝麻林素及维生素 E)含量的测定以及芝麻油香味的评定,研究吸附精制对芝麻香油综合品质的影响,并确定最佳吸附精制条件。以期在脱除芝麻香油中多环芳烃、提高其食用安全品质的基础上,更好的保留芝麻香油特有的香味,并减少芝麻素、芝麻林素及维生素 E 的损失,为芝麻香油生产技术的优化提供支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

水代法小磨芝麻香油,由芝麻香油生产企业提供。

活性白土,江苏麦阁吸附剂有限公司; Norit-8015 活性炭,上海众基化工进出口有限公司; WY2 号活性炭,重庆飞洋活性炭有限公司。

EPA<sub>16</sub> 种多环芳烃混标(200 μg/mL, 98%),溶解于乙腈: O2si 公司; 16 种氘代同位素内标(97%): Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司; α-、β-、γ-、δ-生育酚和 α-、β-、γ-、δ-生育三烯酚标准品(纯度>98%): 北京三区生物技术有限公司; 芝麻素及芝麻林素标准品: Sigma 公司; 乙腈、甲苯、甲醇、异丙醇及环己烷(色谱纯): Sigma 公司; 硅胶固相萃取小柱: Supelco 公司; 超纯水由 Milli-Q 超纯水机制得; 微孔有机相滤膜(0.22 μm): 上海安谱科学仪器有限公司。

### 1.2 试验仪器

安捷伦 1200 型液相色谱仪,配有 G1329A 自动进样器、G1311A 四元混合泵和 G1316A 柱温箱; 美国安捷伦公司; API 5500 三重四极杆串联质谱仪,配有光电离子源(APPI)和 Analyst 1.5.1 软件数据处理系统; 美国应用生物系统公司; 日立 L-2130 泵; 日本日

立高新技术公司; Waters e2695 型液相色谱仪,配有 Waters2489 紫外检测器和 Waters2475 荧光检测器; 美国 Waters 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 油脂吸附精制试验

在本实验室先前研究的基础上,选取对油脂中多环芳烃具有较好脱除效果的 3 种吸附剂(活性白土、Norit 活性炭和 WY2 活性炭)对芝麻香油进行吸附精制处理,吸附剂用量根据吸附剂性能(即可将油脂中苯并[a]芘含量脱除至达到 GB 2716-2005《食用植物油卫生标准》中限量规定的<10 μg/kg)和油脂精炼生产中的实际添加量确定,即分别为活性白土(4%)、Norit 活性炭(0.2%)和 WY2 活性炭(0.5%)。

称取 50.0 g 油样置于三口烧瓶中,加入一定量的吸附剂,在 110 °C、0.095 MPa 以上真空度、搅拌的条件下进行吸附精制,吸附 35 min 后过滤分离出吸附剂,即得到吸附净油。

表 1 总质量得分表

Table 1 Template of the total quality scores of the tested oils

质量	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
10	极好									
9	好									
8										
7	中等									
6										
5	差									
4										
3	很差									
2										
1	极差									

#### 1.3.2 多环芳烃的含量测定<sup>[9]</sup>

采用本试验建立的液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)同时测定油脂中 EPA 16 种多环芳烃。16 种目标物的检出限和定量限分别为 0.006~0.129 μg/kg 及 0.02~0.43 μg/kg,回收率为 77.8%~106.4%,日内及日间精密度小于 10%。

#### 1.3.3 芝麻香油风味的感官评价分析

参照 AOCS(美国油脂化学家学会)推荐的油脂等级评价法<sup>[10,11]</sup>,对不同吸附剂吸附前后所得芝麻香油进行总质量评分和固有风味强度描述。感官评价小组共有 8 位评价员(年龄 20~30 岁之间)组成,评价员身体健康、无任何感觉方面的缺陷,具有所检验产品的专业知识并对所检验的产品无偏见。评价前先将油样从冰箱取出在室温下升温至无固形物存在,再将

装有 10 mL 油样的 50 mL 烧杯置于水浴锅中, 配以适合的盖子, 在 50 °C 下加热 30 min, 使蒸气压达到平衡。样品编码后随机地分发给评价员, 于 30 min 内完成评定, 并按表 1 进行评分。

### 1.3.4 芝麻素、芝麻林素的含量测定

参照 NY/T 1595-2008《芝麻中芝麻素含量的测定 高效液相色谱法》<sup>[12]</sup>。称取 0.1 g (精确至 0.0001 g) 油脂于 10 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇溶解并定容至刻度, 摇匀后过 0.22 μm 有机相滤膜, 进 HPLC 分析。

色谱条件: 检测器, Waters 2489 紫外检测器; 色谱柱, Waters C18 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相, 甲醇:水=70:30 (V/V); 流速 0.8 mL/min; 柱温 30 °C; 检测波长 287 nm。

参照 GB/T 26635-2011《动植物油脂生育酚及生

育三烯酚含量测定高效液相色谱法》<sup>[13]</sup>。称取 0.5 g (精确至 0.0001 g) 油脂于 10 mL 棕色容量瓶中, 用正己烷溶解并定容至刻度, 摇匀后过 0.22 μm 有机相滤膜, 进 HPLC 分析。

色谱条件: 检测器, Waters 2475 荧光检测器; 色谱柱, Waters NH2 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相, 正己烷:异丙醇=99:1 (V/V); 流速 0.8 mL/min; 柱温 40 °C; 激发波长 298 nm; 发射波长 325 nm。

## 2 结果和讨论

### 2.1 吸附精制对芝麻香油中多环芳烃含量的影响

表 2 不同吸附剂对芝麻香油中多环芳烃的吸附脱除效果 (μg/kg)

多环芳烃	不同吸附剂			
	芝麻原油	活性白土(4%)	Norit 活性炭(0.2%)	WY2 活性炭(0.5%)
萘	86.57±0.87	16.01±0.16	14.42±0.14	9.28±0.09
萘烯	49.26±0.49	52.34±0.52	26.31±0.26	29.40±0.29
芴	0.22±0.01	0.57±0.01	0.27±0.01	0.27±0.01
芴	28.39±0.28	32.89±0.33	28.29±0.28	28.32±0.28
菲	79.20±0.79	92.61±0.93	52.37±0.52	65.27±0.65
蒽	22.36±0.22	20.26±0.20	10.38±0.10	15.71±0.16
荧蒽	35.21±0.35	33.65±0.34	15.59±0.16	26.17±0.26
芘	31.96±0.31	32.46±0.32	12.63±0.13	21.67±0.22
苯并[a]蒽	8.19±0.08	7.95±0.08	1.43±0.01	3.51±0.04
屈	6.67±0.07	5.51±0.06	1.40±0.01	2.99±0.03
苯并[b]荧蒽	9.30±0.09	6.39±0.06	1.18±0.01	2.94±0.03
苯并[k]荧蒽	2.61±0.03	1.70±0.02	0.35±0.01	0.80±0.01
苯并[a]芘	4.95±0.05	3.33±0.03	0.83±0.01	1.50±0.02
芘并[1,2,3-c,d]芘	5.70±0.06	2.70±0.03	0.45±0.01	0.98±0.01
二苯并[a,h]蒽	0.76±0.01	0.36±0.01	0.29±0.01	0.31±0.01
苯并[g,h,i]芘	8.21±0.08	5.22±0.05	0.71±0.01	1.84±0.02
PAH <sub>4</sub> <sup>a</sup>	29.11±0.29	23.19±0.23	4.85±0.05	10.94±0.11
HPAHs <sup>b</sup>	31.53±0.32	19.70±0.20	3.81±0.04	8.06±0.08
LPAHs <sup>c</sup>	348.03±3.48	294.2±2.94	163.08±1.63	202.59±2.03
PAH <sub>16</sub> <sup>d</sup>	379.56±3.80	313.9±3.14	166.89±1.67	210.65±2.11

注: <sup>a</sup>PAH<sub>4</sub> (欧盟限量规定的 4 种多环芳烃组分) 包括苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽和苯并[a]芘; <sup>b</sup>HPAHs (6 种重质多环芳烃组分) 包括苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、芘并[1,2,3-c,d]芘、二苯并[a, h]蒽和苯并[g, h, i]芘; <sup>c</sup>LPAHs (10 种轻质多环芳烃组分) 包括萘、萘烯、芴、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[a]蒽和屈; <sup>d</sup>PAH<sub>16</sub> 即 EPA 优控 16 种 PAHs 总和。

利用不同吸附剂对芝麻香油进行吸附处理后, 芝麻香油中 16 种多环芳烃组分含量的变化情况见表 2。

从表 2 中可以看出, 所选用的 3 种吸附剂对芝麻香油中存在的多环芳烃类化合物都具有一定的脱除效

果。总体来说, 3 种吸附剂的表现依次为: Norit 活性炭>WY2 活性炭>活性白土。吸附处理后, 芝麻香油中苯并[a]芘含量由原油的 4.95±0.05 μg/kg 分别降低至 0.83±0.01、1.50±0.02 及 3.33±0.03 μg/kg, 脱除率分别

为 83.2%、69.7%及 32.7%；PAH<sub>4</sub> 含量由原油的 29.11±0.29 μg/kg 分别降低至 4.85±0.05、10.94± 0.11 及 23.19±0.23 μg/kg，脱除率分别为 83.3%、62.4%及 20.3%。按照我国 GB 2716-2005《食用植物油卫生标准》中限量规定的食用油脂中苯并[a]芘<10 μg/kg 的要求，芝麻原油及 3 种吸附油脂中苯并[a]芘含量皆不超过国标限量。但若按照欧盟 No 835/2011 法规中限量规定的食用油脂中苯并[a]芘<2 μg/kg 和 PAH<sub>4</sub><10 μg/kg 的要求，经活性白土吸附后芝麻香油中苯并[a]芘含量超过了欧盟限量要求，而 Norit 活性炭、WY2 活性炭吸附后苯并[a]芘含量不超标；经活性白土、WY2 活性炭吸附后芝麻香油中 PAH<sub>4</sub> 含量超过欧盟限量要求，而 Norit 活性炭吸附后 PAH<sub>4</sub> 含量仅为 4.85±0.05，达到欧盟限量指标。Norit 活性炭、WY2 活性炭对风险较大的重质多环芳烃的脱除率较高，分别为 87.9%和 74.4%，残留量分别为 3.81±0.04 和 8.06±0.08 μg/kg；活性白土对重质多环芳烃的脱除率较低，仅为 37.5%。然而，3 种吸附剂对轻质多环芳烃和 16 种多环芳烃总量的脱除效果一般，脱除效果最好的 Norit 活性炭对二者的脱除率分别为 53.1%和 56.0%，残留量为 163.08±1.63 和 166.89±1.67 μg/kg。

由于 Norit 活性炭价格较 WY2 活性炭高出很多，为降低芝麻香油的精制生产成本，可采用添加量为油重 0.5%的 WY2 活性炭，此条件下芝麻香油中苯并[a]芘残留量 (1.50±0.02 μg/kg) 已经符合欧盟限量要求，PAH<sub>4</sub> 残留量接近欧盟限量指标 (10.94±0.11 μg/kg)。

## 2.2 吸附精制对芝麻香油风味的影响

芝麻香油在吸附处理前后总质量得分参照表 1 评判并进行结果统计，固有风味强度描述以弱 (1 分)、中 (2 分)、强 (3 分) 来计算。芝麻香油吸附前后总质量评分与固有风味强度描述的结果见表 3 和表 4。

从表 3 和表 4 可以看出，芝麻香油在吸附前后的总体质量及固有风味强度呈现出差异。芝麻香油原油的气味浓郁品质佳，具有风味油脂的固有香气，得分较高，表现为极好或好 (平均得分为 9.125)。芝麻香油的原油经 Norit 活性炭或 WY2 活性炭吸附后，受试油脂的风味损失不明显，风味强度虽有所降低，但仍然保留着芝麻香油的固有风味，其质量得分略有降低 (平均得分均为 8.0)，表现为好或较好。然而，经活性白土处理后的受试油样风味损失严重，得分大大降低 (平均得分仅为 5.5)，几乎不再具有芝麻香油的固有风味，表现为差、较差甚至是很差。同时，经活性白土处理后的油样伴随强烈的泥土味或青草味，大大影响芝麻香油的固有风味。

表 3 芝麻香油吸附前后的总质量得分

评价员	原油	白土	Norit 活性炭	WY2 活性炭
1	10	6	9	9
2	7	3	6	6
3	10	6	9	9
4	9	6	7	7
5	8	5	7	7
6	9	6	8	8
7	10	6	9	9
8	10	6	9	9

表 4 芝麻香油固有风味强度描述

Table 4 Description of the inherent flavor intensity of the tested sesame oils

评价员	原油	白土	Norit 活性炭	WY2 活性炭
1	3	1	2	2
2	3	1	2	2
3	3	1	2	2
4	2	1	1	2
5	2	1	1	1
6	3	1	2	2
7	3	1	2	2
8	3	1	2	2

因此，选用油重 0.2%的 Norit 活性炭或油重 0.5%的 WY2 活性炭吸附精制芝麻香油时，芝麻油的总体质量较原油变化不明显，固有风味损失很小。

## 2.3 吸附精制对芝麻香油中有益脂类伴随物含量的影响

不同种类吸附剂对芝麻香油中芝麻素、芝麻林素及维生素 E 的影响效果见表 5。

从表 5 可以看出，当活性白土添加量为油重的 4%时，三个芝麻油样品中芝麻素含量分别降低 12.94、13.54 和 6.0 个百分点 (平均降低 10.83 个百分点)。2 号油样中芝麻林素的含量有所上升 (增加 4.10 个百分点)，其余 2 种芝麻油样中芝麻林素含量均有所降低 (分别降低 4.89 和 11.35 个百分点)。总体来说，三个受试油样中芝麻素和芝麻林素的总保留率分别为 89.37%、91.42%和 92.36%。然而，芝麻香油经活性炭吸附处理后，除了 WY2 活性炭处理的 1 号油样中的芝麻素含量降低 4.58 个百分点外，其它油样中芝麻素和芝麻林素的含量皆呈现出上升趋势。采用 Norit 活性炭处理时，三个受试油样中芝麻素和芝麻林素的总保留率分别为 107.05%、106.27%和 101.10% (平均

为 104.81%)，而采用 WY2 活性炭处理时时三个受试油样中芝麻素和芝麻林素的总保留率分别为 100.51%、108.45%和 102.84% (平均为 103.93%)。这与刘瑞花等<sup>[14]</sup>的研究结果具有一致性。至于为何芝麻素和芝麻林素的含量会有所增加，目前尚未有研究者对其机理做出确切结论，但推测可能与芝麻木酚素类物质各组分之间的相互转化有关。所有受试芝麻油样经过吸附处理后维生素 E 含量均呈现降低趋势，损

失率依次为：Norit 活性炭>活性白土>WY2 活性炭。当使用油重 0.2%的 Norit 活性炭进行吸附处理时，芝麻油样中维生素 E 含量的损失最为严重，3 个油样中维生素 E 含量分别降低 16.99、28.29 和 40.26 个百分点 (平均降低 28.51 个百分点)。相比之下，活性白土和 WY2 活性炭对维生素 E 损失的影响不明显 (平均降低 13.89 和 11.66 个百分点)。

表 5 不同吸附剂对芝麻香油中芝麻素、芝麻林素及维生素 E 含量的影响

Table 5 Effects of various adsorbents on the contents of sesamin, sesamol, and vitamin E in sesame oils

项目	芝麻原油 1	白土	Norit 活性炭	WY2 活性炭
芝麻素×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	473.19±7.10	411.94±6.18	480.76±7.21	451.54±6.77
芝麻林素×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	190.42±2.86	181.11±2.72	229.62±3.44	215.44±3.23
两者保留率/%		89.37	107.05	100.51
维生素 E×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	90.92±1.36	84.45±1.27	75.47±1.13	83.55±1.25
维生素 E 损失率/%		7.12	16.99	8.10
项目	芝麻原油 2	白土	Norit 活性炭	WY2 活性炭
芝麻素×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	397.69±5.97	343.85±5.16	403.08±6.05	410.23±6.15
芝麻林素×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	155.60±2.33	161.97±2.43	184.88±2.77	189.80±2.85
两者保留率, %		91.42	106.27	108.45
维生素 E×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	79.54±1.19	69.83±1.05	57.03±0.86	72.13±1.08
维生素 E 损失率/%		12.21	28.29	9.31
项目	芝麻原油 3	白土	Norit 活性炭	WY2 活性炭
芝麻素×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	527.40±7.91	495.26±7.43	532.39±7.99	535.54±8.03
芝麻林素×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	218.99±3.28	194.14±2.91	222.19±3.33	232.04±3.48
两者保留率/%		92.36	101.10	102.84
维生素 E×10 <sup>-2</sup> /(mg/g)	63.08±0.95	48.99±0.73	37.68±0.57	51.99±0.78
维生素 E 损失率/%		22.34	40.26	17.58

综合考虑受试芝麻油样中芝麻素、芝麻林素及维生素 E 含量的损失情况，采用油重 0.5%的 WY2 活性炭吸附精制对减少芝麻油中有益成分的损失是有利的。

### 3 结论

利用不同吸附剂对芝麻香油进行多环芳烃脱除同时保留芝麻油香味和营养成分的试验结果表明：采用油重 0.2%的 Norit 活性炭可以将芝麻油中苯并[a]芘和 PAH<sub>4</sub> 含量分别从 4.95±0.05、29.11±0.29 μg/kg 降低至 0.83±0.01、4.85±0.05 μg/kg，达到了出口欧盟的限量要求，同时香味评分为 8.0，维生素 E 平均损失率为 28.51%，芝麻素和芝麻林素保留率为 104.81%。采用油重 0.5%的 WY2 活性炭可以将芝麻油中苯并[a]芘和 PAH<sub>4</sub> 含量分别降低至 1.50±0.02 和 10.94±0.11 μg/kg，基本达到出口欧盟的限量要求，芝麻油香味损失少(评

分为 8.0)，维生素 E 平均损失率最小 (11.66%)，芝麻素和芝麻林素的保留率 103.93%。而采用油重 4%的活性白土只能将苯并[a]芘和 PAH<sub>4</sub> 含量分别降低至 3.33±0.03 和 23.19±0.23 μg/kg，PAH<sub>4</sub> 含量明显超出欧盟的限量要求，同时芝麻香油风味平均得分仅为 5.5，芝麻素和芝麻林素的平均保留率为 91.05%，维生素 E 的平均损失率 13.89%。综合考虑对芝麻香油中风险因子去除、风味及营养成分保留的综合效果，采用 0.5% WY2 活性炭进行芝麻香油的吸附精制最为合理。

### 参考文献

- [1] Payanan T, Leepipatpiboon N, Varanusupakul P. Low temperature cleanup with solid-phase extraction for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils by reversed phase liquid chromatography with fluorescence detection [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):

- 2720-2726
- [2] Olsson P, Sadiktsis I, Holmbäck J, Westerholm R. Class separation of lipids and polycyclic aromatic hydrocarbons in normal phase high performance liquid chromatography—a prospect for analysis of aromatics in edible vegetable oils and biodiesel exhaust particulates [J]. *Journal of Chromatography A*, 2014, 1360: 39-46
- [3] Amzad Hossain M, Salehuddin S. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in edible oils by gas chromatography coupled with mass spectroscopy [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2012, 5(3): 391-396
- [4] Moret S, Conte L S. A rapid method for polycyclic aromatic hydrocarbon determination in vegetable oils [J]. *Journal of Separation Science*, 2002, 25(1-2): 96-100
- [5] 刘玉兰,张小涛,赵欢欢,等.碱炼对菜籽油苯并芘脱除及脱色效果的研究 [J].*中国粮油学报*,2014,29(4):53-56  
LIU Yu-lan, ZHANG Xiao-tao, ZHAO Huan-huan, et al. Removing Benzo [a] pyrene and color of rapeseed oil by alkali refining [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2014, 29(4): 53-56
- [6] 刘玉兰,石龙凯,刘畅.利用吸附法脱除油脂中多环芳烃的效果研究[J].*中国油脂*,2015,40(9):70-76  
LIU Yu-lan, SHI Long-kai, LIU Chang. Effects of adsorption on polycyclic aromatic hydrocabons in edible oils [J]. *China Oils and Fats*, 2015, 40(9): 70-76
- [7] 张小涛,刘玉兰,赵欢欢.吸附法同时脱除菜籽油苯并芘及色泽最佳工艺条件研究[J].*中国油脂*,2013,38(12):10-14  
ZHANG Xiao-tao, LIU Yu-lan, ZHAO Huan-huan. Optimization of simultaneous removing benzo [a] pyrene and color from rapeseed oil by adsorption [J]. *China Oils and Fats*, 2013, 38(12): 10-14
- [8] 赵欢欢,刘玉兰,张小涛,等.吸附法脱除芝麻油中苯并芘及脱色效果研究[J].*粮油食品科技*,2013,21(4):23-27  
ZHAO Huan-huan, LIU Yu-lan, ZHANG Xiao-tao, et al. Research on removing benzopyrene from sesame oil by adsorption and the effect of decoloration [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2013, 21(4): 23-27
- [9] SHI L, LIU Y, LIU H, et al. One-step solvent extraction followed by liquid chromatography-atmospheric pressure photoionization tandem mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2015, 407(13): 3605-3616
- [10] D Firestone. Official methods and recommended practices of the AOCS [M]. American: American Oil Chemists' Society, 2011
- [11] 李燕杰,高新亮,甄成,等.植物油感官分析方法的研究[J].*中国油脂*,2008,33(1):68-71  
LI Yan-jie, GAO Xin-liang, ZHEN Cheng, et al. Sensory evaluation of vegetable oils [J]. *China Oils and Fats*, 2008, 33(1): 68-71
- [12] NY/T 1595-2008.芝麻中芝麻素含量的测定高效液相色谱法[S]  
NY/T 1595-2008, Determination of sesamin content-high-performance liquid chromatography [S]
- [13] GB/T 26635-2011,动植物油脂生育酚及生育三烯酚含量测定高效液相色谱法[S]  
GB/T 26635-2011, Animal and vegetable fats and oils-Determination of tocopherol and tocotrienol contents by high-performance liquid chromatography [S]
- [14] 刘瑞花,刘玉兰,王丹,等.吸附脱色对芝麻油中木酚素及维生素E影响的研究[J].*中国油脂*,2014,39(3):20-24  
LIU Rui-hua, LIU Yu-lan, WANG Dan, et al. Effects of absorption bleaching on lignans and vitamin E in sesame oil [J]. *China Oils and Fats*, 2014, 39(3): 20-24