

油脂安全

不同植物油制取工艺对毛油中多环芳烃含量的影响

刘玉兰,温运启,许丽丽,马宇翔,于文秀

(河南工业大学 粮油食品学院,郑州 450001)

摘要:以花生仁、芝麻、油菜籽为原料,采用不同工艺分别制取毛油,并对毛油中多环芳烃(PAHs)含量进行检测分析,探究制油工艺对毛油中PAHs含量的影响。结果表明:6个浸出毛油样品中BaP、PAH4、PAH16平均含量分别是6个压榨毛油样品的1.53、1.45、1.08倍,说明PAHs在浸出溶剂正己烷中有很好的溶解度,因此油籽无论脱皮与否所制取浸出毛油中PAHs含量均高于压榨毛油;6个脱皮油籽所制取毛油中BaP、PAH4、PAH16平均含量分别是未脱皮油籽毛油的1.51、1.61、1.53倍,即无论是压榨法还是浸出法,脱皮油籽所制取毛油中PAHs含量均高于未脱皮油籽毛油。这可能是因为种皮主要成分为粗纤维,而PAHs的亲脂性使其更容易富集在种仁中。

关键词:多环芳烃;油籽脱皮;压榨毛油;浸出毛油

中图分类号:TS201.6;TS224 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)02-0041-05

Effect of different oil – producing technologies on polycyclic aromatic hydrocarbons content in crude vegetable oil

LIU Yulan, WEN Yunqi, XU Lili, MA Yuxiang, YU Wenxiu

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The peanut kernel, sesame and rapeseed were used as raw materials to prepare crude oils by different oil – producing technologies. Then, the PAHs contents in the crude oils were detected and analyzed to study the effect of different oil – producing technologies on PAHs content in crude oil. The results showed that the average contents of BaP, PAH4 and PAH16 in six extracted crude oils were 1.53, 1.45 times and 1.08 times as much as those in pressed crude oils, respectively. The possible reason was that PAHs had good solubility in *n* – hexane. Therefore, the PAHs contents in extracted crude oils were higher than those in pressed crude oils whether the oilseeds were peeled or not. The average contents of BaP, PAH4 and PAH16 in six crude oils derived from the peeled oilseeds were 1.51, 1.61 times and 1.53 times as much as those in crude oils derived from the whole oilseeds, respectively. Therefore, the PAHs contents in crude oils derived from peeled oilseeds were higher than those in crude oils derived from whole oilseeds whether the crude oils were produced by leaching or pressing. The possible reason was that the main component of oilseed coat was crude fiber, resulting that the lipophilic PAHs were more easily accumulated in the kernel.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons; peeled oilseed; pressed crude oil; extracted crude oil

多环芳烃(PAHs)是指分子中含有两个或两个

以上苯环的一类碳氢化合物,大部分具有致畸、致癌、致突变的作用^[1]。其中重质多环芳烃(苯环数 ≥ 4 , HPAHs)的毒性远大于轻质多环芳烃(苯环数 ≤ 4 , LPAHs)^[2]。GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》和GB 2716—2005《食用植物油卫生标准》均规定食用油中苯并(a)芘(BaP)含量小于等于10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。欧盟 No 835/2011

收稿日期:2017-05-30

基金项目:“十三五”国家重点研发计划支持项目子课题(2016YFD0401405)

作者简介:刘玉兰(1957),女,教授,硕士生导师,研究方向为油料油脂加工技术与产品质量安全(E-mail) liuy17446@163.com。

规定食用油和脂肪(可可脂和椰子油除外)中 BaP 限量为不超过 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘 4 种多环芳烃(PAH4)总限量为不超过 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。美国环境保护局(EPA)要求对 16 种 PAHs 进行优控,其中包括 10 种轻质多环芳烃和 6 种重质多环芳烃^[3]。

目前,油脂工业采用的植物油制取工艺主要是压榨法和溶剂浸出法^[4]。植物油料提取油脂之前可采用脱皮预处理或不进行脱皮。花生红衣的粗纤维含量为 37%~42%^[5],油菜籽种皮的粗纤维含量为 30%~34%,芝麻种皮的粗纤维含量约 20%。并且种皮通常含有一些抗营养因子如植酸、单宁和具有较深的颜色,油籽脱皮再制油可提高毛油质量并改善饼粕品质及适口性^[6-7]。

通常,对油料脱皮与否及制油工艺的选择主要考虑所提取毛油质量及饼粕质量,很少考虑不同制油工艺可能对毛油中多环芳烃含量的影响。但从植物油料可能含有多环芳烃^[8-10]及多环芳烃容易溶解在正己烷中的特点,油料脱皮预处理和制油工艺很可能对毛油中多环芳烃含量造成影响。本实验选取花生仁、芝麻、油菜籽为原料,首先对油籽进行脱皮处理,之后分别对脱皮油料(种仁)和带皮油料(整籽)采用压榨法和浸出法提取毛油,通过对毛油中 PAHs 含量的检测,分析研究不同制油工艺对毛油中多环芳烃含量的影响,以期对植物油生产中多环芳烃的控制提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

花生仁、芝麻、油菜籽,分别从山东、河南、武汉的油脂加工厂采集。

PAH16 混标(200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 98%): O2si 公司; PAH16 氘代同位素内标(97%): Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司;硅胶固相萃取小柱(500 mg, 3 mL): Supelco 公司;乙腈、正己烷、二氯甲烷,色谱纯,购自美国 VBS 公司;DB-5MS 色谱柱(60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm): 美国 Agilent 公司;其他试剂均为分析纯。

ISQ 气相色谱质谱联用仪(Thermo Fisher Scientific 公司), Trace 1310 气相色谱系统,配 AI1310 自动进样器, Xcalibur 软件数据处理系统; I570590 固相萃取装置: Supelco 公司; LD5-10 台式低速离心机; BLH-3250 X01152 磨谷机; 6YZ-180 自动液压榨油机; MTN-2800W 氮吹浓缩仪。

1.2 实验方法

1.2.1 油籽的脱皮

在对油籽进行脱皮之前,先对油籽进行水洗除杂,以避免油籽表面尘土可能携带多环芳烃对实验结果造成影响。花生仁和油菜籽水洗后室温晾干,花生仁手工搓去种皮(红衣),油菜籽使用磨谷机脱皮,芝麻采用湿法脱皮^[9]后干燥。

1.2.2 油脂的制取

对花生仁、芝麻、油菜籽及这 3 种油籽脱皮后的种仁分别采用压榨法和浸出法提取毛油。

压榨法制油:取油料 300 g,用纱布包好,放入液压榨油机压榨,得压榨毛油。油料入榨温度 25 $^{\circ}\text{C}$, 榨机工作压力 40~60 MPa。

浸出法制油:取一定量油料经粉碎后过 20 目筛,取筛下物 200 g 于烧杯中,加入正己烷作为浸出溶剂,料液比 1:5,浸出温度 55 $^{\circ}\text{C}$,浸出时间 6 h,期间不断搅拌。混合物经抽滤进行固液分离得混合油,将其蒸发脱除溶剂,得浸出毛油。

1.2.3 油料和油脂中多环芳烃的检测

多环芳烃检测采用 Shi 等^[11]建立的 SPE-净化-同位素稀释-GC-MS 法。

气相色谱条件:脉冲不分流模式进样,进样量 1.0 μL ;进样口温度 300 $^{\circ}\text{C}$;载气为氦气(纯度 \geq 99.999%);恒流模式,流速 1.0 mL/min;升温程序为 80 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,随后以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 180 $^{\circ}\text{C}$, 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 200 $^{\circ}\text{C}$, 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 250 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min,再以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 300 $^{\circ}\text{C}$ 保持 16 min。

质谱条件:离子源温度 300 $^{\circ}\text{C}$;传输线温度 300 $^{\circ}\text{C}$;电子轰击(EI)离子源;电离能量 70 eV;灯丝电流 25 μA 。

2 结果与讨论

2.1 不同制油工艺对毛油中 PAHs 含量的影响

对 12 个毛油样品进行多环芳烃含量检测,结果如表 1~表 3 所示。从表 1~表 3 可知,6 个压榨毛油中 BaP 含量为 0.47~13.31 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值 3.94 $\mu\text{g}/\text{kg}$;6 个浸出毛油中 BaP 含量为 0.84~15.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值 6.04 $\mu\text{g}/\text{kg}$;浸出毛油中 BaP 含量是压榨毛油的 1.53 倍。6 个压榨毛油中 PAH4 含量为 1.54~75.46 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均含量为 21.31 $\mu\text{g}/\text{kg}$;6 个浸出毛油样品中 PAH4 含量为 2.86~80.61 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均含量 30.91 $\mu\text{g}/\text{kg}$;浸出毛油中 PAH4 是压榨毛油的 1.45 倍。6 个压榨毛油的 PAH16 平均含量(270.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$)明显低于 6 个浸出毛油中的平均含量(291.65 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。即无论是花生、芝麻或油菜籽,也无论油料是否脱皮,所制取浸出毛油中 BaP、

PAH4和PAH16含量均高于压榨毛油。这说明多环芳烃在浸出溶剂正己烷中有很好的溶解度^[12-13],因此多环芳烃在浸出毛油中的含量显著高于压榨毛油。

由表1~表3还可以看出,6个脱皮油料所制取毛油中BaP、PAH4和PAH16平均含量分别为6.00、32.25、340.25 μg/kg,6个未脱皮油料所制取毛油中BaP、PAH4和PAH16的平均含量分别为3.97、19.98、222.06 μg/kg。对同种油籽脱皮与否所提取毛油中PAHs含量的比较也可以看出,脱皮花生浸出毛油中BaP、PAH4、PAH16含量分别为带皮花生浸出毛油的4.62、3.88、1.68倍,脱皮花生压榨毛油分别为带皮花生压榨毛油的1.21、1.31、1.47倍;脱皮芝麻浸出毛油中BaP、PAH4、PAH16含量分别为带皮芝麻浸出毛油的2.58、4.02、1.16倍,脱皮芝麻压榨毛油分别为带皮芝麻压榨毛油的1.53、2.31、2.39倍;脱皮菜籽浸出毛油中BaP、PAH4、PAH16的含量分别为带皮菜籽浸出毛油含量的1.15、1.22、1.30倍,脱皮菜籽压榨毛油分别是带皮菜籽压榨毛油的1.66、1.81、1.74倍。综上可知,脱皮油籽(种仁)所提取毛油中PAHs含量明显高于未脱皮油籽(整籽)毛油。

表1 不同制油工艺花生毛油中PAHs含量 μg/kg

PAHs	脱皮		带皮	
	浸出	压榨	浸出	压榨
Nap	58.63 ± 2.45	113.97 ± 0.64	47.84 ± 0.35	68.06 ± 0.71
Acy	3.07 ± 0.30	2.67 ± 0.01	2.20 ± 0.12	2.21 ± 0.16
Ace	5.77 ± 0.54	6.34 ± 0.68	4.98 ± 0.05	5.01 ± 0.16
Fl	15.12 ± 0.51	13.72 ± 0.54	9.95 ± 0.18	10.76 ± 0.21
Phe	60.09 ± 0.95	41.98 ± 1.01	36.17 ± 0.58	32.68 ± 0.11
Ant	7.61 ± 0.11	2.18 ± 0.27	2.04 ± 0.08	1.42 ± 0.05
Flu	26.51 ± 0.58	8.51 ± 0.01	11.11 ± 0.21	7.68 ± 0.31
Pyr	17.20 ± 0.17	7.45 ± 0.12	9.64 ± 0.13	6.11 ± 0.10
BaA	4.86 ± 0.24	0.99 ± 0.00	1.68 ± 0.02	0.85 ± 0.03
Chr	5.11 ± 0.00	0.50 ± 0.05	0.99 ± 0.03	0.44 ± 0.01
BbF	5.15 ± 0.37	1.08 ± 0.17	1.39 ± 0.13	0.64 ± 0.06
BkF	1.26 ± 0.01	0.29 ± 0.02	0.40 ± 0.02	0.29 ± 0.02
BaP	4.11 ± 0.46	0.57 ± 0.10	0.89 ± 0.19	0.47 ± 0.00
IcP	2.22 ± 0.22	0.32 ± 0.08	0.45 ± 0.03	0.27 ± 0.20
DhA	0.32 ± 0.28	0.17 ± 0.00	ND	ND
BgP	2.27 ± 0.37	0.24 ± 0.08	0.84 ± 0.22	0.16 ± 0.16
LPAH	203.98 ± 3.73	198.30 ± 3.06	126.59 ± 0.80	135.22 ± 0.55
HPAH	15.32 ± 0.72	2.67 ± 0.09	3.98 ± 0.22	1.82 ± 0.40
PAH4	19.23 ± 0.59	3.14 ± 0.02	4.95 ± 0.11	2.40 ± 0.10
PAH16	219.30 ± 4.44	200.97 ± 2.98	130.57 ± 0.58	137.05 ± 0.15

注:LPAH为PAH16中的10种轻质多环芳烃总量;HPAH为PAH16中的6种重质多环芳烃总量;ND为未检出。下同。

表2 不同制油工艺芝麻毛油中PAHs含量 μg/kg

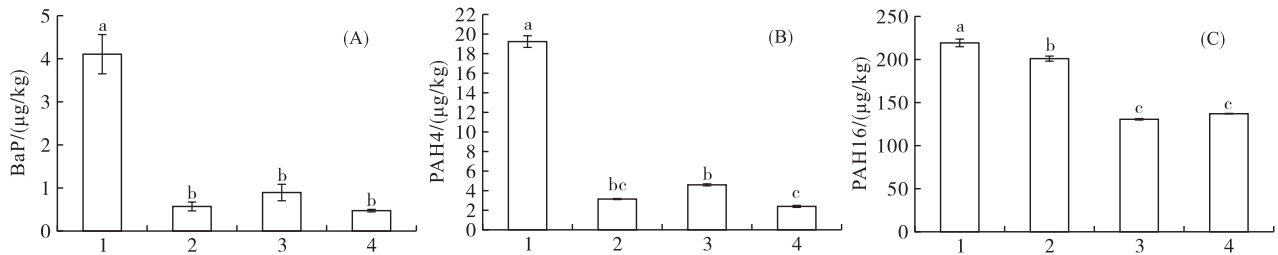
PAHs	脱皮		带皮	
	浸出	压榨	浸出	压榨
Nap	47.29 ± 0.08	84.21 ± 1.32	66.54 ± 1.31	49.59 ± 1.82
Acy	2.33 ± 0.11	4.30 ± 0.22	2.08 ± 0.18	1.34 ± 0.06
Ace	4.90 ± 0.18	5.64 ± 0.01	5.53 ± 0.11	4.24 ± 0.27
Fl	11.27 ± 0.66	17.09 ± 0.41	12.84 ± 0.47	6.67 ± 0.54
Phe	44.64 ± 1.13	63.73 ± 0.36	34.95 ± 0.12	16.58 ± 0.18
Ant	4.40 ± 0.01	3.55 ± 0.07	2.21 ± 0.02	0.94 ± 0.06
Flu	20.41 ± 0.41	13.88 ± 0.17	8.18 ± 0.11	3.65 ± 0.13
Pyr	13.55 ± 0.04	12.44 ± 0.11	5.14 ± 1.82	2.73 ± 0.06
BaA	3.21 ± 0.02	1.35 ± 0.11	0.49 ± 0.05	0.51 ± 0.04
Chr	2.99 ± 0.03	0.49 ± 0.04	1.00 ± 0.19	0.27 ± 0.02
BbF	3.11 ± 0.20	0.96 ± 0.40	0.52 ± 0.04	0.28 ± 0.06
BkF	1.14 ± 0.01	0.46 ± 0.21	0.99 ± 0.28	0.43 ± 0.09
BaP	2.17 ± 0.14	0.75 ± 0.39	0.84 ± 0.00	0.49 ± 0.07
IcP	0.96 ± 0.11	0.30 ± 0.17	ND	ND
DhA	ND	0.00 ± 0.05	ND	ND
BgP	1.48 ± 0.06	0.29 ± 0.11	ND	ND
LPAH	154.97 ± 2.07	206.66 ± 1.74	138.95 ± 1.97	86.53 ± 1.69
HPAH	8.87 ± 0.19	2.75 ± 0.77	2.35 ± 0.25	1.19 ± 0.04
PAH4	11.49 ± 0.29	3.55 ± 0.64	2.86 ± 0.17	1.54 ± 0.14
PAH16	163.84 ± 1.88	209.41 ± 0.98	141.31 ± 2.22	87.72 ± 1.73

表3 不同制油工艺菜籽毛油中PAHs含量 μg/kg

PAHs	脱皮		带皮	
	浸出	压榨	浸出	压榨
Nap	135.63 ± 1.31	91.41 ± 0.90	90.37 ± 3.09	65.63 ± 6.34
Acy	8.65 ± 0.52	6.74 ± 0.10	6.76 ± 0.01	5.41 ± 0.15
Ace	12.33 ± 0.15	12.25 ± 0.61	10.16 ± 0.08	6.44 ± 0.41
Fl	50.10 ± 2.04	43.91 ± 0.73	30.54 ± 0.33	24.02 ± 0.17
Phe	144.83 ± 0.10	169.28 ± 1.24	102.62 ± 1.08	90.27 ± 0.32
Ant	16.10 ± 1.40	15.45 ± 0.26	15.57 ± 0.41	12.31 ± 0.05
Flu	69.55 ± 3.58	115.45 ± 1.79	75.70 ± 0.14	60.52 ± 1.02
Pyr	72.74 ± 0.43	71.32 ± 0.01	50.97 ± 0.24	36.91 ± 0.44
BaA	23.37 ± 0.12	19.37 ± 0.27	17.35 ± 0.30	10.47 ± 0.41
Chr	20.04 ± 0.20	20.76 ± 0.14	15.96 ± 0.16	10.20 ± 0.22
BbF	22.12 ± 1.34	22.02 ± 0.42	19.89 ± 1.08	13.09 ± 0.67
BkF	7.01 ± 0.05	6.31 ± 0.35	6.37 ± 0.19	3.96 ± 0.22
BaP	15.08 ± 0.02	13.31 ± 0.10	13.12 ± 0.23	8.03 ± 0.25
IcP	9.30 ± 0.30	8.62 ± 0.04	8.59 ± 0.04	5.30 ± 0.01
DhA	2.88 ± 0.13	2.35 ± 0.87	2.23 ± 1.22	1.27 ± 0.26
BgP	9.82 ± 0.12	9.89 ± 1.60	9.10 ± 0.00	6.59 ± 0.88
LPAH	553.34 ± 1.82	565.93 ± 4.64	415.99 ± 2.85	322.19 ± 8.61
HPAH	66.21 ± 1.05	62.50 ± 1.55	59.31 ± 0.24	38.24 ± 0.02
PAH4	80.61 ± 0.99	75.46 ± 0.10	66.32 ± 0.84	41.78 ± 0.29
PAH16	619.55 ± 0.77	628.44 ± 3.09	475.30 ± 2.61	360.42 ± 8.59

通过对不同制油工艺所得毛油中 BaP、PAH4 和 PAH16 含量进行方差分析,进而研究制油工艺是否

对毛油中 PAHs 含量产生显著性影响。其结果如图 1~图 3 所示。



注:图中的 1、2、3、4 分别代表脱皮浸出毛油、脱皮压榨毛油、带皮浸出毛油、带皮压榨毛油;不同字母代表 PAHs 含量存在显著性差异($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同制油工艺所得花生毛油中 PAHs 含量

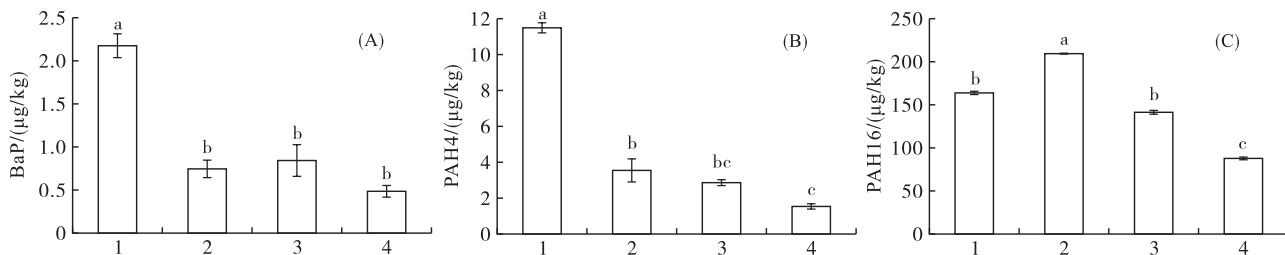


图 2 不同制油工艺所得芝麻毛油中 PAHs 含量

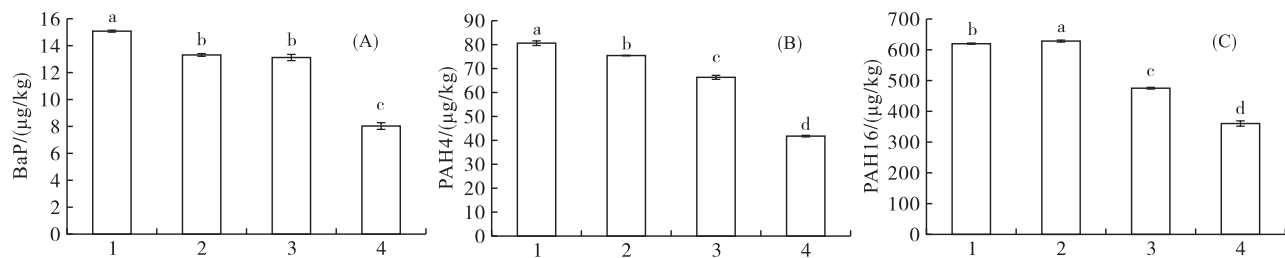


图 3 不同制油工艺所得菜籽毛油中 PAHs 含量

由图 1~图 3 可知,花生浸出毛油中的 PAH4 含量显著高于压榨毛油,菜籽浸出毛油中 BaP、PAH4 含量均显著高于压榨毛油,因此浸出和压榨两种制油工艺对花生毛油中的 PAH4 含量以及菜籽毛油中 BaP、PAH4 含量产生显著性影响。

由图 1~图 3 也可以看出,脱皮花生毛油中的 PAH16 含量显著高于带皮花生毛油;脱皮芝麻毛油中 PAH4 含量显著高于带皮芝麻毛油;脱皮菜籽毛油中的 BaP、PAH4、PAH16 含量均显著高于带皮菜籽毛油。

究其原因,可能是花生红衣、芝麻皮及菜籽皮的主要成分为粗纤维,而种仁的粗脂肪含量远高于种皮,因 PAHs 为亲脂性化合物,故种仁所提取毛油中 PAHs 含量高于带皮毛油。

2.2 带皮油料与脱皮油料中 PAHs 含量的差异

上述实验结果显示,脱皮油籽所提取毛油中 PAHs 含量明显高于未脱皮油籽毛油。为探究其原因是否由油籽不同部位(种皮、种仁)PAHs 含量不

同所造成,对花生、芝麻、油菜籽的整籽及对应脱皮种仁中 PAHs 含量分别进行测定,结果如表 4 所示。由表 4 可知,脱皮花生中 BaP、PAH4、PAH16 含量分别为带皮花生含量的 3.85、4.42、1.65 倍;脱皮芝麻中 BaP、PAH4、PAH16 含量分别为带皮芝麻含量的 2.19、3.74、1.17 倍;脱皮油菜籽中 BaP、PAH4、PAH16 含量分别为带皮油菜籽含量的 1.18、1.34、1.33 倍。也即花生、芝麻、油菜籽脱皮后的种仁中 PAHs 含量均高于未脱皮的整籽,因此造成脱皮油籽即种仁所提取毛油中 PAHs 含量高于整籽所提取毛油。这种现象与 PAHs 的亲脂性有关^[12]。但在实际的油料加工和油脂生产过程中,也要考虑油籽种皮上易附着灰尘等杂质,而杂质中可能携带的 PAHs 会导致在制油过程中向毛油中迁移^[13]。

3 结论

通过对花生、芝麻、油菜籽脱皮及不脱皮的 12 个油料样品所提取毛油中 PAHs 含量的检测分析和数据对比研究,结果显示,油籽无论脱皮与否,所制

取浸出毛油中 BaP、PAH4、PAH16 含量明显高于压榨毛油,这说明多环芳烃在浸出溶剂正己烷中有很好的溶解度。无论是压榨法还是浸出法,脱皮油籽所制取毛油中 BaP、PAH4、PAH16 含量均高于未脱

皮油籽制取的毛油。这可能缘于种皮主要成分为粗纤维,而 PAHs 的亲脂性使其更容易富集在种仁中并随制油过程迁移至毛油中。

表4 花生、芝麻、油菜籽中 PAHs 的含量

PAHs	花生		芝麻		油菜籽	
	脱皮	带皮	脱皮	带皮	脱皮	带皮
Nap	51.48 ± 1.08	47.92 ± 2.82	42.59 ± 3.64	55.59 ± 2.71	140.27 ± 4.34	99.07 ± 3.90
Acy	3.78 ± 0.13	2.97 ± 0.16	2.40 ± 0.01	2.71 ± 0.26	8.14 ± 0.15	4.84 ± 0.20
Ace	6.98 ± 0.16	4.97 ± 0.27	5.09 ± 0.68	5.49 ± 0.16	11.79 ± 0.41	10.05 ± 0.61
Fl	16.08 ± 0.66	9.47 ± 0.44	11.48 ± 0.54	14.20 ± 0.21	49.17 ± 0.17	29.41 ± 0.73
Phe	62.26 ± 5.36	36.40 ± 3.12	41.26 ± 3.95	34.22 ± 3.11	147.41 ± 4.10	100.60 ± 5.24
Ant	7.29 ± 0.07	3.84 ± 0.02	4.95 ± 0.11	2.33 ± 0.18	17.35 ± 0.41	13.73 ± 1.40
Flu	26.53 ± 0.17	12.77 ± 0.11	19.94 ± 0.58	8.50 ± 0.21	70.14 ± 0.24	80.48 ± 3.58
Pyr	18.44 ± 0.11	9.52 ± 1.82	13.42 ± 0.17	5.52 ± 0.13	77.69 ± 0.24	50.34 ± 0.33
BaA	5.07 ± 0.35	1.40 ± 0.15	2.93 ± 0.24	0.35 ± 0.10	25.38 ± 0.23	17.11 ± 0.32
Chr	5.83 ± 0.19	1.07 ± 0.04	2.71 ± 0.03	0.97 ± 0.07	18.50 ± 0.16	14.02 ± 0.20
BbF	5.71 ± 0.04	1.14 ± 0.40	2.86 ± 0.17	0.53 ± 0.17	23.75 ± 0.67	18.06 ± 1.34
BkF	1.39 ± 0.28	0.41 ± 0.25	0.98 ± 0.02	0.97 ± 0.02	6.64 ± 0.22	6.59 ± 0.05
BaP	4.47 ± 0.24	1.16 ± 0.29	2.23 ± 0.29	1.02 ± 0.20	12.80 ± 0.35	10.81 ± 0.12
IcP	2.50 ± 0.11	0.43 ± 0.27	1.19 ± 0.03	0.19 ± 0.22	9.02 ± 0.01	7.31 ± 0.30
DhA	0.59 ± 0.00	0.11 ± 0.11	0.08 ± 0.48	ND	3.09 ± 0.26	2.25 ± 0.13
BgP	2.86 ± 0.06	0.78 ± 0.06	1.60 ± 0.16	0.03 ± 0.27	9.22 ± 0.88	8.59 ± 1.60
LPAH	203.76 ± 2.69	130.34 ± 2.07	146.77 ± 3.55	129.89 ± 3.73	565.84 ± 4.24	419.65 ± 4.64
HPAH	17.54 ± 0.04	4.04 ± 0.19	8.94 ± 0.40	2.74 ± 0.72	64.52 ± 1.55	53.60 ± 1.85
PAH4	21.09 ± 0.14	4.77 ± 0.29	10.73 ± 0.10	2.87 ± 0.02	80.43 ± 0.10	60.00 ± 0.10
PAH16	221.30 ± 4.73	134.38 ± 3.88	155.71 ± 4.15	132.63 ± 3.98	630.36 ± 4.39	473.25 ± 5.09

参考文献:

- [1] PETTER O, LOANNIS S, JAN H. 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]. *J Chromatogr A*, 2014, 1360: 39–46.
- [2] HOSSAIN M A, SALEHUDDIN S M. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in edible oils by gas chromatography coupled with mass spectroscopy [J]. *Arab J Chem*, 2012, 5: 391–396.
- [3] WU S M, YU W J. Liquid–liquid extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons in four different edible oils from China [J]. *Food Chem*, 2012, 134: 597–601.
- [4] 刘玉兰,田瑜,王璐阳,等. 不同制油工艺对油莎豆油品质影响的研究 [J]. *中国油脂*, 2016, 41(7): 1–5.
- [5] 温志英,刘晶,刘焕云. 花生红衣综合利用现状及发展前景 [J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(1): 143–146.
- [6] 潘雷. 不同制油工艺对菜籽饼粕营养价值的影响及其微生物脱毒的研究 [D]. 合肥:安徽农业大学, 2009.
- [7] 刘大川,张麟,刘金波,等. 油菜籽脱皮、低温压榨、膨化浸出制油新工艺 [J]. *中国油脂*, 2005, 30(2): 13–16.
- [8] 刘兵戈,汪学德,黄维,等. 原料脱皮和制油工艺对芝麻油品质的影响 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2013, 34(6): 32–36.
- [9] 钟雪玲,刘玉兰,汪学德,等. 芝麻脱皮冷榨工艺条件研究 [J]. *农业机械*, 2011(32): 43–47.
- [10] 张东东. 炒香型油脂生产中多环芳烃的控制 [D]. 郑州:河南工业大学, 2016.
- [11] SHI L K, ZHANG D D, LIU Y L. Survey of polycyclic aromatic hydrocarbons of vegetable oils and oilseeds by GC–MS in China [J]. *Food Addit Contam Part A*, 2016, 33(4): 603–611.
- [12] LIU Y H, WU P P, LIU Q. A simple fluorescence spectroscopic approach for simultaneous and rapid detection of four polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH4) in vegetable oils [J]. *Food Analyt Methods*, 2016, 9(11): 3209–3217.
- [13] EVANGELIA M, ATHANASIOS K, OLGA K. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at traffic and urban background sites of northern Greece: source apportionment of ambient PAH levels and PAH–induced lung cancer risk [J]. *Environm Sci Poll Res*, 2016, 23(4): 3556–3568.