

# 植物油中塑化剂、苯并芘来源 及沙棘籽油风险减控方法

张志刚,姚玉军,顾翔宇,马素清,赵航,黄雅鑫

(内蒙古宇航人高技术产业有限责任公司,呼和浩特 011517)

**摘要:**沙棘籽油含有丰富的黄酮、维生素 E 等多种生物活性物质,具有极高的营养保健功效,但其潜在的安全问题也引起了人们的重视。为了探究沙棘籽油中塑化剂和苯并芘的来源和脱除方法,对植物油中塑化剂和苯并芘的污染来源以及脱除方法进行了详细阐述,并提出了沙棘籽油中塑化剂和苯并芘的控制措施。鉴于目前市售沙棘籽油大多未进行常规植物油精炼的“五脱”工艺处理,可以将溶剂法和吸附法结合使用,对沙棘籽和沙棘籽油分别进行处理,以得到塑化剂和苯并芘含量合格的沙棘籽油产品。

**关键词:**沙棘籽油;塑化剂;苯并芘;污染来源;减控方法

中图分类号:TS225.1;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)10-0088-05

## Sources of plasticizers, benzopyrene in vegetable oils and risk reduction methods for seabuckthorn seed oil

ZHANG Zhigang, YAO Yujun, GU Xiangyu, MA Suqing, ZHAO Hang, HUANG Yaxin

(Inner Moggolia Yuhangren High-Tech Industrial Co., Ltd., Hohhot 011517, China)

**Abstract:** Seabuckthorn seed oil is rich in flavonoids, vitamin E and other biologically active substances, and has high nutritional and health benefits, but its potential safety issues have also attracted people's attention. In order to explore the sources and removal methods of plasticizers and benzopyrene in seabuckthorn seed oil, the pollution sources and removal methods of plasticizers and benzopyrene in vegetable oils were elaborated, and the control measures for plasticizers and benzopyrene in seabuckthorn seed oil were proposed. In view of the fact that most of the commercially available seabuckthorn seed oil had not subjected the “five-off” process of conventional vegetable oil refining, a combination of solvent and adsorption methods could be used for treating seabuckthorn seeds and seabuckthorn seed oils separately to obtain seabuckthorn seed oil products with acceptable plasticizers and benzopyrene content.

**Key words:** seabuckthorn seed oil; plasticizer; benzopyrene; pollution source; reduction method

沙棘又名醋柳、酸溜溜等,我国是沙棘分布区面积最大、种类最多的国家<sup>[1-3]</sup>。沙棘主要分布于我国新疆、内蒙古、宁夏、青海和甘肃等 19 个省(自治区)<sup>[4-5]</sup>。早在公元 8 世纪,《四部医典》中就已出

现对沙棘医药用途的记载<sup>[6]</sup>,沙棘具有祛痰利肺、养胃健脾、活血祛瘀的药理功效<sup>[7]</sup>。从沙棘籽中提取沙棘籽油的方法有压榨法、浸提法和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法,因沙棘籽含油率较低,压榨法虽然操作简单,但出油率较低;浸提法提取率高,但存在溶剂残留问题;超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法作为一项新型分离技术,提取率高,营养活性物质损失少。市场上利用超临界 CO<sub>2</sub> 技术提取的沙棘籽油产品较多,其为橙黄色或橙红色的透明油状液体,含有维生素 E、类胡萝

收稿日期:2020-11-11;修回日期:2021-05-20

基金项目:内蒙古自治区应用技术与开发(2020GG0206)

作者简介:张志刚(1987),男,工程师,硕士,研究方向为天然产物研究及产品开发(E-mail)1032129192@qq.com。

卜素、黄酮、酚类及甾体类等多种活性物质<sup>[8-10]</sup>。

内蒙古地区的沙棘,野生种植于偏远山区,受化肥、空气、水等环境污染程度较小,但经相关科研单位检测,天然野生的沙棘籽中也存在一定量的塑化剂(主要以DBP和DEHP的形式存在)和苯并芘,再加上运输、储存、生产加工过程中与塑料配件接触以及高温等条件的影响,沙棘籽油产品中塑化剂和苯并芘含量进一步增加,存在超出国家安全标准的风险。经对市场上沙棘籽油的塑化剂和苯并(a)芘进行检测,发现有超标现象存在。

塑化剂(PAEs)分子结构类似于荷尔蒙,可通过皮肤接触、呼吸道和消化道等途径危害人体。长期摄入超安全剂量的PAEs可引起肝、肺、肾、心及生殖等多组织系统的中毒,其中对男性生殖系统损害最明显<sup>[11]</sup>。因此,PAEs被中、美、日及欧盟列入“优先控制污染物名单”<sup>[12]</sup>。常见的高相对分子质量的塑化剂包括DINP、DIDP等,低相对分子质量的塑化剂包括DBP、BBP、DEHP等<sup>[13]</sup>。我国GB 9685—2016规定食品和食品添加剂中DEHP、DINP和DBP限量分别为1.5、9.0 mg/kg和0.3 mg/kg。

多环芳烃是人们熟知的持久性有机污染物之一,其中苯并芘致癌性很强,故被作为多环芳烃的代表。苯并芘的常见种类主要有1,2-苯并芘、3,4-苯并芘(苯并(a)芘)、4,5-苯并芘等10多种。由于苯并(a)芘较为稳定,在环境中广泛存在,并与其他多环芳烃化合物的含量有一定相关性,而且其对多种动物器官都有致癌作用,所以把苯并(a)芘作为大气致癌物质的代表。我国GB 2716—2018规定,食用植物油类产品中苯并(a)芘的安全限量为小于等于10 μg/kg。欧盟法规EC 208/2005号文件规定食用油脂中苯并(a)芘的最大限量为2 μg/kg<sup>[14]</sup>。

为了强化沙棘籽油生产安全监管,排除沙棘籽油塑化剂和苯并芘污染风险隐患,提高产品质量,本文对食用植物油的塑化剂及苯并芘污染途径进行了全面分析,综述了目前行业内对于植物油中苯并芘及塑化剂的减控方法,以期为沙棘籽油加工企业提供参考和借鉴,生产健康安全的产品。

## 1 植物油中塑化剂和苯并芘污染来源

### 1.1 塑化剂污染来源

#### 1.1.1 环境

PAEs的来源很大程度是油料作物通过代谢从土壤、大气及水中吸收PAEs并随着油料的加工而迁移至油脂中。土壤中的PAEs与白色塑料的使用具有良好的相关性<sup>[15]</sup>;塑料制品垃圾的焚烧导致空气中含有一定量PAEs,随着油料作物的生长进入到

油料中<sup>[16]</sup>;另外,水生环境中的PAEs污染也不容忽视<sup>[17-18]</sup>。

#### 1.1.2 加工过程

植物油在加工过程中也存在PAEs污染的风险。在加工过程中不可避免地会接触到一些塑料设备,接触过程中塑料中的PAEs会溶入植物油中,使植物油被PAEs污染,比如塑料引(导)管、塑料密封垫、加工助剂等。

#### 1.1.3 塑料包装材料

由于农产品在采集、运输、储藏过程中普遍使用编织袋和塑料袋等塑料制品包装,而PAEs在塑料中以较弱的范德华力与塑料相结合,容易从塑料中迁移至外环境,进而污染塑料包装的农产品。与此同时,盛装植物油的塑料包装容器污染也不容忽视。目前,沙棘果收购均采用塑料编制袋(PE)包装,且经榨汁干燥后的沙棘籽一般放入塑料编织袋(PE)内进行暂存,沙棘籽油后期储存过程中也采用塑料桶(PP)。

### 1.2 苯并芘污染来源

#### 1.2.1 环境

由于环境污染的加剧,各种工业废水、废气和废渣排放以及生活废气、废水导致大气、土壤和水质的污染,使油料在种植阶段就受到苯并芘污染。此外,油料收获以后,晾晒在煤焦沥青马路上,也会受到污染。沙棘籽油的加工过程,是沙棘果先经压榨取浆,得到沙棘果皮和沙棘籽的混合物,混合物在晒干后脱除沙棘果皮得到沙棘籽,此过程一般是在室外晾晒场地进行,有的厂家在沥青地面晾晒,地面上或空气中的苯并芘会随着高温接触迁移到沙棘籽中,导致沙棘籽原料中苯并芘含量增加。

#### 1.2.2 加工过程

在油料加工过程中对原料反复焙炒,当温度控制不当导致其烧焦,将生成苯并芘,残留在原料的外壳上;采用浸提法制油时,如果溶剂质量不符合要求,如含有较高的多环芳烃,也可能造成油脂的污染;在对油料清理、破碎、提油等过程中,油料和机器的接触也有可能使作为润滑油的矿物油中的苯并芘转移到油料或油脂中。

## 2 植物油中塑化剂及苯并芘的减控方法

目前对于植物油中的有害物质减控方法一般从两个方面进行,一方面是从外部环境对油料进行安全防控,主要是严格控制储运过程及生产过程中的塑料材料使用。因此,对于生产过程中的加工辅助用具中的塑料部分,尽可能用不含塑化剂的组件代替,储存过程采用不锈钢桶代替塑料桶,尽可能在低

温下短时间储存,避免包装材料中的塑化剂迁移。另一方面采用传统的技术手段从油料中脱除塑化剂和苯并芘,塑化剂的常用脱除方法有吸附法、溶剂萃取法、水蒸气蒸馏法、分子蒸馏法等,苯并芘的常用脱除方法有吸附法、低温沉降法、溶剂脱除法。

## 2.1 塑化剂的脱除方法

### 2.1.1 吸附法

目前吸附法脱除食用油中的 PAEs 报道较多。张明明等<sup>[19]</sup>使用不同的吸附剂对冷榨油茶籽油中塑化剂进行吸附脱除实验,结果发现,吸附法对油茶籽油中 DMP、DEP、DIBP 的脱除效果较好,但对 DBP 和 DEHP 的脱除效果较差,且吸附剂种类对油脂中 PAEs 的脱除效果存在显著差异。另外,在选择吸附剂时必须考虑吸附剂本身是否存在 PAEs 污染的风险。

### 2.1.2 溶剂萃取法

PAEs 易溶于甲醇、乙醇、乙醚等有机溶剂。选用能溶解 PAEs 的溶剂作为萃取剂,通过萃取剂与油脂混合接触,油脂中的 PAEs 被溶解在萃取剂中,然后将萃取剂与油脂分离,达到脱除油脂中 PAEs 的目的。刘昕等<sup>[20]</sup>发明了一种除去动植物精油中 PAEs 的方法,以 DEHP、DINP 和 DBP 含量分别为 10、15 mg/kg 和 18 mg/kg 的沙棘油为原料,用 80% 的乙醇作为萃取剂,萃取剂与沙棘油分别预热至 90 °C,然后按料液质量比 1:4 充分搅拌混合后,于 30 000 Hz 的超声波振荡器中振荡 3 min,静置,分离,将分离出的沙棘油进行二次萃取,回收萃取剂,得到 DEHP、DINP 和 DBP 含量分别为 0.09、0.05 mg/kg 和 0.03 mg/kg 的沙棘油,PAEs 脱除效果良好。GB 2760—2014 中规定,乙醇可以在油脂加工过程中使用。对于不同的油脂,萃取剂种类、萃取剂浓度、料液比、萃取时间、萃取次数和萃取剂分离条件等需要进一步优化。因此,可根据沙棘籽油受 PAEs 污染的情况改变萃取次数,以提升油脂中营养成分保留率。

### 2.1.3 水蒸气蒸馏法

依据 PAEs 分子间存在沸点/饱和蒸气压低于甘油三酯的差异,可以采用水蒸气蒸馏法脱除油脂中的 PAEs。刘玉兰等<sup>[21]</sup>研究了水蒸气蒸馏法对油脂中 DBP 和 DEHP 的脱除效果,同时考察了脱除条件对油脂中维生素 E 和反式脂肪酸(TFA)的影响。结果表明:在 240 °C、100 min 的水蒸气蒸馏条件下,油茶籽油和大豆油中 DBP 含量均达到国标限量规定;在 190 °C、60 min 和 260 °C、30 min 的两段式双温水蒸气蒸馏条件下,可以使大豆油中 DBP 和

DEHP 含量均降至国标限量规定以下,同时油脂中维生素 E 损失率和 TFA 含量明显降低。虽然水蒸气蒸馏法应用于沙棘籽油中 PAEs 的脱除研究较少,但从理论上分析,也可以应用于沙棘籽油中 PAEs 的脱除,注意在将其 PAEs 脱除到国标限量要求以下时,要减少功能性成分的损失和其他风险因子的生成,以保证沙棘籽油安全、营养和健康的需要。

### 2.1.4 分子蒸馏法

分子蒸馏比常规蒸馏具有操作温度低、被分离物质受热时间短等优点,是一种温和的分离方法<sup>[22]</sup>。司天雷等<sup>[23]</sup>研究了分子蒸馏法对沙棘果油中 DBP、DEHP 和苯并(a)芘的脱除效果。结果表明,此方法对 DBP 和 DEHP 的脱除效果显著,沙棘果油中 DBP、DEHP 残留量均为 0.1 mg/kg,显著优于国标限量要求,同时还显著降低了酸值和苯并(a)芘含量。Li 等<sup>[24]</sup>比较了两级水蒸气蒸馏工艺和两级分子蒸馏工艺对沙棘果油中 7 种 PAEs 脱除效果的影响,结果发现,后者展现出了优异的 PAEs 脱除效果,且没有反式脂肪酸产生。虽然分子蒸馏处理能够有效脱除油脂中的有害物质,但应当注意不同营养成分的损失率比较大,尤其对于沙棘籽油而言,需要进一步研究分子蒸馏对沙棘籽油营养成分和保健功效的影响。

## 2.2 苯并芘的脱除方法

### 2.2.1 吸附法

吸附法是利用活性炭、活性白土、硅藻土等吸附剂对植物油中的苯并芘进行处理,脱除或降低苯并芘的含量。该方法具有成本低、操作便捷、效率高等优势。活性炭是目前应用最广泛的一种吸附剂。赵欢欢等<sup>[25]</sup>对芝麻油中的苯并(a)芘脱除进行研究,发现活性白土与活性炭混合使用对苯并(a)芘的脱除效果要好于单独使用某一种吸附剂。吴雪辉等<sup>[26]</sup>利用中心组合设计及响应面法优化了活性炭吸附法脱除油茶籽油中苯并(a)芘的工艺条件,在最佳条件下,苯并(a)芘脱除率可达到 93.6%。

### 2.2.2 低温沉降法

低温沉降法是利用低温冷冻离心机将油脂与苯并芘分离的一种方式,因苯并芘密度(1.286 g/cm<sup>3</sup>)比植物油的(0.91 ~ 0.93 g/cm<sup>3</sup>)大,通过加入某种既不溶于植物油也不溶于苯并芘而且密度介于二者之间的介质,在高速离心的作用下,介质把植物油与苯并芘隔离分层,然后再通过低温冷冻使植物油与其中的苯并芘残留物完全分离出来。罗存回等<sup>[27]</sup>利用低温离心分离的方法,有效地将油茶籽油中的

苯并(a)芘进行了分离脱除,并研究了最佳分离介质。低温沉降法脱除苯并芘可以很好地保留油脂的营养成分,但成本过高,目前还无生产厂家采用。

### 2.2.3 溶剂脱除法

合理的碱炼脱酸条件对于脱除油脂中苯并芘是有效的。刘玉兰等<sup>[28]</sup>进行了碱炼对菜籽油中苯并(a)芘脱除效果的研究。结果表明:在碱炼时间40 min、碱液质量分数5.117% (8°Bé)、超碱量0.2%、碱炼温度80℃的工艺条件下,菜籽油中苯并(a)芘脱除率达52%。胡朝暾等<sup>[29]</sup>进行了脱胶对浓香菜籽油中苯并(a)芘脱除影响的研究,结果发现:在脱胶静置时间60 min、脱胶温度20℃、加水量3%、磷酸添加量0.1%的工艺条件下,浓香菜籽油中苯并(a)芘脱除率为83%。

## 3 控制措施

根据对苯并芘和塑化剂进入植物油的原因分析,目前能够采取的防控措施重点在于沙棘原料的质量把关,以及在沙棘籽油加工、储藏、包装和运输的整个过程防止油与可能含有苯并芘和塑化剂的物质接触。

### 3.1 控制原料质量

油料质量会直接影响油脂品质。在收购沙棘果和沙棘籽之前必须对原料进行苯并(a)芘和塑化剂的检测,结合限量要求评估沙棘籽油安全性,并保证能获得原料的产地来源等信息,建立追溯体系。

### 3.2 改进加工设备部件

根据实际情况,将与沙棘籽原料或油品直接接触的传送带、橡胶圈、橡胶垫片、塑料油嘴、塑料导油管等进行替换,将塑料和橡胶材质的设备和配件更换为不锈钢或聚四氟乙烯等更安全的材质。

### 3.3 萃取剂和滤纸(滤布)

超临界CO<sub>2</sub>萃取法生产沙棘籽油时,CO<sub>2</sub>中同样可能含有苯并芘和塑化剂,在使用前需要进行严格检验,防止其成为污染源。在精炼过程中,要严格控制滤纸和滤布的质量,选择不含塑化剂和苯并芘的滤纸和滤布。

### 3.4 改进包装材料

在沙棘籽原料的采集、运输、储藏过程中应避免使用塑料包装,提倡使用麻袋等非塑料包装材料,并且沙棘籽油储藏过程中用不锈钢桶代替塑料桶。

## 4 结语

沙棘籽油产量低,但营养价值高。鉴于目前市售沙棘籽油大多未进行植物油精炼“五脱”工艺处理,根据植物油中塑化剂和苯并芘的脱除方法,考虑将溶剂法和吸附法结合形成更有效的沙棘籽油中塑

化剂和苯并芘脱除方法,如前处理过程,增加用乙醇清洗沙棘籽工艺,在后处理过程中,用活性炭吸附、有机溶剂萃取等方式对沙棘籽油中的污染物进行脱除,以期达到合格产品的要求。

### 参考文献:

- [1] 姚娜娜,车凤斌,李永海,等.沙棘的营养价值及综合开发利用概述[J].保鲜与加工,2020,20(2):226-232.
- [2] 刘勇,廉永善,王颖莉,等.沙棘的研究开发评述及其重要意义[J].中国中药杂志,2014,39(9):1547-1552.
- [3] CIESAROVA Z, MURKOVIC M, CEJPEK K, et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? [J]. Food Res Int, 2020, 133: 109-110.
- [4] 李永海,忻耀年.沙棘产品的研究与开发[J].国际沙棘研究与开发,2008,6(3):4-9.
- [5] ROUSI A. The genus *Hippophae* L. a taxonomic study [J]. Ann Bot Fennic, 1971, 8(3):177-227.
- [6] 曹慧茹,魏淑艳.沙棘的药理实验和临床研究概况[J].辽宁药物与临床,2002,5(1):47-48.
- [7] 朱彦蓉,陈洁,刘建明,等.沙棘籽油提取工艺的优化及体外抗氧化试验[J].世界最新医学信息文摘,2018,18(14):8-10.
- [8] 彭琪,黄瑞娟,李燕峰,等.气相色谱质谱法测定沙棘籽油中的塑化剂DBP含量[J].中国检验检测,2018,26(5):9-11.
- [9] 郑满荣,吕晓玲,王建新,等.3种沙棘油的主要成分及抗氧化能力比较[J].食品研究与开发,2018,39(8):24-29.
- [10] 韩立柱,高欢,胡坤霞,等.沙棘籽油微乳的处方筛选及制备工艺研究[J].中国现代中药,2019,35(8):73-75.
- [11] 马林,马明月.邻苯二甲酸酯类对生殖毒性的影响及其机制的研究进展[J].沈阳医学院学报,2017,19(4):54-57.
- [12] 曹九超,金青哲.食用油中塑化剂的污染途径及分析方法的研究进展[J].中国油脂,2013,38(5):1-5.
- [13] VENTRICE P, VENTRICE D, RUSSO E, et al. European regulation, chemistry, pharmacokinetic and related toxicity [J]. Environ Toxicol Pharmacol, 2013, 36(1):88-96.
- [14] 初柏君,李世磊,惠菊.我国与欧盟植物油中污染物的限量标准比较[J].粮食与食品工业,2017,24(5):13-17.
- [15] LÜ H X, MO C H, ZHAO H M, et al. Soil contamination and sources of phthalates and its health risk in China: a review [J]. Environ Res, 2018, 164: 417-429.
- [16] 郑顺安,倪润祥,宝哲,等.西北地膜高投入地区土壤与玉米邻苯二甲酸酯(PAEs)含量水平与健康风险评估[J].环境化学,2020,39(7):1839-1850.

(下转第115页)

县种植在沙土和岗地中的丰油10号油菜籽与来自固始县种植在丘陵中的杂双5号油菜籽可作为丰富的油酸、亚油酸来源;来自信阳市种植在黄土中的搏优6号油菜籽和来自南阳市种植在砂质土中的皖油13油菜籽可作为丰富的花生一烯酸来源;来自信阳市种植在黄土中的南阳红、秦优9号、花菜子油菜籽以及种植在黑土中的四月红油菜籽可作为丰富的芥酸来源,来自固始县种植在丘陵中的杂双5号油菜籽可作为低芥酸菜籽油的原料来源。

(3)对于杂交油菜籽来说,种植土壤对其油酸、花生一烯酸和芥酸含量影响较大,对于丰油10号油菜籽来说,该品种比较稳定,其脂肪酸含量不受种植土壤的影响。

(4)对于杂交油菜籽和丰油10号油菜籽来说,只要种植土壤相同,即使来自不同地区,同品种油菜籽的脂肪酸含量均无明显差异。

#### 参考文献:

- [1] 徐洪志,曾川,张大琼,等.菜籽饼的利用与研究进展[J].耕作与栽培,2007(1):37-39.
- [2] 李娜,杨涛.我国油菜籽产业发展现状及趋势展望[J].农业生产展望,2009,5(2):19-21.
- [3] 熊秋芳,张效明,文静,等.菜籽油与不同食用植物油营

养品质的比较——兼论油菜品质的遗传改良[J].中国粮油学报,2014,29(6):122-128.

- [4] 张月红,刘英华,王颀,等.中长链脂肪酸食用油降低超重高甘油三酯患者血脂和低密度脂蛋白胆固醇水平的研究[J].中国食品学报,2010(2):20-27.
- [5] 于海宁,单伟光,DAS U N,等.茶籽中脂肪酸的组成及其生物活性脂肪酸对高糖胁迫下RF/6A细胞生长的影响[J].茶叶科学,2009(6):419-425.
- [6] 周文化,李忠海,张海德,等.槟榔果仁油提取及其脂肪酸分析[J].中国粮油学报,2010,25(8):38-41.
- [7] 吴关庭,郎春秀,陈锦清.芥酸的生产及其衍生产产品开发[J].中国油脂,2007,32(6):27-31.
- [8] 刘昌盛.冷榨菜籽油低温精炼技术及其品质特性研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [9] 尹亚军,张翔宇,张喻.油菜籽成熟过程中主要营养成分变化研究[J].食品工业科技,2015,36(5):339-342.
- [10] 尹亚军,章丽琳,张喻.油菜籽成熟过程中主要脂肪酸变化的研究[J].中国粮油学报,2016,31(7):82-88.
- [11] 张鑫,任元元,王波,等.油菜籽绿色加工技术研究进展[J].粮油食品科技,2020,28(1):58-62.
- [12] 寇秀颖,于国萍.脂肪和脂肪酸甲酯化方法的研究[J].食品研究与开发,2005,26(2):46-47.

(上接第91页)

- [17] ZHANG Q Q, GU Y G, GUI P C, et al. Comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the river basins of China: source analysis, multimedia modeling, and linkage to bacterial resistance [J]. Environ Sci Technol, 2015,49(11):6772-6782.
- [18] 黄盼盼,王晨晨,邱春生,等.水环境中PAEs的赋存、环境风险及水质标准[J].环境工程,2020,38(5):23-29.
- [19] 张明明,刘玉兰,杨金强,等.油脂中邻苯二甲酸酯类塑化剂的吸附脱除研究[J].粮油食品科技,2015,23(5):32-36.
- [20] 刘昕,肖健,陈海,等.一种除去动植物精油中被污染的邻苯二甲酸酯类物质的方法:201110210869.5[P].2011-07-26.
- [21] 刘玉兰,张明明,杨金强.水蒸汽蒸馏法对油脂中DBP和DEHP脱除效果的研究[J].现代食品科技,2017,33(5):176-182.
- [22] 李琪,张娴.分子蒸馏技术在有效成分分离提纯中的应

用[J].食品安全导刊,2019(27):57.

- [23] 司天雷,马靖轩,马传国.分子蒸馏对沙棘果油品质影响的研究[J].中国油脂,2018,43(5):11-15.
- [24] LI C, LIU Y L, DENG J L. Removal of phthalic acid esters from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) pulp oil by steam distillation and molecular distillation [J]. Food Chem, 2019, 294:572-577.
- [25] 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.
- [26] 吴雪辉,李叶青,郑艳艳.茶油中苯并芘的活性炭吸附工艺研究[J].中国食品学报,2014,14(9):170-175.
- [27] 罗存回,蒋秋桃.离心低温分离法去除茶油中苯并芘的研究[J].农产品加工(创新版),2011(7):55-58.
- [28] 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.
- [29] 胡朝曦,张维,李湘,等.脱胶对浓香菜籽油苯并芘去除的影响[J].中国油脂,2018,43(8):100-103.