

# 中国沙棘果油和中亚沙棘果油的理化特性 及活性成分分析

杨旭升<sup>1,2</sup>, 张宇<sup>1</sup>, 张昭<sup>1</sup>, 袁月<sup>1</sup>, 代志国<sup>1</sup>, 张峰<sup>2</sup>, 杨敏莉<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学园艺园林学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国检验检疫科学研究院食品安全研究所, 北京 100176)

**摘要:**以中国沙棘果、中亚沙棘果为原料,采用溶剂法提取沙棘果油,对沙棘果油的理化特性及活性成分进行了测定分析,结合主成分分析法,对不同沙棘果油建立分类模型,并确定其差异组分。结果表明:中亚沙棘果的含油量高于中国沙棘果;中国沙棘果油和中亚沙棘果油中的总酚含量、总类胡萝卜素含量、过氧化值、碘值、皂化值、酸价和色泽存在显著差异;中国沙棘果油脂肪酸组成以棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸为主,中亚沙棘果油脂肪酸组成以棕榈酸、棕榈油酸、油酸、亚油酸和亚麻酸为主;沙棘果油中含量最高的植物甾醇是 $\beta$ -谷甾醇。研究表明,气质联用技术结合化学计量学能够直观地区分中国沙棘和中亚沙棘,可为沙棘分类、质量控制和溯源提供参考。

**关键词:**沙棘;沙棘果油;中国沙棘;中亚沙棘;理化特性;脂肪酸;活性成分;主成分分析

中图分类号:TS225.6;TS227 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)12-0044-05

## Physicochemical properties and active components in oils from *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* and *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica* berry

YANG Xusheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu<sup>1</sup>, ZHANG Zhao<sup>1</sup>, YUAN Yue<sup>1</sup>,  
DAI Zhiguo<sup>1</sup>, ZHANG Feng<sup>2</sup>, YANG Minli<sup>2</sup>

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Institute of Food Safety, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China)

**Abstract:** With *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* and *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica* berry as raw materials, sea buckthorn berry oils were extracted by solvent method and their physicochemical properties and active components were analyzed. Combined with the principal component analysis (PCA) method, the classification model was established, and the differential components were determined. The results showed that the oil content of *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica* berry was higher than that of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* berry. There were significant differences between the total phenol content, the total carotenoid content, peroxide value, iodine value, saponification value, acid value and color in *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* berry oil and *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica* berry oil. The main fatty acids of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* berry oil were palmitic acid, stearic acid, oleic acid and linoleic acid. The main fatty acids of *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica* berry oil were palmitic acid, palmitoleic acid, oleic acid, linoleic acid and linolenic acid. The highest phytosterol content was  $\beta$ -sitosterol. GC-MS/PCA could intuitively distinguish different subspecies of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* and *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica*, which could provide a reference for classification, quality control and

authenticity recognition of sea buckthorn.

**Key words:** sea buckthorn; sea buckthorn berry oil; *H. rhamnoides* subsp. *sinensis*; *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica*; physicochemical property; fatty acid; active component; principal component analysis

收稿日期:2020-04-02;修回日期:2020-06-29

基金项目:国家重点研发计划(2017YFF0211000)

作者简介:杨旭升(1992),男,硕士研究生,研究方向为小浆果的贮藏与加工技术(E-mail)yangxuseng@126.com。

通信作者:代志国,教授(E-mail)daizhiguoneau@126.com。

沙棘属于胡颓子科沙棘属多年生落叶灌木或小乔木,广泛分布于欧亚大陆。我国东北、华北和西北等地是沙棘主要产区,其中黑龙江省沙棘的栽培面积最大<sup>[1]</sup>。沙棘中含有大量活性物质,如维生素、植物甾醇、黄酮类化合物和脂肪酸甘油酯等。国内外对沙棘的研究大多集中在活性成分分离、鉴定及活性评价,尤其是对沙棘油的研究<sup>[2]</sup>。沙棘油对血脂异常、高血压和心血管系统疾病<sup>[3]</sup>或某些皮肤病<sup>[4]</sup>有积极作用,同时还具有抗菌<sup>[5]</sup>等活性。

沙棘作为药食两用植物,已被开发成各种产品。2015年《中国药典》中关于沙棘作为药材并没有具体的说明。不同沙棘中功效成分组成及含量存在差异,还会受到气候、采收地点等影响<sup>[6-7]</sup>。由于一些沙棘外观形态相似,尤其是沙棘衍生产品,很难对其准确识别。因此,建立一种识别不同沙棘的量化分析方法,对其质量控制和溯源具有重要意义。Liu等<sup>[8]</sup>采用多步红外光谱技术,结合化学计量学分析对不同沙棘进行了分类。Kortensniemi等<sup>[9]</sup>应用<sup>1</sup>H NMR代谢组学法有效地识别了不同来源及不同亚种的沙棘浆果。

基于形态学分类,廉永善等<sup>[10]</sup>将沙棘属内植物分为无皮组和有皮组,包含6个种12个亚种。由于沙棘属植物分布区的地形、气候和海拔等外在环境因素存在差异,导致同种沙棘在形态上呈现多态性,不利于直观地辨别。目前,已有分子生物学<sup>[11]</sup>、细胞学<sup>[12]</sup>和化学组成<sup>[13]</sup>等方法应用于沙棘分类研究中。因此,在形态学分类的基础上,本文以中国沙棘果和中亚沙棘果作为研究对象,采用溶剂法提取沙棘果油,通过对沙棘果油理化特性的测定及其主要活性成分的分析,结合主成分分析法,初步探讨了中国沙棘果油和中亚沙棘果油之间的差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

中国沙棘果干、中亚沙棘果干,天津达尔芬奇生物科技有限公司。

正己烷、叔丁基甲基醚、甲醇,赛默飞世尔科技;石油醚,试剂级;无水硫酸钠,分析纯; $\alpha$ -生育酚(纯度 $\geq 96\%$ )、谷甾醇(纯度 $\geq 99\%$ )、 $5\alpha$ -胆甾醇(纯度 $\geq 97\%$ )、环阿屯醇(纯度 $\geq 90\%$ )、高根二醇(纯度 $\geq 97\%$ )、 $\alpha$ -香树精(纯度 $\geq 98\%$ )、十一烷酸甲酯(纯度 $\geq 98\%$ )、37种脂肪酸甲酯混合标准溶液, Sigma公司; $\beta$ -谷甾醇(纯度98%)、菜油甾醇(纯度98%)、 $\Delta 5$ -燕麦甾醇(纯度98%), TRC公司;没食子酸(纯度98%),阿拉丁公司;福林酚试

剂,北京伊诺凯公司;14%三氟化硼甲醇溶液,上海安谱公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

GM-300研磨仪,弗尔德仪器设备有限公司;PH-070A干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;HH-6恒温水浴锅;JOYN-SXT-04四联脂肪测定仪;R-215旋转蒸发仪,瑞士步琪公司;岛津QP2010 Ultra气质联用仪,岛津国际贸易有限公司;安捷伦7890a-5975c气质联用仪,安捷伦科技公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 沙棘果油提取

将中国沙棘果干和中亚沙棘果干分别研磨粉碎,过35目筛,装于封口袋中,置于干燥器皿中。采用溶剂法提取沙棘果油。

#### 1.2.2 沙棘果含油量测定

采用索氏萃取法测定沙棘果含油量。称取2g沙棘果粉用滤纸包裹,放入提取管内,提取瓶内加入100mL石油醚,80℃水浴萃取2h,真空滤纸过滤,35℃真空旋转蒸干,60℃干燥箱内干燥至恒重,计算含油量。沙棘果含油量=沙棘果油质量/沙棘果粉质量 $\times 100\%$ 。

#### 1.2.3 沙棘果油理化特性的测定

水分及挥发物的测定,参照GB 5009.236—2016;酸价的测定,参照GB 5009.229—2016;碘值的测定,参照GB/T 5532—2008;过氧化值的测定,参照GB 5009.227—2016;皂化值的测定,参照GB/T 5534—2008;总类胡萝卜素的测定,参考Ranjith等<sup>[14]</sup>的方法;色泽的测定,参考Jolayemi等<sup>[15]</sup>的方法;总酚含量的测定,参考Chanioti等<sup>[16]</sup>的方法,结果以没食子酸当量(GAE)表示。

#### 1.2.4 沙棘果油脂肪酸组成分析

甲酯化处理:称取0.1g沙棘果油于鸡心瓶中,加入1mL 50mg/L十一烷酸甘油三酯甲醇溶液,加入20mL 2% NaOH甲醇溶液,混合摇匀,80℃水浴回流约20min;从回流冷凝器上端加入7mL 14%三氟化硼甲醇溶液,继续回流2min;用去离子水冲洗回流冷凝器,继续加热1min;从水浴上取下迅速冷却,准确加入10mL正己烷,在摇床上振荡2min,吸取有机层到含有2g无水 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 试管中涡旋,过0.22 $\mu\text{m}$ 滤膜,待GC-MS检测。

GC-MS条件:HP-88毛细管柱(30m $\times$ 0.32mm $\times$ 0.25 $\mu\text{m}$ );进样口温度250℃;载气为超纯氦气,流速1mL/min;分流比10:1;升温程序为100℃保持5min,以4℃/min升到240℃,保持20min;离子源温

度 230 ℃;传输线温度 250 ℃;溶剂延迟 10 min;EI 离子源能量 70 eV;扫描模式为选择离子扫描(SIM)。

### 1.2.5 沙棘果油不皂化物分析

维生素 E 的测定,参考蔡媛媛等<sup>[17]</sup>的方法。植物甾醇的测定:参考文献[18]制备不皂化物,参考文献[19]进行 GC-MS 分析。通过 NIST11 质谱库检索和文献[18-19]报道的质谱数据对 24-亚甲基环阿屯醇进行定性。

### 1.2.6 数据处理

数据通过 SPSS 25 进行统计分析,采用软件 Origin 2018 作图和主成分分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 沙棘果油的理化特性(见表 1)

表 1 中国沙棘果和中亚沙棘果的含油量及其油脂的理化特性

项目	中国沙棘果/油	中亚沙棘果/油
含油量/(g/100 g)	5.61 ± 0.07b	7.59 ± 0.06a
总酚含量/(mg/100 g)	29.37 ± 1.86a	23.55 ± 1.18b
总类胡萝卜素含量/(mg/100 g)	67.69 ± 1.51b	97.77 ± 2.18a
水分及挥发物/%	0.42 ± 0.12a	0.48 ± 0.13a
过氧化值/%	0.36 ± 0.01b	0.59 ± 0.03a
碘值(I)/(g/100 g)	146.22 ± 1.77a	122.72 ± 0.93b
皂化值(KOH)/(mg/g)	167.69 ± 2.18a	144.77 ± 3.13b
酸价(KOH)/(mg/g)	6.35 ± 0.14a	5.11 ± 0.17b
色泽		
<i>L</i> *	27.70 ± 0.54a	24.76 ± 0.50b
<i>a</i> *	25.17 ± 0.12b	26.21 ± 0.13a
<i>b</i> *	30.10 ± 0.07a	28.33 ± 0.23b
<i>C</i> *	39.24 ± 0.12a	38.60 ± 0.25b
<i>H</i> (°)	50.04 ± 0.13a	47.20 ± 0.27b

注:同行数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

从表 1 可以看出,中亚沙棘果的含油量高于中国沙棘果。这与冯瑞芝等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。中亚沙棘果油中总类胡萝卜素含量、过氧化值显著高于中国沙棘果油的,而总酚含量、碘值、皂化值和酸价显著低于中国沙棘果油的。中亚沙棘果油和中国沙棘果油中水分及挥发物之间没有显著差异。色泽也是评估和判断油脂质量的指标之一。根据表 1 可知,中亚沙棘果油的红绿值(*a*\*)显著高于中国沙棘果油的,而黄蓝值(*b*\*)、饱和度(*C*\*)、亮度值(*L*\*)和色调角(*H*)显著低于中国沙棘果油的,说明相对于中国沙棘果油,中亚沙棘果油红色较强烈。Nemtanu 等<sup>[21]</sup>研究发现,辐照对沙棘油的色泽参数有显著影响,随着辐照剂量的增加,*L* \*、*a* \*、*b* \* 和

*C* \* 逐渐上升,使油的颜色变得更黄、更透亮及更强烈。

### 2.2 沙棘果油的脂肪酸组成(见表 2)

表 2 中国沙棘果油和中亚沙棘果油的脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	中国沙棘果油	中亚沙棘果油
C12:0	0.08 ± 0.00b	0.12 ± 0.01a
C14:0	0.32 ± 0.01b	1.38 ± 0.03a
C15:0	0.04 ± 0.01b	0.33 ± 0.01a
C16:0	13.08 ± 0.13b	34.32 ± 0.18a
C16:1n7	0.18 ± 0.01b	7.08 ± 0.03a
C17:0	0.19 ± 0.01a	0.20 ± 0.01a
C17:1n7	-	0.11 ± 0.01
C18:0	6.10 ± 0.03a	3.90 ± 0.02b
C18:1n9t	0.08 ± 0.00a	0.03 ± 0.00b
C18:1n9c	18.44 ± 0.05a	13.09 ± 0.02b
C18:2n6t	0.08 ± 0.00a	0.03 ± 0.00b
C18:2n6c	57.26 ± 0.13a	21.17 ± 0.13b
C20:0	1.16 ± 0.06a	0.89 ± 0.01b
C18:3n3	1.53 ± 0.01b	16.40 ± 0.04a
C20:1n9	0.31 ± 0.01a	0.03 ± 0.02b
C22:0	0.65 ± 0.06a	0.64 ± 0.01a
C23:0	0.10 ± 0.03a	0.07 ± 0.00b
C24:0	0.40 ± 0.01a	0.23 ± 0.02b
SFAs	22.12 ± 0.14b	42.07 ± 0.14a
MUFAs	19.01 ± 0.04b	20.33 ± 0.06a
PUFAs	58.87 ± 0.13a	37.60 ± 0.09b
UFAs	77.88 ± 0.14a	57.93 ± 0.14b

注: - 表示未检出。

从表 2 可以看出:中国沙棘果油中主要脂肪酸是棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1n9c)、亚油酸(C18:2n6c);中亚沙棘果油中主要脂肪酸是棕榈酸、棕榈油酸(C16:1n7)、油酸(C18:1n9c)、亚油酸(C18:2n6c)和亚麻酸(C18:3n3)。Zheng 等<sup>[22]</sup>采用超临界和亚临界萃取技术提取沙棘油,发现沙棘浆中主要脂肪酸是棕榈油酸、棕榈酸和油酸,沙棘籽油中含量较高的脂肪酸有亚油酸、亚麻酸和油酸。中国沙棘果油中饱和脂肪酸(SFAs)和单不饱和脂肪酸(MUFAs)含量低于中亚沙棘果油,而多不饱和脂肪酸(PUFAs)、不饱和脂肪酸(UFAs)含量和不饱和与饱和脂肪酸比值高于中亚沙棘果油。

### 2.3 不皂化物(见表 3)

从表 3 可以看出,中国沙棘果油中  $\alpha$ -生育酚含量显著高于中亚沙棘果油。中国沙棘果油中的  $\beta$ -谷甾醇和  $\Delta 5$ -燕麦甾醇的含量显著高于中亚沙棘果油,而菜油甾醇、谷甾醇、 $\alpha$ -香树精、环阿屯

醇和 24-亚甲基环阿屯醇含量显著低于中亚沙棘果油;中国沙棘果油和中亚沙棘果油中高根二醇含量之间没有显著差异。两种沙棘果油中主要植物甾醇均为 $\beta$ -谷甾醇,与 Teleszko 等<sup>[23]</sup>报道的一致。

表 3 中国沙棘果油和中亚沙棘果油

不皂化物	不皂化物含量 mg/100 g	
	中国沙棘果油	中亚沙棘果油
$\alpha$ -生育酚	44.49 ± 0.59a	32.23 ± 0.42b
菜油甾醇	21.85 ± 1.97b	27.24 ± 2.50a
$\beta$ -谷甾醇	640.43 ± 5.60a	591.12 ± 4.25b
谷甾烷醇	12.16 ± 0.30b	15.26 ± 0.41a
$\Delta 5$ -燕麦甾醇	24.42 ± 0.27a	20.07 ± 0.39b
$\alpha$ -香树精	5.68 ± 0.49b	9.16 ± 0.21a
环阿屯醇	25.28 ± 1.43b	28.95 ± 0.41a
高根二醇	4.79 ± 0.30a	4.30 ± 0.60a
24-亚甲基环阿屯醇	25.46 ± 0.58b	27.82 ± 1.03a

## 2.4 主成分分析

为了直观地比较中国沙棘果油和中亚沙棘果油的理化特性和活性成分之间的差异,对中国沙棘果油和中亚沙棘果油的理化参数和活性成分组分及含量分别进行主成分分析(PCA)。得分图以散点图为基础,每个点代表 1 个样品,点与点之间的距离越远代表样品的特征差异越大<sup>[24]</sup>。图 1 是根据沙棘果油的理化特性进行 PCA,对不同沙棘进行区分。

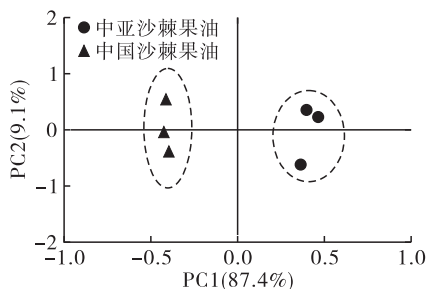


图 1 中国沙棘果油和中亚沙棘果油的理化特性参数的主成分分析图

从图 1 可以看出,主成分 1 和主成分 2 的方差贡献率分别为 87.4% 和 9.1%,说明 PC1 和 PC2 的信息能够反映样品的整体信息,将中国沙棘果油和中亚沙棘果油区分开,且没有重叠。中国沙棘果油主要分布在第二象限和第三象限,中亚沙棘果油主要分布在第一象限和第四象限。中国沙棘果油区别于中亚沙棘果油,可能是中国沙棘果油理化特性参数值中总酚含量、碘值、皂化值、酸价、亮度值( $L^*$ )、黄蓝值( $b^*$ )、饱和度( $C^*$ )和色调角( $H$ )相对较高;而中亚沙棘果油中总类胡萝卜素、过氧化值、红绿值( $a^*$ )相对较高。

图 2 是根据沙棘果油中主要活性化合物组成及

含量进行 PCA,对不同沙棘果油进行区分。一共测定了 27 个化合物(18 种脂肪酸、8 种植物甾醇和 $\alpha$ -生育酚)和 5 个脂肪酸变量。

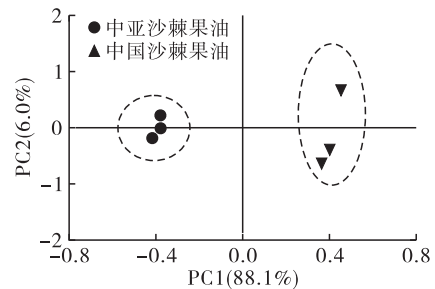


图 2 中国沙棘果油和中亚沙棘果油中活性化合物的主成分分析图

从图 2 可以看出,两个主成分 PC1 和 PC2 的累积方差贡献率达 94.1%,PC1 解释了 88.1% 的变量,PC2 解释了 6.0% 的变量。中国沙棘果油和中亚沙棘果油被 PC1 明显分开。中国沙棘果油区别于中亚沙棘果油的主要贡献组分是 $\beta$ -谷甾醇、 $\Delta 5$ -燕麦甾醇、 $\alpha$ -生育酚、硬脂酸、油酸、亚油酸、PUFAs、UFAs 和 UFAs/SFAs。

## 3 结论

通过对溶剂法提取的沙棘果油理化特性的测定和活性成分组成及含量的分析,结合主成分分析法可以看出,中国沙棘果油区别于中亚沙棘果油的理化特性变量中总酚含量、碘值、皂化值、酸价和色泽有差异贡献,有贡献的主要活性成分有 $\beta$ -谷甾醇、 $\Delta 5$ -燕麦甾醇、 $\alpha$ -生育酚、硬脂酸、油酸、亚油酸、PUFAs、UFAs 和 UFAs/SFAs。结果说明气质联用技术结合化学计量学能够直观地区分中国沙棘和中亚沙棘。沙棘果油的理化特性和特征组分的组成及含量除遗传因素影响外,还会受到气候、采收、贮藏及提取方式等影响。因此,后续实验还要对不同产地、不同种沙棘果油的理化特性及特征组分进行分析研究,为沙棘的分类、质量控制和溯源提供理论基础。

## 参考文献:

- [1] 王志伟. 黑龙江省沙棘发展概况综述[J]. 农村经济与科技, 2010, 21(10): 132-134.
- [2] OLAS B. The beneficial health aspects of sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson) oil [J]. J Ethnopharmacol, 2018, 213: 183-190.
- [3] VASHISHTHA V, BARHWAL K, KUMAR A, et al. Effect of seabuckthorn seed oil in reducing cardiovascular risk factors: a longitudinal controlled trial on hypertensive subjects[J]. Clin Nutr, 2017, 36(5): 1231-1238.
- [4] YANG B, KALIMO K O, TAHVONEN R L, et al. Effect of dietary supplementation with sea buckthorn (*Hippophae*

- rhamnoides) seed and pulp oils on the fatty acid composition of skin glycerophospholipids of patients with atopic dermatitis[J]. *J Nutr Biochem*,2000,11(6):338 – 340.
- [5] YUE X F, SHANG X, ZHANG Z J, et al. Phytochemical composition and antibacterial activity of the essential oils from different parts of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. *J Food Drug Anal*,2017,25(2):327 – 332.
- [6] MADAWALA S R P, BRUNIUS C, ADHOLEYA A, et al. Impact of location on composition of selected phytochemicals in wild sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) [J]. *J Food Compos Anal*,2018,72:115 – 121.
- [7] VUORINEN A L, MARKKINEN N, KALPIO M, et al. Effect of growth environment on the gene expression and lipids related to triacylglycerol biosynthesis in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*) berries[J]. *Food Res Int*,2015,77:608 – 619.
- [8] LIU Y, ZHANG Y, ZHANG J, et al. Rapid discrimination of sea buckthorn berries from different *H. rhamnoides* subspecies by multi – step IR spectroscopy coupled with multivariate data analysis [J]. *Infrared Phys Technol*,2018,89:154 – 160.
- [9] KORTESNIEMI M, SINKKONEN J, YANG B, et al. <sup>1</sup>H NMR spectroscopy reveals the effect of genotype and growth conditions on composition of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries [J]. *Food Chem*,2014,147:138 – 146.
- [10] 廉永善, 陈学林. 沙棘属植物的系统分类[J]. *沙棘*,1996,9(1):15 – 24.
- [11] 王罗云, 何彩云, 罗红梅, 等. 沙棘 7 个亚种与 26 个重要品种的遗传多样性[J]. *浙江农林大学学报*,2019,36(4):670 – 677.
- [12] 李洪梅, 张秀君, 彭珊, 等. 核型分析技术在沙棘品种进化研究中的应用[J]. *济南大学学报(自然科学版)*,2013,27(1):97 – 101.
- [13] POP R M, WEESEPOEL Y, SOCACIU C, et al. Carotenoid composition of berries and leaves from six Romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties[J]. *Food Chem*,2014,147:1 – 9.
- [14] RANJITH A, KUMAR K S, VENUGOPALAN V V, et al. Fatty acids, tocopherols, and carotenoids in pulp oil of three sea buckthorn species (*Hippophae rhamnoides*, *H. salicifolia*, and *H. tibetana*) grown in the Indian Himalayas[J]. *J Am Oil Chem Soc*,2006,83(4):359 – 364.
- [15] JOLAYEMI O S, TOKATLI F, OZEN B. Effects of malaxation temperature and harvest time on the chemical characteristics of olive oils [J]. *Food Chem*,2016,211:776 – 783.
- [16] CHANIOTI S, TZIA C. Optimization of ultrasound – assisted extraction of oil from olive pomace using response surface technology: oil recovery, unsaponifiable matter, total phenol content and antioxidant activity[J]. *LWT – Food Sci Technol*,2017,79:178 – 189.
- [17] 蔡媛媛, 张晖, 王兴国, 等. 初榨葡萄籽毛油中维生素 E、植物甾醇及角鲨烯的快速同步检测[J]. *中国油脂*,2018,43(9):137 – 143.
- [18] LI T S C, BEVERIDGE T H J, DROVER J C G. Phytosterol content of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed oil: extraction and identification [J]. *Food Chem*,2007,101(4):1633 – 1639.
- [19] 王东晖, 张玥, 范蓓, 等. 气相色谱 – 质谱联用法分析不同产地豆类中植物甾醇形态及含量[J]. *农产品质量与安全*,2017(3):21 – 27,37.
- [20] 冯瑞芝, 陈碧珠, 连文瑛, 等. 不同种沙棘油的生理活性成分比较[J]. *沙棘*,2008(1):11 – 13.
- [21] NEMTANU M R, BRASOVEANU M. Impact of electron beam irradiation on quality of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) oil[J]. *J Sci Food Agric*,2016,96(5):1736 – 1744.
- [22] ZHENG L, SHI L K, ZHAO C W, et al. Fatty acid, phytochemical, oxidative stability and in vitro antioxidant property of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) oils extracted by supercritical and subcritical technologies[J]. *LWT – Food Sci Technol*,2017,86:507 – 513.
- [23] TELESZKO M, WOJDYLO A, RUDZIŃSKA M, et al. Analysis of lipophilic and hydrophilic bioactive compounds content in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries[J]. *J Agric Food Chem*,2015,63(16):4120 – 4129.
- [24] 程焕, 陈健乐, 林雯雯, 等. SPME – GC/MS 联用测定不同品种杨梅中挥发性成分[J]. *中国食品学报*,2014,14(9):263 – 270.