

# 不同方法制备的美藤果油品质研究

郭永生<sup>1</sup>, 马传国<sup>1,2</sup>, 刘 君<sup>1,2</sup>, 段柱标<sup>3</sup>

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 小麦和玉米深加工国家工程实验室, 郑州 450001;

3. 中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

**摘要:**对美藤果成分进行了分析, 并对乙醚萃取、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取以及压榨制备的美藤果油的品质进行研究。结果表明:美藤果全籽粗脂肪含量为 32.88%, 美藤果仁粗脂肪含量为 51.86%, 美藤果仁中粗蛋白质含量为 23.23%; 3 种方法制备的美藤果油皂化值、碘值以及脂肪酸组成和含量并无明显的差异, 均含有较高的不饱和脂肪酸 (>92%), 且以亚麻酸和亚油酸为主; 美藤果油中生育酚主要为  $\gamma$ -生育酚和  $\delta$ -生育酚; 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取和乙醚萃取的美藤果油中甾醇和生育酚含量稍高于压榨美藤果油, 其中超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的美藤果油中生育酚含量较高, 乙醚萃取的美藤果油中游离态甾醇和酯态甾醇含量较高。

**关键词:**美藤果油; 乙醚萃取; 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取; 压榨; 品质

中图分类号: TS224; TQ646

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2018)02-0084-05

## Quality of Sacha inchi oil prepared by different methods

GUO Yongsheng<sup>1</sup>, MA Chuanguo<sup>1,2</sup>, LIU Jun<sup>1,2</sup>, DUAN Zhubiao<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. National Engineering Laboratory for Wheat & Corn Further Processing, Zhengzhou 450001, China;

3. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, Yunnan, China)

**Abstract:** The Sacha inchi component was analyzed. The qualities of Sacha inchi oil prepared by ether extraction method, supercritical CO<sub>2</sub> extraction method and pressing method were studied. The results showed that the crude fat contents of Sacha inchi and Sacha inchi kernel were 32.88% and 51.86% respectively, and the crude protein content in Sacha inchi kernel was 23.23%. There was no significant difference in iodine value, saponification value and fatty acid composition and content of Sacha inchi oils prepared by the three methods, the contents of unsaturated fatty acids were above 92%, and linoleic acid and linolenic acid were the main components.  $\gamma$ -Tocopherol and  $\delta$ -tocopherol were the main tocopherol in Sacha inchi oil. The contents of tocopherol and sterol in Sacha inchi oils extracted by ether and supercritical CO<sub>2</sub> were higher than those in pressed oil, in which the tocopherol content in Sacha inchi oil extracted by supercritical CO<sub>2</sub> was higher, and the contents of free sterol and sterol ester in Sacha inchi oil extracted by ether were higher.

**Key words:** Sacha inchi oil; ether extraction; supercritical CO<sub>2</sub> extraction; pressing; quality

美藤果又名南美星藤、印加果, 属于大戟科多年

生藤本植物, 生长于南美洲安第斯山脉, 是一种优质的天然食用油原料<sup>[1-2]</sup>。美藤果油是美藤果主要产物之一, 除了因其特有的风味作为优质食用油外, 还被广泛应用于食品保健、日用化妆品等方面<sup>[3]</sup>。2014 年美藤果油还被 FDA 认为是一种安全的食品<sup>[4]</sup>。

我国西双版纳等地区于 2007 年开始引进美藤果种子并试种成功。之后中国科学院昆明植物研究所将其正式定名为“美藤果”, 并向卫生部申报了新

收稿日期: 2017-04-17; 修回日期: 2017-09-18

基金项目: 河南省科技厅基础与前沿研究项目 (162300410009)

作者简介: 郭永生 (1991), 男, 硕士研究生, 研究方向为油脂化学与工艺学 (E-mail) 2483412232@qq.com。

通信作者: 马传国, 教授, 硕士生导师, 博士 (E-mail) mcg@haut.edu.cn。

资源食品<sup>[5]</sup>。目前,美藤果已在我国云南及其周边的老挝、泰国等国家和地区成功推广种植。近几年国内外有不少关于美藤果油的研究,多集中在美藤果油的萃取方法<sup>[6]</sup>、理化分析、氧化稳定性<sup>[7]</sup>等方面,对于其不同种类之间的品质<sup>[8]</sup>、感官评价<sup>[9]</sup>以及美藤果油的应用方面也有一些研究。

目前,美藤果油的制备多采用低温压榨、冷却过滤处理。本文利用乙醚萃取和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取美藤果油,并与压榨美藤果油进行对比,分别测定其理化指标、脂肪酸组成、甘三酯组成、甾醇及生育酚的组成及含量等。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

美藤果及压榨美藤果油(冷压榨后美藤果油经过过滤除去悬浮物杂质)由中国科学院西双版纳热带植物园提供。二氧化碳(99.999%),河南迎众化工有限公司;乙醚、酚酞、95%乙醇、乙酸、碘化钾、硫代硫酸钠,均为分析纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

SFC-20L 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取设备,美国 ASI 公司;7890A-FID 气相色谱仪,美国 Agilent 公司;2695 高效液相色谱分析仪(配荧光和紫外检测器 2475),美国 Waters 公司;Fibertec TM2010 粗纤维测定仪,瑞典福斯特瓦公司;Kjeltec T M8400 凯氏定氮仪,瑞典福斯特瓦公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 美藤果油的萃取方法

##### 1.2.1.1 乙醚萃取法

采用索氏抽提法。将美藤果手工剥壳得到美藤果仁,将美藤果仁破碎后过 40 目筛,在 45℃ 下以乙醚为溶剂萃取 8 h,旋蒸去除溶剂、烘干,得到美藤果油。

##### 1.2.1.2 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法

将美藤果手工剥壳得到美藤果仁,将美藤果仁粉碎过 10~20 目筛,将处理后样品放到萃取釜中。对萃取釜进行加热,直到达到萃取温度 45℃。之后打开空压机,调节 CO<sub>2</sub> 压力为 30 MPa 直到压力稳定开始静态萃取计时,静态萃取 20 min。然后通入 CO<sub>2</sub> 开始动态萃取,同时收集萃取物美藤果油。待萃取 12 h 结束后,取出得到美藤果脱脂粕。

#### 1.2.2 美藤果主要成分测定

水分含量测定:GB 5497—1985;粗脂肪含量测定:GB 5009.6—2016;粗蛋白质含量测定:GB 5009.5—2010;粗纤维含量测定:GB/T 5515—2008。

#### 1.2.3 美藤果油理化指标测定

水分及挥发物含量测定:GB/T 5528—2008;酸值测定:GB/T 5530—2005;过氧化值测定:GB/T 5538—2005;不溶性杂质测定:GB/T 15688—2008;气味、滋味测定:GB/T 5525—2008;色泽测定:GB/T 22460—2008;含磷量测定:GB/T 5537—2008;折光指数测定:GB/T 5527—2010;碘值测定:GB/T 5532—2008;皂化值测定:GB/T 5534—2008;不皂化物测定:GB/T 5535.2—2008。

#### 1.2.4 美藤果油脂肪酸组成及含量测定

采用 GB 5009.168—2016 制备脂肪酸甲酯,利用面积归一化法分析脂肪酸组成。气相色谱条件:Agilent 6890N 氢火焰离子化检测器;BPX-70 毛细管分析柱(120 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度 300℃;柱温 180℃;检测器温度 230℃;分流比 20:1;氮气流速 1 mL/min;氢气流速 47 mL/min;空气流速 400 mL/min;进样量 1 μL。

#### 1.2.5 美藤果油 Sn-2 脂肪酸测定

猪胰脂酶水解美藤果油后,取上层清液点薄层板,刮下甘一酯谱带进行简易甲酯化后进气相色谱分析,气相色谱条件见 1.2.4。

#### 1.2.6 美藤果油甘三酯组成及含量推测

根据得到的美藤果油全样和 Sn-2 脂肪酸分布,通过 1,3 随机-2-随机反应理论对美藤果油的甘三酯组成及含量进行推测。

#### 1.2.7 美藤果油甾醇组成及含量测定

参照郑淑敏等<sup>[10]</sup>的方法,利用柱层析法分离美藤果油中酯态甾醇和游离态甾醇,并分别用正己烷-乙酸乙酯(体积比 90:10)和正己烷-乙醚-无水乙醇(体积比 25:25:50)洗脱,之后将这两种组分分别进行皂化、提取、衍生化并利用气相色谱法定量。

气相色谱条件:HP-5 色谱柱(30.0 m×250 μm×0.25 μm),进样口温度 300℃;载气为高纯氮气;分流比 20:1;柱流速 1.0 mL/min;柱温 285℃(20 min);检测器温度 360℃;进样量 1 μL。

#### 1.2.8 美藤果油生育酚组成及含量测定

准确称取 0.5 g(精确至 0.000 1 g)美藤果油,色谱级正己烷定容至 25 mL,过 0.45 μm 微孔过滤器后直接进液相色谱。

液相色谱条件:进样量 20 μL;柱温 30℃;流速 0.8 mL/min;流动相为正己烷-异辛烷(体积比 98.5:1.5),荧光检测器激发波长 290 nm,发射波长 330 nm;Sun Fire™ Prep Silica 色谱柱(4.6 mm×250 mm×5 μm)。

## 2 结果与分析

### 2.1 美藤果的主要成分

对美藤果进行手工剥壳处理,分别测定美藤果仁和壳的质量,得到美藤果仁占总质量的 63.4%。测定美藤果壳、仁的水分含量分别为 6.38%、10.44%,计算出美藤果水分含量为 8.95%。另外,对美藤果仁的主要成分进行测定,结果见表 1。

表 1 美藤果仁的主要成分 %

粗蛋白质	粗脂肪	粗纤维	水分
23.23 ± 4.23	51.86 ± 0.16	4.17 ± 0.20	10.44 ± 0.16

由表 1 可以看出,美藤果仁粗脂肪含量达到 51.86%,高于常见的油茶籽仁、亚麻籽仁等,通过计算得出美藤果全籽粗脂肪含量为 32.88%。此外,美藤果仁含有 23.23% 的粗蛋白质,是一种潜在的蛋白质来源。综上,美藤果作为一种高油、高蛋白质含量的原料,具有广泛的应用前景。

### 2.2 美藤果油的理化指标(见表 2)

由表 2 可以看出,3 种方法得到的美藤果油的透

明度、碘值、皂化值、气味、折光指数以及不溶性杂质无明显的差异,说明提取方法对美藤果油的主要理化指标影响较小。美藤果油的碘值较一般常见油脂的高,可以推断其不饱和程度较高且属于干性油脂(碘值(I) > 130 g/100 g)。不皂化物是油脂中重要的营养指标,美藤果油中不皂化物含量在 0.45% ~ 0.63% 之间,低于 Chasquibol 等<sup>[4]</sup>的测定结果(0.82% ~ 2.58%),这可能和原料的产地、收获季节等因素有关。超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的美藤果油中含磷量明显低于乙醚萃取的美藤果油,这主要是由于乙醚的极性与油脂的极性相当,而 CO<sub>2</sub> 流体的极性相对较小,磷脂在 CO<sub>2</sub> 流体中的溶解度较小<sup>[11]</sup>。压榨美藤果油中的含磷量较低,是由于冷榨后采用低温过滤方法将美藤果油中磷脂等胶体脱除的结果。另外,超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的美藤果油的酸值高于乙醚萃取的美藤果油酸值。这可能是由于 CO<sub>2</sub> 流体在高压下与原料存在的水分形成微量的碳酸,使酸值升高,这和杨辉等<sup>[12]</sup>在利用不同萃取方法提取茶油的结果相类似。

表 2 3 种方法制备的美藤果油主要理化指标

理化指标	乙醚萃取	超临界 CO <sub>2</sub> 萃取	压榨
碘值(I)/(g/100 g)	195.08 ± 0.27	191.76 ± 0.57	193.0 ± 0.37
皂化值(KOH)/(mg/g)	191.18 ± 0.70	197.93 ± 2.33	192.30 ± 1.00
酸值(KOH)/(mg/g)	2.44 ± 0.01	3.94 ± 0.01	1.76 ± 0.01
过氧化值/(mmol/kg)	3.91 ± 0.02	3.76 ± 0.05	2.67 ± 0.02
折光指数( $n_D^{20}$ )	1.482 4	1.480 8	1.477 0
色泽(罗维朋比色槽 25.4 mm)	黄 6.0 红 0.3	黄 5.0 红 0.4	黄 3.0 红 0.2
透明度	澄清透明	澄清透明	澄清透明
水分及挥发物/%	0.55 ± 0.01	0.32 ± 0.04	0.10 ± 0.01
不溶性杂质/%	0.004	0.005	0.002
含磷量/(mg/g)	10.74	0.91	0.31
不皂化物/%	0.63 ± 0.05	0.54 ± 0.03	0.45 ± 0.02
气味	无异味,具有美藤果油固有的风味	无异味,具有美藤果油固有的风味	无异味,具有美藤果油固有的风味

### 2.3 美藤果油脂肪酸组成及含量(见表 3)

表 3 3 种方法制备的美藤果油脂肪酸组成及含量

脂肪酸	乙醚萃取	超临界 CO <sub>2</sub> 萃取	压榨
豆蔻酸(C14:0)	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.00
棕榈酸(C16:0)	3.53 ± 0.03	4.24 ± 0.02	3.00 ± 0.02
硬脂酸(C18:0)	2.43 ± 0.00	2.37 ± 0.02	3.55 ± 0.03
油酸(C18:1 $\omega$ -9)	7.05 ± 0.01	7.46 ± 0.04	8.85 ± 0.02
亚油酸(C18:2 $\omega$ -6)	37.48 ± 0.02	37.67 ± 0.04	38.56 ± 0.05
亚麻酸(C18:3 $\omega$ -3)	48.38 ± 0.09	46.92 ± 0.01	44.70 ± 0.04
花生一烯酸(C20:1)	0.37 ± 0.00	0.34 ± 0.01	0.52 ± 0.02
山嵛酸(C22:0)	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.12 ± 0.00
不饱和脂肪酸	93.28 ± 0.12	92.39 ± 0.10	92.63 ± 0.13

由表 3 可以看出,3 种方法制备得到的美藤果

油脂肪酸组成及含量差别不大,均以亚油酸

(37.48% ~ 38.56%)、亚麻酸(44.70% ~ 48.38%)为主,不饱和脂肪酸含量大于92%。美藤果油中亚油酸、亚麻酸含量较高,其中亚麻酸含量接近亚麻籽油。根据 Connor 等<sup>[13]</sup>的研究表明,当人体缺少 $\omega-3$ 型脂肪酸而增加 $\omega-6$ 型脂肪酸摄入时,会加剧 $\omega-3$ 脂肪酸的缺乏,所以应适当地保证膳食中 $\omega-6/\omega-3$ 型脂肪酸的摄入比例,美藤果油的 $\omega-6/\omega-3$ 的比例为(0.77 ~ 0.86):1。此外,美藤果油中还检测出少量的山萘酸(0.06% ~ 0.12%)、花生一烯酸(0.34% ~ 0.52%)。

#### 2.4 美藤果油甘三酯组成及含量的推测

根据1,3随机-2-随机反应理论对压榨美藤果油的甘三酯组成及含量进行推测,结果见表4。

表4 压榨美藤果油中甘三酯组成及含量的推测 %

甘三酯	含量	甘三酯	含量
$\beta$ -LLLn	17.51	$\beta$ -PLnL	1.07
$\beta$ -LnLLn	16.30	$\beta$ -POLn	0.79
$\beta$ -LLnLn	11.26	$\beta$ -OLnL	0.78
LnLnLn	10.49	$\beta$ -StLnL	0.74
LLL	4.70	$\beta$ -OOLn	0.58
$\beta$ -LOLn	4.45	$\beta$ -StOLn	0.54
$\beta$ -LnOLn	4.15	$\beta$ -POL	0.42
$\beta$ -PLLn	3.10	$\beta$ -OOL	0.31
$\beta$ -LLnL	3.02	$\beta$ -StOL	0.29
$\beta$ -OLLn	2.27	$\beta$ -PLO	0.22
$\beta$ -StLLn	2.14	$\beta$ -PLSt	0.20
$\beta$ -PLnLn	2.00	$\beta$ -PLP	0.15
$\beta$ -PLL	1.67	$\beta$ -StLO	0.15
$\beta$ -OLnLn	1.46	$\beta$ -PLnO	0.14
$\beta$ -StLnLn	1.37	$\beta$ -PLnSt	0.13
$\beta$ -OLL	1.22	$\beta$ -LaLLn	0.12
$\beta$ -LOL	1.20	$\beta$ -PLnP	0.10
$\beta$ -StLL	1.15	$\beta$ -StLnO	0.10

注:含量小于1%的甘三酯未列出;La、P、St、O、L、Ln分别代表月桂酸、棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸。

由表4可以看出,美藤果油中含有较多的甘三酯种类为 $\beta$ -LLLn(17.51%)、 $\beta$ -LnLLn(16.30%),二者占总含量的33.81%。此外,美藤果油中常见的甘三酯种类还有 $\beta$ -LLnLn(11.26%)、LnLnLn(10.49%)等,这和Fanali等<sup>[14]</sup>利用HPLC-MS测得产自秘鲁的美藤果油中甘三酯组成相类似。这些主要的甘三酯中都至少含有1个亚麻酸,同时大部分甘三酯组成都为不饱和脂肪酸,因此可以推断美藤果油的氧化稳定性较弱。经过实验室测定,3种提取方法得到的美藤果油在4℃条件下储藏4个月后,其过氧化值均高于10 mmol/kg,几乎为起始测

定值的3~4倍。

#### 2.5 美藤果油中甾醇组成及含量(见表5)

表5 3种方法制备的美藤果油中

甾醇	甾醇组成及含量			mg/100 g
	乙醚萃取	超临界CO <sub>2</sub> 萃取	压榨	
游离态甾醇				
菜油甾醇	26.47	21.05	7.09	
豆甾醇	49.78	48.83	60.43	
$\beta$ -谷甾醇	111.55	108.48	76.66	
谷甾醇	3.80	4.14	-	
酯态甾醇				
菜油甾醇酯	33.81	21.59	8.92	
豆甾醇酯	23.90	5.26	9.68	
$\beta$ -谷甾醇酯	110.53	110.17	87.44	
总甾醇	359.85	319.52	250.22	

由表5可以看出,美藤果油中总甾醇含量在250.22~359.85 mg/100 g之间,这和Jáuregui等<sup>[15]</sup>利用HPLC测定的结果相符合,高于常见的橄榄油、棕榈油、葵花籽油等<sup>[16]</sup>,表明美藤果油是一种比较优质的植物甾醇的食用来源。相对于压榨美藤果油,乙醚萃取和超临界CO<sub>2</sub>萃取得到的美藤果油中均检测出4种游离态甾醇以及3种酯态甾醇,且总甾醇含量均高于压榨美藤果油,其中乙醚萃取美藤果油中两态甾醇含量最高。压榨美藤果油中总甾醇含量比较低,是由于压榨美藤果油采用低温过滤工艺脱除胶体,在此过程中一部分游离态甾醇和酯态甾醇会随油温的降低而结晶,从而被过滤介质截留在胶体杂质中。此外,美藤果油中含量最高的是 $\beta$ -谷甾醇,这和Chasquibol等<sup>[17]</sup>测定压榨美藤果油中不皂化物的结果一致。乙醚萃取和超临界CO<sub>2</sub>萃取美藤果油中甾醇含量的差异,可能是由于超临界CO<sub>2</sub>流体和乙醚溶剂在体系中相对溶解度参数上的差异<sup>[18]</sup>。这和Oliveira等<sup>[19]</sup>利用超临界CO<sub>2</sub>萃取核桃油时的结果类似。

#### 2.6 美藤果油中生育酚组成及含量(见表6)

表6 3种方法制备的美藤果油中

生育酚	生育酚组成及含量			mg/100 g
	乙醚萃取	超临界CO <sub>2</sub> 萃取	压榨	
$\alpha$ -生育酚	0.17 ± 0.02	0.26 ± 0.01	0.52 ± 0.03	
$\gamma$ -生育酚	113.23 ± 0.62	125.17 ± 0.55	99.74 ± 0.47	
$\delta$ -生育酚	47.33 ± 0.09	48.27 ± 0.20	54.01 ± 0.16	
总生育酚	160.73 ± 0.73	173.70 ± 0.76	154.27 ± 0.66	

由表6可以看出,超临界CO<sub>2</sub>萃取美藤果油中总生育酚含量稍高于乙醚萃取美藤果油,而压榨美藤果油中总生育酚含量最低。美藤果油中总生育酚含量

在 154.27 ~ 173.70 mg/100 g, 高于亚麻籽油(精炼前后总生育酚含量分别为 57.0、29.3 mg/100 g)<sup>[20]</sup>, 低于张嘉怡等<sup>[5]</sup>测定的结果, 可能是由于美藤果产地、品种的差异造成的。美藤果油中生育酚主要以  $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚为主, 这和 Chirinos 等<sup>[8]</sup>研究结果一致。此外美藤果油中还含有少量的  $\alpha$ -生育酚。

### 3 结论

3 种方法制备的美藤果油的皂化值、碘值及脂肪酸组成和含量之间并无明显的差异, 均含有较高的不饱和脂肪酸, 以亚麻酸和亚油酸为主; 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取和乙醚萃取美藤果油中甾醇和生育酚的含量高于压榨美藤果油, 其中乙醚萃取美藤果油中游离态甾醇和酯态甾醇含量较高, 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取美藤果油中生育酚含量较高, 且以  $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚为主。此外超临界 CO<sub>2</sub> 萃取美藤果油中含磷量较低, 不需要经脱胶精炼处理。综上超临界 CO<sub>2</sub> 萃取美藤果油品质和压榨美藤果油相接近, 且含有较高的不皂化物, 因此超临界 CO<sub>2</sub> 萃取可以作为一种潜在直接提取美藤果油的方法。而考虑到溶剂残留及磷脂含量较高等问题, 溶剂回流美藤果油可能需要后续工艺处理, 因此溶剂回流更适用于压榨或者超临界提取后的饼粕的二次提取。

### 参考文献:

- [1] CAI Z Q. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants [J]. *Ind Crops Prod*, 2011, 34 (1): 1235 - 1237.
- [2] GUILLÉN M D, RUIZ A, CABO N, et al. Characterization of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and <sup>1</sup>H NMR. Comparison with linseed oil [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2003, 80 (8): 755 - 762.
- [3] GONZALEZ - ASPAJO G, BELKHELFA H, HADDIOUI - HBABI L, et al. Sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.), effect on adherence of *Staphylococcus aureus* to human skin explant and keratinocytes in vitro [J]. *J Ethnopharmacol*, 2015, 171: 330 - 334.
- [4] CHASQUIBOL N A, GÓMEZ - COCA R B, YÁCONO J C, et al. Markers of quality and genuineness of commercial extra virgin sachá inchi oils [J]. *Grasas Aceites*, 2016, 67 (4): 169.
- [5] 张嘉怡, 杜冰, 谢蓝华, 等. 绿色新资源食品——美藤果油 [J]. *中国油脂*, 2013, 38 (7): 1 - 4.
- [6] 吴俏瑾, 张嘉怡, 杜冰, 等. 适宜提取方法提高美藤果油提取率及油品质 [J]. *农业工程学报*, 2015 (21): 277 - 284.
- [7] 张和平, 赵鹏, 李涛, 等. 美藤果油氧化稳定性研究及其货架期预测 [J]. *昆明理工大学学报(自然科学版)*, 2016, 31 (1): 88 - 92.
- [8] CHIRINOS R, PEDRESCHI R, DOMÍNGUEZ G, et al. Comparison of the physico - chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species [J]. *Food Chem*, 2015, 173 (5): 1203 - 1206.
- [9] GONZALES G F, GONZALES C. A randomized, double - blind placebo - controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) in adult human subjects [J]. *Food Chem Toxicol*, 2014, 65: 168 - 176.
- [10] 郑淑敏, 马传国, 梁少华, 等. 玉米胚芽油中酯态甾醇和游离态甾醇的分析方法研究 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2015, 36 (5): 31 - 36.
- [11] 刘玉兰, 汪学德, 马传国. 油脂制取与加工工艺学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] 杨辉, 赵曼丽, 范亚苇, 等. 不同提取方法所得茶油的品质比较 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33 (11): 267 - 269.
- [13] CONNOR W E. Alpha - linolenic acid in health and disease [J]. *Am J Clin Nutr*, 1999, 69 (5): 827 - 828.
- [14] FANALI C, DUGO L, CACCIOLA F, et al. Chemical characterization of Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil [J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59 (24): 13043 - 13049.
- [15] JÁUREGUI A M M, URETA A O, CASTAÑEDA B C, et al. Estudio nutricional de *Plukenetia huayllabambana* sp. nov [J]. *Rev Soc Quim Peru*, 2013, 79 (1): 47 - 56.
- [16] NORMEN L, ELLEGARD L, BRANTS H, et al. A phyto - sterol database: fatty foods consumed in Sweden and the Netherlands [J]. *J Food Compos Anal*, 2007, 20 (4): 193 - 201.
- [17] CHASQUIBOL N A, DEL A C, YÁCONO J C, et al. Characterization of glyceridic and unsaponifiable compounds of Sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* L.) oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62 (41): 10162 - 10169.
- [18] 何曼君. 高分子物理 [M]. 3 版. 上海: 复旦大学出版社, 2009.
- [19] OLIVEIRA R, RODRIGUES M F, BERNARDOGIL M G. Characterization and supercritical carbon dioxide extraction of walnut oil [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2002, 79 (3): 225 - 230.
- [20] 王常青, 任海伟, 张国华. 亚麻籽油精炼过程中脂肪酸和 V<sub>E</sub> 的变化分析 [J]. *中国油脂*, 2008, 33 (3): 14 - 16.