

# 加工工艺对牡丹籽油脂肪酸成分、理化性质及抗氧化能力的影响

赵海军<sup>1</sup>, 魏芳<sup>2</sup>, 傅茂润<sup>2\*</sup>, 晁振<sup>1</sup>

(1. 山东省菏泽市牡丹研究所, 菏泽 274000; 2. 齐鲁工业大学(山东省科学院)食品科学与工程学院, 济南 250353)

**摘要:** **目的** 研究加工工艺对牡丹籽油的脂肪酸组成、理化性质及抗氧化特性的影响。**方法** 采用直接冷榨法、炒制+冷榨法和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术制取牡丹籽油, 以出油率、优质品质、脂肪酸组成和抗氧化能力为指标比较了不同工艺制备的牡丹籽油的品质。**结果** 直接冷榨的出油率(5.6%)远低于炒制+冷榨(8.3%)和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取(8.2%), 直接冷榨制备的油脂品质和活性成分及抗氧化活性与超临界 CO<sub>2</sub> 萃取无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 炒制+冷榨则会造成脂肪酸组成和抗氧化能力的较大差别 ( $P<0.05$ )。**结论** 冷榨可以较好地保留牡丹籽油的活性成分和品质。

**关键词:** 牡丹籽油; 提取方式; 抗氧化能力; 脂肪酸组成; 理化性质

## Effect of processing technology on fatty acid composition, quality index and antioxidant activity of peony seed oil

ZHAO Hai-Jun<sup>1</sup>, WEI Fang<sup>2</sup>, FU Mao-Run<sup>2\*</sup>, CHAO Zhen<sup>1</sup>

(1. Shandong Heze Peony Research Institute, Heze, 274000, China; 2. College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effects of processing techniques on the fatty acid composition, physicochemical properties and antioxidant properties of peony seed oil. **Methods** Peony seed oil was prepared by direct cold pressing, frying + cold pressing and supercritical CO<sub>2</sub> extraction. The quality of peony seed oil prepared by different processes was compared with oil yield, high quality, fatty acid composition and antioxidant capacity as indexes. **Results** The oil yield of direct cold pressing (5.6%) was much lower than the frying+cold pressing (8.3%) and supercritical CO<sub>2</sub> extraction (8.2%). There was no significant difference in oil quality, active ingredient and antioxidant activity between direct cold pressing and supercritical CO<sub>2</sub> extraction ( $P>0.05$ ). Frying+cold pressing resulted in a large difference in fatty acid composition and antioxidant capacity ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Active compounds and index can be well maintained by cold press extraction.

**KEY WORDS:** peony seed oil; extract method; antioxidant activity; fatty acid composition; physicochemical property

\*通讯作者: 傅茂润, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: skyfmr@163.com

\*Corresponding author: FU Mao-Run, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China. E-mail: skyfmr@163.com

## 1 引言

牡丹(*Peonia Suffruticosa* Andr.)作为原产中国的一种名贵花卉,属芍药科(Paeoniaceae)、芍药属(*Paeonia*)、牡丹组(*sect Moutan* DC)<sup>[1]</sup>。牡丹在全国各地均有种植,且种植面积高达 20 万亩,牡丹籽产量达到了 3 万吨/年<sup>[2]</sup>。而“凤丹”牡丹作为杨山牡丹(野生种)的变种<sup>[1]</sup>,也广泛种植于全国各地。传统上牡丹根皮常被采收用于药用,而对牡丹其他部位的研究较少。据资料显示,凤丹种子的产量高达 150~200 kg/亩,含油量能够达到 30%,并且富含有利于人体健康的亚麻酸(32.72%)、油酸(26.86%)和亚油酸(20.57%)等几种不饱和脂肪酸<sup>[2,3]</sup>,使得牡丹籽油在医药工业、保健食品、高级化妆品、润滑油等行业都有广泛应用。因此,牡丹籽油作为营养价值较高的新型木本油料资源,具有重要的开发利用价值,并且卫生部 2011 年第 9 号公告批准牡丹籽油作为新资源食品,这也为牡丹籽油的食用开发提供了法律基础。

食用油的制取方法主要包括压榨法、溶剂法和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法,传统热榨法虽然出油率较高,但容易使食用油的营养成分、活性物质和固有的香味丧失,目前,低温冷榨技术和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术已成为研究热点,并逐渐成为高端食用油的较佳选择。本研究主要比较了炒制+冷榨、低温液压冷榨法和超临界二氧化碳萃取 3 种技术对新资源牡丹籽油脂肪酸成分、品质和抗氧化能力的影响,以期为更好地开发利用牡丹资源提供技术和理论支持。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料、试剂与仪器

“凤丹白”种子于 2019 年采收自山东省菏泽市牡丹研究所,并将这些牡丹籽干燥、拣选后备用。

二甲基亚砜、乙醇、乙酸、异辛烷(分析纯,上海安谱实验科技股份有限公司); 1, 1-二苯基-2-三硝基苯基(1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、酚酞、三氯乙酸及硫酸亚铁(FeSO<sub>4</sub>)(上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)(分析纯,上海源叶生物科技有限公司)。

QYZ-40 型自动液压榨油机(山东省泰安市良君益友机械有限公司); 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取(海安华安超临界设备有限公司); 7890A/5975C 气相-质谱(美国 Agilent 科技公司); HH-6 数显水浴锅(江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司); V-1100D 紫外可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 材料处理

牡丹籽的处理: 制油之前采用 3 种方式处理牡丹籽。

炒制+冷榨: 先在炒锅中炒制 30 min, 再粉碎过 40 目

筛,采用 QYZ-40 型自动液压榨油机榨取 6 h, 推力 300 T, 压力 30 MPa。

直接冷榨: 先粉碎过 40 目筛, 后采用 QYZ-40 型自动液压榨油机榨取 6 h, 推力 300 T, 压力 30 MPa。

超临界 CO<sub>2</sub> 萃取: 萃取温度 40 °C, 萃取压力 30 MPa, 萃取时间 10 h, 气流速度 2 L/min。

#### 2.2.2 出油率的计算

出油率/%=提取的牡丹籽油重(g)/样品重(g)×100

#### 2.2.3 品质分析

参照《中国药典》<sup>[4]</sup>2010 版(二部)附录 VII“脂肪与脂肪油测定法”的方法对反映油脂品质的酸值、过氧化值、碘值和皂化值分别进行测定。

#### 2.2.4 脂肪酸成分分析

参照 Zhou 等<sup>[3]</sup>的方法对样品进行皂化和甲酯化处理, 采用气相色谱质谱法(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)法测定, 色谱条件: DB-1 弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm), 载气: 高纯氮气, 柱前压 47 kPa, 分流比 1:50, 进样口温度 250 °C, 接口温度 230 °C, 三阶程序升温程序如表 1 所示:

表 1 三阶程序升温程序  
Table 1 Third-order program heating program

	第一阶段	第二阶段	第三阶段
升温速度/(°C/min)	5	3	8
温度/°C	120	210	270

质谱条件: EI 离子源, 电子能量 70 eV, 电子倍增器 1.5 kV, 溶剂延迟 2 min, 扫描范围 33~500 amu, 进样量 1 μL, 全扫描方式。

#### 2.2.5 抗氧化能力分析

##### 1) DPPH 自由基清除能力的测定

参照 Wang 等<sup>[5]</sup>的方法, 以乙醇和二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO)为溶剂, 分别配制 1 mmol/L DPPH 和 100 mg/mL 牡丹籽油供试品的储备溶液, 并于 4 °C 冷藏, 备用。临用时, 用乙醇将 DPPH(1 mmol/L)稀释为 0.2 mmol/L, 并将牡丹籽油(100 mg/mL)稀释成浓度为 0、10、20 和 40 mg/mL 的供试溶液。精密量取一定体积的牡丹籽油供试溶液于试管中, 加等体积 DPPH 使用液, 混匀, 于 25 °C 水浴锅中遮光放置 30 min。同时用无水乙醇代替供试溶液进行空白对照实验。乙醇调零后, 于 517 nm 处测定吸光度值。各浓度供试溶液的 DPPH 自由基清除率(%)按 $[1-A_s/A_0] \times 100\%$ ( $A_s$ 、 $A_0$  分别为供试和空白对照反应体系的吸光度值)计算。

##### 2) 卵磷脂蛋白多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)过氧化体系中过氧化活性的测定

按照史国安等<sup>[6]</sup>的方法, 取新鲜的鸡蛋黄加等体积的无菌蒸馏水, 搅拌均匀制备蛋黄悬浮液。将含有 1.5 mL 磷

酸盐缓冲液(pH 7.0), 0.2 mL 蛋黄悬浮液, 0.1 mL 25 mmol/L  $\text{FeSO}_4$ , 0.1 mL  $\text{dH}_2\text{O}$  和 0.05 mL 牡丹籽油(100 mg/mL)的 2.0 mL 反应体系置于试管中, 混匀, 于 37 °C 水浴 60 min。水浴结束后, 加入 2.0 mL 含有 0.5% 硫代巴比妥酸(barbituric acid, TBA)和 20%三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)的混合溶液, 沸水浴 15 min, 迅速冷却, 于 3500 r/min 离心 5 min。同时用等量的提取介质代替试样按照上述实验步骤进行对照实验。以无水乙醇调零后, 于 532 nm 处测定对照和试样溶液的吸光值。按(样品管  $A_{532}$  - 对照管  $A_{532}$ )/对照管  $A_{532} \times 100\%$  计算牡丹籽油的过氧化率(%)。

### 2.2.6 数据分析

数据分析采用 SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, IL)。采用 ANOVA 程序对不同取油方式所得结果的差异性进行比较, 数值用平均值  $\pm$ SD 来表示。采用 Tukey's 分析平均值之间的显著性, 因素水平数  $P=0.05$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 出油率

牡丹籽油富含不饱和脂肪酸, 剧烈的加工方式可能会带来营养成分的损失, 低温冷榨和超临界  $\text{CO}_2$  萃取越来越多的出现在一些高价值植物油的提取中, 如油茶籽油<sup>[7]</sup>、亚麻籽油等<sup>[8]</sup>。本实验采用 3 种方式制取牡丹籽油, 直接冷榨的出油率较低, 为(5.6 $\pm$ 0.67)%, 超临界  $\text{CO}_2$  萃取方式的出油率为(8.2 $\pm$ 0.45)%, 与炒制+冷榨联合应用的出油率基本一致(8.3 $\pm$ 0.79)%。

### 3.2 品质分析

由表 2 可知不同取油方式对牡丹籽油理化性质的影响, 具体分析如下:

(1) 碘值通常可以用来判断油脂的不饱和程度。油脂的不饱和程度越大, 其碘值则越高; 反之, 则碘值越小。冷榨制得的牡丹籽油的碘值为 143.4 mg/100 g, 而超临界  $\text{CO}_2$  萃取的为 135.12 mg/100 g, 均小于炒制+冷榨处理的牡丹籽油(175.12 mg/100 g), 且有显著性差异( $P<0.05$ )。由此可以看出, 冷榨和超临界萃取有效地防止了牡丹籽油中脂肪酸的不饱和度。

(2) 皂化值一般可以反映组成油脂的各种脂肪酸的平均分子量, 因此可以用来推断油脂所含脂肪酸的碳链平均长度。在这个指标上, 冷榨, 炒制+冷榨, 超临界  $\text{CO}_2$  萃取 3 种制取方式所得的牡丹籽油的皂化值分别为 168.1, 169.5 和 174.4 mg/g, 并无显著性差异( $P>0.05$ )。

(3) 酸值(酸价)是衡量油品质量好坏、精炼程度的一项重要指标, 能够直接反映油脂中游离脂肪酸的含量多少。若游离脂肪酸过多的存在, 将导致油脂更易氧化且烟点降低, 影响油脂品质。根据 GB2716-2005 规定, 植物原

油的酸值应当小于或等于 4 mg KOH/g, 规定食用植物油酸值应当小于或等于 3 mg KOH/g。3 种制取方式所得的牡丹籽油的酸值顺序为: 超临界  $\text{CO}_2$  萃取(0.90 mg KOH/g)>冷榨(1.284 mg KOH/g)>炒制+冷榨(1.866 mg KOH/g), 相互间有显著性差异( $P<0.05$ ), 均符合国标中对于食用植物油脂的酸值规定。

(4) 过氧化值是油脂氧化过程中生成的过氧化物积累量的定量测定值, 是最广泛使用的评价油脂氧化程度的方法。本次实验初始测定结果表明, 冷榨, 炒制+冷榨, 超临界  $\text{CO}_2$  萃取 3 种制取方式所得的牡丹籽油的皂化值分别为 3.125, 6.019 和 2.966 mmol/kg, 冷榨和超临界  $\text{CO}_2$  萃取差别不大( $P<0.05$ ), 但均显著低于炒制+冷榨方式( $P>0.05$ ), 尽管均符合上市食用油脂的过氧化值限量(不得超过 10 mmol/kg)。

综上所述, 3 种制取方式中, 冷榨和超临界  $\text{CO}_2$  萃取差别很小, 各理化指标基本可以达到超临界  $\text{CO}_2$  萃取的水平, 而制油之前的热炒会对牡丹籽油的理化性质造成较大的影响。另外, 需要注意的是, 牡丹籽油的不饱和度比一般食用油脂高, 如花生油为 94.7 mg/100 g, 油茶籽油为 87.6 mg/100 g<sup>[8]</sup>, 而酸值和过氧化值则显著高于花生油(0.692 mg/g, 0.520 mmol/kg)、油茶籽油(0.155 mg/g, 0.293 mmol/kg)和玉米胚芽油(0.243 mg/g, 0.081 mmol/kg)<sup>[9]</sup>, 这表明牡丹籽油更加容易氧化酸败, 可见作为国家批准的新资源食品, 要作为大批量生产的食用油, 牡丹籽油的加工过程和储运方式应当进一步改善, 包括榨取方式、精炼工艺以及流通环节, 如保存、运输、销售等环节的研究还需进一步加深。

表 2 不同取油方式牡丹籽油的品质( $n=3$ )  
Table 2 The oil quality of peony seed oil using different extraction ways ( $n=3$ )

取油方式	冷榨	炒制+冷榨	超临界 $\text{CO}_2$ 萃取
碘值/(mg/100 g)	143.4 $\pm$ 6.89a	175.12 $\pm$ 7.88b	135.12 $\pm$ 4.36a
皂化值/(mg/g)	168.1 $\pm$ 9.78a	169.5 $\pm$ 6.30a	174.4 $\pm$ 7.59a
酸值/(KOH, mg/g)	1.284 $\pm$ 0.091a	1.866 $\pm$ 0.112b	0.90 $\pm$ 0.056c
过氧化值/(mmol/kg)	3.125 $\pm$ 0.087a	6.019 $\pm$ 0.118b	2.966 $\pm$ 0.147a

注: 同行的不同字母代表有显著差异( $P<0.05$ )。

### 3.3 脂肪酸成分

富含不饱和脂肪酸是牡丹籽油的一大特征<sup>[2,3]</sup>。由表 3 可以看出, 3 种取油方式中的主要脂肪酸种类没有很大的变化, 其中炒制+冷榨制取的油脂脂肪酸组成中不饱和脂肪酸总量为 80.55%, 低于冷榨的 91.24%, 超临界  $\text{CO}_2$  萃取

的 92.12%，这说明炒制过程对牡丹籽油不饱和脂肪酸有较大的负面影响。

表 3 不同取油方式对牡丹籽油脂肪酸组成的影响/( $n=3$ )  
Table 3 The fatty acid composition of peony seed oil using different extraction ways/( $n=3$ )

取油方式	冷榨	炒制+冷榨	超临界 CO <sub>2</sub> 萃取
棕榈酸	6.48±0.10a	9.23±0.45b	5.54±0.38c
硬脂酸	1.21±0.06a	2.02±0.07b	1.12±0.11a
油酸	24.09±1.24a	22.23±1.15b	22.53±1.66b
亚油酸	27.36±0.68a	22.54±1.66b	28.90±2.20a
亚麻酸	39.79±2.99a	35.78±2.71b	40.69±4.15a
不饱和脂肪酸总量	91.24±3.87a	80.55±3.54b	92.12±5.11a

注: 同行的不同字母代表有显著差异( $P<0.05$ )。

### 3.4 抗氧化能力

#### 3.4.1 牡丹籽油对 DPPH 自由基的清除能力

本研究不仅测定了 3 种不同工艺制备得到的牡丹籽油试样对 DPPH 自由基清除作用的量效关系, 还与维生素 C(VC)这种经典的抗氧化剂进行对比, 结果见图 1。

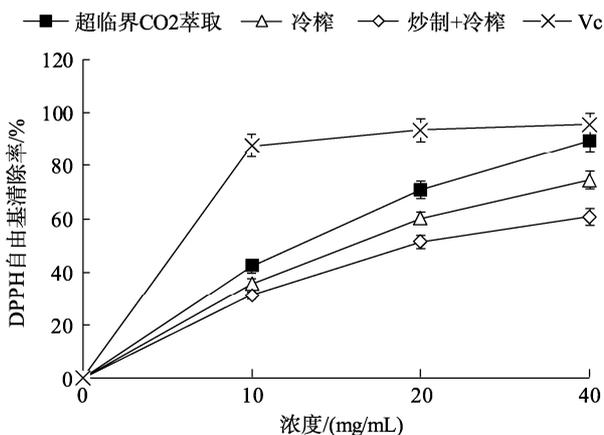


图 1 不同提油方式对清除 DPPH 自由基量效关系的影响( $n=3$ )  
Fig.1 Effect of different extraction ways on dose-effect relationship scavenging DPPH free radical ( $n=3$ )

由图 1 可以看出, 随着牡丹籽油量的增加, DPPH 自由基清除能力越来越强, 在浓度为 40 mg/mL 时, 阳性对照 VC、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取、冷榨、炒制+冷榨制取方式的 DPPH 自由基清除率分别为 95.68%、89.32%、74.55% 和 60.82%。

#### 3.4.2 Fe<sup>2+</sup>诱导的蛋黄过氧化体系中的过氧化能力

在 Fe<sup>2+</sup>诱导的蛋黄过氧化体系中, 3 种取油方式制备的牡丹籽油的过氧化能力不同(表 4)。以油酸为阳性对照, 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的过氧化率最低, 为 10.88%, 冷榨的其次,

为 21.29%, 而炒制+冷榨的最高, 达到 40.46%, 超过阳性对照油酸的 33.64%。油酸属单不饱和脂肪酸, 只含有一个双键, 因此, 清除丙二醛的能力较低。炒制+冷榨的过氧化率高于油酸, 可能是因为反应体系中的 Fe<sup>2+</sup>除了诱导蛋黄中卵磷脂的过氧化反应外, 还诱导了牡丹籽油中不饱和脂肪酸的过氧化, 从而导致了丙二醛的增加, 使过氧化率升高; 超临界萃取和冷榨的过氧化率较低, 说明这两种取油方法能够更好的保护牡丹籽油的抗氧化成分, 对蛋黄和油样中不饱和脂肪酸的过氧化起到了一定的抑制作用。

表 4 不同取油方式对 Fe<sup>2+</sup>诱导的蛋黄过氧化体系中的过氧化能力的影响( $n=3$ )  
Table 4 Effects of different extraction ways on peroxidation capacity in the yolk peroxidation system induced by Fe<sup>2+</sup> ( $n=3$ )

取油方式	空白组	冷榨	炒制+冷榨	超临界 CO <sub>2</sub> 萃取	油酸
A <sub>532</sub>	1.085±0.06	1.316±0.12	1.524±0.11	1.203±0.07	1.450±0.09
过氧化率/%	0	21.29	40.46	10.88	33.64

综合这 2 个抗氧化测定指标可以发现, 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取和冷榨获得的牡丹籽油具有较好的抗氧化能力, 表明超临界 CO<sub>2</sub> 萃取和冷榨较好地保存了牡丹籽油中的抗氧化成分。

## 4 讨论与结论

油脂提取所采用的工艺直接影响生产成本和成品油的品质, 冷榨法作为一种相对溶剂浸提法更为安全的提油工艺, 越来越受到国内外研究者的重视, 低温冷榨技术已在茶叶籽<sup>[10]</sup>、火麻仁<sup>[11]</sup>、葡萄籽<sup>[12]</sup>、小麦胚芽<sup>[13]</sup>油脂的提取中得到了广泛研究和部分应用, 最大限度地保留了油脂中的生物活性物质。尽管超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术具有品质好、出油率较高、省去精炼环节等优点, 但因设备成本和使用成本较高的原因, 一直未有工业化的推广。

由本研究的试验结果可知, 低温液压快速冷榨法获得的牡丹籽油在理化性质、脂肪酸组成和抗氧化性上与超临界萃取法获取的牡丹籽油差别很小, 大幅优于炒制+冷榨油的品质, 这表明冷榨法在牡丹籽油的制取中具有良好的可行性, 但最大的缺陷是出油率较低。冷榨工艺由于其低出油率的限制, 始终难以得到广泛的应用, 市场上的冷榨油售价普遍较高, 以一种高端油产品的形象出现, 这体现了对其进一步研究的价值。那么主要应该解决的冷榨瓶颈工艺问题即如何提高其出油率, 降低生产成本<sup>[14]</sup>。酶法结合冷榨可能是提升冷榨出油率的有效途径, 解决这一问题, 冷榨工艺将兼具各种提油方法的优点, 并克服自身缺点, 成为较为理想的提油工艺方法<sup>[15]</sup>。

牡丹籽油与花生油和油茶籽油相比, 具有较高的酸

值、过氧化值及不饱和度, 这为牡丹籽油的大批量生产和销售均带来了困难。因此, 如何有效避免加工、贮存、流通和销售环节的氧化酸败是下一步研究的主要方向。

本文采用直接冷榨法、炒制+冷榨法和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术制取牡丹籽油, 比较了上述 3 种不同工艺制备所得牡丹籽油的出油率、理化性质、脂肪酸组成和抗氧化能力之间的差异, 结果发现: 直接冷榨与超临界 CO<sub>2</sub> 萃取制备得到的牡丹籽油均具有较好的品质, 而传统的炒制工艺则会造成有效物质和生理活性的较大损失, 这为冷榨技术在牡丹籽油制取中的应用提供了一定的理论指导。

## 参考文献

- [1] 洪德元, 潘开玉. 芍药属牡丹组的分类历史和分类处理[J]. 植物分类学报, 1999, 37(4): 351-368.  
Hong DY, Pan KY. Taxonomical history and revision of *Paeoniasect. Moutan* (*Paeoniaceae*) [J]. Acta Phytotaxonomica Sin, 1999, 37(4): 351-368.
- [2] 戚军超, 周海梅, 马锦琦, 等. 牡丹籽油化学成分 GC-MS 分析[J]. 粮食与油脂, 2005, 11, 22-23.  
Qi JC, Zhou HM, Ma JQ, et al. Analysis of the chemical constituents in peony seed oil by GC-MS [J]. J Cere Oils, 2005, (11): 22-23.
- [3] Zhou HM, Ma JQ, Miao CY, et al. Physicochemical indexes and fatty acid composition of peony seed oil [J]. China Oil Fats, 2009, 34(7): 72-74.
- [4] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社.  
National Pharmacopoeia Commission. Chinese Pharmacopoeia [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press.
- [5] Wang KT, Chen LG, Chou DS et al. Anti-oxidative abilities of essential oils from *Atractylodes ovata* rhizome [J]. Evidence-Based Complem Alternat Med, 2011.
- [6] 史国安, 郭香凤, 金宝磊, 等. 牡丹籽油超临界 CO<sub>2</sub> 萃取工艺优化及抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(4): 47-50.  
Shi GA, Guo XF, Jin BL, et al. Optimization of supercritical CO<sub>2</sub> extraction and analysis of antioxidation activity of peony seed oil [J]. J Chin Cere Oils, 2013, 28(4): 47-50.
- [7] 姜建国, 吴群, 山长柱, 等. 油茶籽低温冷榨制油工艺实践[J]. 粮食与食品工业, 2008, 15(4): 17-18.  
Jiang JG, Wu Q, Shan CZ, et al. Practice of technics of squeezing oil from *camellia oleifera* seed by low temperature squeeze [J]. Cere Food Ind, 2008, 15(4): 17-18.
- [8] 孙益民, 陈海娟, 张晓, 等. 超临界二氧化碳萃取亚麻籽油工艺的可视化分析[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(4): 533-538.  
Sun YM, Chen HJ, Zhang X, et al. Visual analysis of supercritical carbon dioxide extraction process for linseed oil [J]. Nat Prod Res Dev, 2013,

25(4): 533-538.

- [9] 高婷婷. 牡丹籽油成分分析及储藏条件研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.  
Gao TT. Analysis of peony seed oil composition and storage conditions research [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [10] 项文生. 茶叶籽低温压榨专用设备的研究及应用[J]. 农业装备技术, 2012, 38(5): 10-11.  
Xiang WS. Research and application of special equipment for low temperature pressing of tea seed [J]. Agric Equip Technol, 2012, 38(5): 10-11.
- [11] 周鸿翔, 黄小煊, 王广莉, 等. 响应面法优化火麻仁油冷榨提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 67-72.  
Zhou HX, Huang XH, Wang GL, et al. Optimization of cold-pressed extraction process for hemp seed oil by response surface methodology [J]. Food Sci, 2012, 33(18): 67-72.
- [12] 柴佳, 王华, 杨继红, 等. 油料冷榨在葡萄籽加工中的应用前景[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(12): 224-227.  
Chai J, Wang H, Yang JH, et al. Application prospect of cold pressing in grape seeds oil extraction [J]. Food Res Dev, 2012, 33(12): 224-227.
- [13] 王世让, 刘春雷, 齐颖, 等. 冷榨法制取小麦胚芽油及其功效的研究[J]. 食品工业, 2010, 31(3): 31-33.  
Wang SR, Liu CL, Qi Y, et al. Study on the production of wheat germ oil through cold-pressing method and its efficiency [J]. Food Ind, 2010, 31(3): 31-33.
- [14] 蔺建学, 徐速, 江连洲. 油料作物制油工艺现状与冷榨制油的研究进展[J]. 大豆科技, 2013, (1): 29-35.  
Lin JX, Xu S, Jiang LZ. Current status of the oil extraction and research progress of cold pressing in oil crops [J]. Soybean Sci Technol, 2013, (1): 29-35.
- [15] 张岩春, 于国萍. 酶法有机溶剂萃取大豆油的综述[J]. 粮油食品科技, 2004, (3): 31-32.  
Zhang YC, Yu GP. Summarization on the soybean oil extraction technology after aqueous enzymatic hydrolysis [J]. Sci Technol Cere, 2004, (3): 31-32.

(责任编辑: 陈雨薇)

## 作者简介

傅茂润, 主要研究方向为果蔬采后生物学及品质保持。

E-mail: skyfmr@163.com