

# 元宝枫果实成熟过程中出油率及脂肪酸成分变化

代彦满<sup>1\*</sup>, 王瑶<sup>2</sup>, 牛立新<sup>2</sup>

(1. 三门峡职业技术学院食品园林学院, 三门峡 472000; 2. 西北农林科技大学风景园林艺术学院, 杨凌 712100)

**摘要: 目的** 研究元宝枫果实成熟过程中果实出仁率、种仁出油率、种仁中总脂肪酸含量及各脂肪酸含量。**方法** 采用超临界CO<sub>2</sub>萃取法提取元宝枫油, 使用气相色谱-质谱联用分析元宝枫果实成熟过程中油脂含量、脂肪酸变化规律。**结果** 元宝枫果实出仁率、种仁出油率、总脂肪酸含量均在10月底达到最大值, 出油率及总脂肪酸含量在11月份时有略微下降。元宝枫果实成熟过程中种仁中共检测出17种脂肪酸, 总饱和脂肪酸含量在果实成熟过程中逐渐下降后保持稳定, 而总不饱和脂肪酸含量为逐渐上升后保持稳定。**结论** 各脂肪酸变化规律不同, 在累积过程中彼此之间表现出一定的相关性。

**关键词:** 元宝枫; 出油率; 脂肪酸

## Changes of oil yield and fatty acid composition of *Acer truncatum* Bunge fruit during ripening

DAI Yan-Man<sup>1\*</sup>, WANG Yao<sup>2</sup>, NIU Li-Xin<sup>2</sup>

(1. Food and Landscape Architecture, Sanmenxia Polytechnic, Sanmenxia 472000, China;  
2. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the fruit kernel rate, kernel oil rate, total fatty acid content and fatty acid content of *Acer truncatum* Bunge during fruit ripening. **Methods** The oil of *Acer truncatum* Bunge was extracted by supercritical CO<sub>2</sub> extraction, and the changes of oil content and fatty acid content during the fruit maturation of *Acer truncatum* Bunge were analyzed using gas chromatography-mass spectrometry. **Results** The kernel yield, kernel oil yield and total fatty acid content of *Acer truncatum* Bunge reached their maximum at the end of October, while the oil yield and total fatty acid content decreased slightly in November. A total of 17 fatty acids were detected in the kernel during fruit maturation of *Acer truncatum* Bunge. The content of total saturated fatty acids decreased gradually during fruit maturation and then remained stable, while that of total unsaturated fatty acids increased gradually and then remained stable. **Conclusion** The changes of fatty acids are different, and there is a certain correlation between them in the process of accumulation.

**KEY WORDS:** *Acer truncatum* Bunge; oil content; fatty acid

## 0 引言

元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)是槭树科(Aceraceae)槭树属(*Acer*)植物, 是我国特有的木本油料树种<sup>[1]</sup>。元宝枫种

仁中脂肪含量可达48%左右, 蛋白质、维生素E等含量丰富, 具有很高的营养价值<sup>[1]</sup>。元宝枫籽油中不饱和脂肪酸占总脂肪酸的90%以上, 其中油酸和亚油酸占总脂肪酸的60%以上, 并含有特殊的功能性脂肪酸-神经酸, 它是科学

\*通信作者: 代彦满, 硕士, 副教授, 主要研究方向为园林植物应用。E-mail: 290348351@qq.com

\*Corresponding author: DAI Yan-Man, Master, Associate Professor, Sanmenxia Polytechnic, 42 Xiaoshan West Road, Sanmenxia City, Henan Province 472000, China. E-mail: 290348351@qq.com

家公认的能修复疏通受损大脑神经纤维,促进神经细胞再生的物质,对于多种疾病的预防和治疗具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。

2011年3月,中华人民共和国卫生部第9号文件批准元宝枫籽油为新资源食品,使其成为我国重要木本油料资源<sup>[3]</sup>。随着元宝枫产业的发展和人们对元宝枫籽油保健作用认识的增强,元宝枫籽油的需求量逐年上升<sup>[4]</sup>。而元宝枫油脂含量、脂肪酸组成及油脂抗氧化作用是决定其品质的重要指标。目前的研究主要集中在已成熟元宝枫种籽含油量、脂肪酸组成及提取工艺等方面,如赵文华等<sup>[5]</sup>检测出元宝枫果翅中含有槲皮素、山奈酚和异鼠李素,杜振国<sup>[6]</sup>从元宝枫翅果中检测出总多酚、黄酮类化合物、单宁类化合物、多糖类化合物的含量,张玉伟等<sup>[7]</sup>在元宝枫种仁中分离鉴定出11种天然酚类物质。但对元宝枫果实成熟过程中油脂含量、脂肪酸组成变化规律研究较少。本研究在前人研究的基础上,对元宝枫果实成熟过程中油脂含量、脂肪酸变化规律进行研究,以期元宝枫的品质育种及适时采收提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

元宝枫果实于8月31日、9月10日、9月20日、9月30日、10月10日、10月20日、10月30日、11月8日采收,采后将果实放置烘箱中45℃烘干至恒重保存备用。

### 1.2 仪器与试剂

SFE-2型超临界CO<sub>2</sub>萃取仪(美国应用分离公司);GC7890A/MS5975C气相色谱-质谱联用仪(美国Agilent公司);SP-Max2300AZ光吸收型全波长酶标仪(上海闪谱生物科技有限公司)。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate), ABTS]、脂肪酸标准品(色谱纯,美国Sigma公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 元宝枫油的提取

采用超临界CO<sub>2</sub>萃取法提取元宝枫油<sup>[4]</sup>。将烘干至恒重的元宝枫种仁粉碎过60目筛,称取5g种仁粉末放入萃取釜内,设置压力40MPa、萃取温度45℃、CO<sub>2</sub>流量20L/h、静态萃取0.5h、动态萃取2h,收集萃取出的油状物,低温避光保存备用。

#### 1.3.2 脂肪酸成分测定

油脂提取及脂肪酸甲酯的制备参照ZHANG等<sup>[8]</sup>的方法,即脂肪酸组成采用气相色谱-质谱联用仪进行测定,通过预处理、分离、纯化的方法及检测用的色谱柱、流动相

及检测器检测。色谱质谱条件如下:

气相色谱条件 谱柱:SP<sup>TM</sup>-2560(100 m×0.25 mm, 0.2 μm)毛细管柱;载气:高纯氦气(99.999%),进样口温度:250℃;柱温箱升温程序:90℃保持0 min,以10℃/min的速率升至170℃,保持5 min,再以5℃/min的速率升至175℃,保持0 min,再以1℃/min的速率升至210℃,保持5 min,最后以5℃/min的速率升至240℃,停留20 min;进样量:1 μL;进样方式:20:1分流进样;总流量:28.2 mL/min,GC/MS接口温度:250℃。

质谱条件 传输线温度:280℃;离子源温度:230℃;四级杆温度:150℃;电离电压:70 eV;扫描范围  $m/z$ : 30~450 aum。

## 2 结果与分析

### 2.1 元宝枫果实成熟过程中果实出仁率及种仁出油率的变化

从8月31日至9月30日干态果实出仁率从16.71%增加至40.71%,呈线性增加,之后果实出仁率增加较慢直至不变,10月20日之后果实出仁率保持在40%左右,不再显著变化,这个时期元宝枫干态果实出仁率增长线性方程为 $Y=4.6791X+13.581(r^2=0.9693)$ 。从8月31日至9月20日种仁出油率增加较快,从36.13%增至45.39%,之后种仁出油率增加较慢,10月30日达到最大值48.12%,之后出油率有略微下降。综合来看,元宝枫果实成熟过程中出油率最大值出现在10月底,11月时出油率会有略微下降,李艳菊等<sup>[9]</sup>也曾对元宝枫果实油脂含量和累积规律进行研究,发现油脂最大产量出现在10月底,11月份有所下降,刘绍等<sup>[10]</sup>对凤丹种子成熟过程中油脂含量进行研究发现,种子含油率在达到最大值之后也会有略微下降,与本研究结果一致。而造成后期元宝枫果实油脂含量下降的原因可能是进入11月份后,叶片大量变黄掉落,翅果也由绿色变为黄色,光合能力下降,呼吸作用或者物质转化消耗部分油脂。

### 2.2 元宝枫果实成熟过程中种仁总脂肪酸含量的变化

元宝枫果实成熟过程中种仁中总脂肪酸含量的变化呈S型模式,从8月31日至9月20日总脂肪酸含量增加缓慢,9月20日后进入快速增长期,10月10日左右总脂肪酸含量达到330.95 mg/g,之后有所下降,在10月底时总脂肪酸含量达到峰值333.74 mg/g,进入11月份后,脂肪酸总量下降到298.66 mg/g,因此元宝枫果实成熟过程中脂肪酸总量最大值出现在10月底,这种总脂肪酸含量积累模式与花生、芝麻等积累模式类似<sup>[11-12]</sup>,都是脂肪酸总量升到最大值后有所下降,这可能是由于植物到成熟后期,光合作用减弱,而植物完全成熟时蛋白质等物质

的合成会消耗油脂。

元宝枫翅果成熟过程中共检测到 17 种脂肪酸, 可分为饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸, 饱和脂肪酸在翅果成熟过程中的含量为 10.13%~11.96%, 单不饱和脂肪酸的含量为 48.30%~50.2%, 多不饱和脂肪酸的含量为 39.16%~41.49%。饱和脂肪酸含量在翅果成熟过程中逐渐下降后保持稳定, 而不饱和脂肪酸含量为逐渐上升后保持稳定。

### 2.3 元宝枫果实成熟过程中种仁中脂肪酸组分及含量的变化

元宝枫果实成熟过程中种仁中 17 种脂肪酸中含量较高的脂肪酸包括棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、二十碳烯酸、芥酸和神经酸, 含量小于 1% 的脂肪酸包括肉豆蔻酸、肉豆蔻油酸、棕榈油酸、花生酸、二十碳二烯酸、二十碳三烯酸、山嵛酸、花生四烯酸和木焦油酸。王性炎<sup>[1]</sup>在元宝枫种仁中共检测出 12 种脂肪酸,

刘祥义等<sup>[13]</sup>在云南元宝枫种仁中共检测出 12 种脂肪酸成分, 魏明等<sup>[14]</sup>在绵阳元宝枫种仁中共检测出 16 种脂肪酸成分, 李娟娟等<sup>[15]</sup>在元宝枫种仁中共检测出 12 种脂肪酸, 均低于本研究中在元宝枫种仁中检测出的脂肪酸种类, 而导致此现象的原因可能是植株间存在个体差异。元宝枫果实成熟过程中各脂肪酸组分变化规律则不相同(如图 1), 亚油酸含量是先上升后下降再上升后趋于不变, 而油酸变化规律却与其相反, 属于先下降后上升再下降后趋于不变, 棕榈酸含量一直在下降, 10 月底时达到最低, 二十碳烯酸的含量相对稳定, 特殊性脂肪酸神经酸含量 8 月 31 日时仅有 2.95%, 10 月底时含量达到最大值 3.84%, 11 月时含量有略微下降, 芥酸的变化规律与其相似。微量脂肪酸中, 二十碳二烯酸、二十碳三烯酸及山嵛酸变化规律相似, 含量均先上升, 在 10 月下旬达到最大值, 11 月份时有略微下降; 而肉豆蔻酸、肉豆蔻油酸、棕榈油酸、花生酸、花生四烯酸及木焦油酸含量相对稳定。

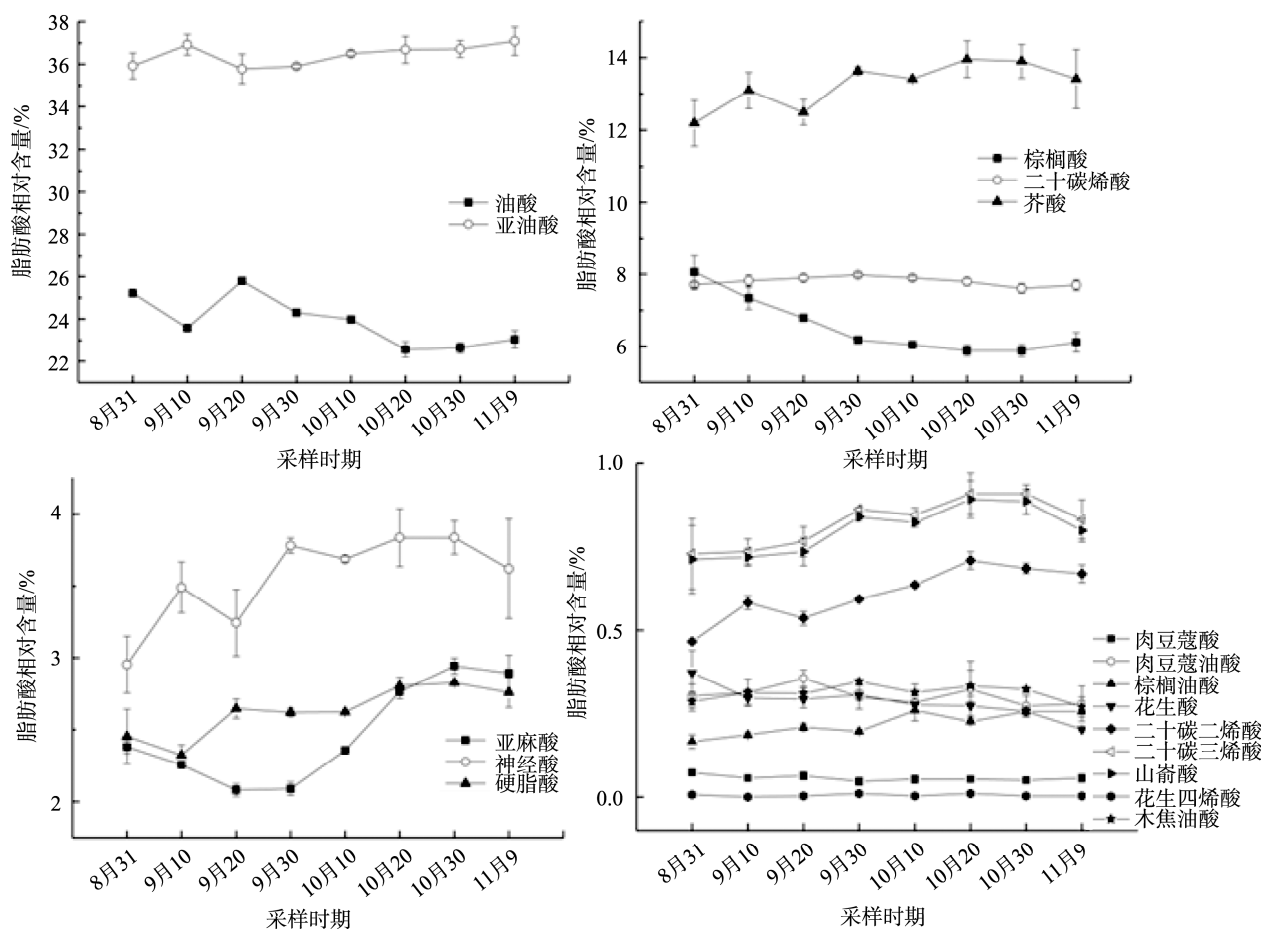


图 1 元宝枫果实成熟过程中种仁中脂肪酸组分及含量的变化

Fig.1 Changes of fatty acid composition and content during the ripening process of *Acer truncatum* Bunge fruit

## 2.4 元宝枫果实成熟过程中种仁中各脂肪酸相关性分析

为了解元宝枫果实成熟过程中种仁中脂肪酸各组分的变化规律,本研究对脂肪酸间的相关性进行了分析(如表 1),棕榈酸与硬脂酸呈显著负相关,与芥酸、神经酸呈极显著负相关;油酸与亚麻酸、神经酸呈显著负相关,与亚油酸、芥酸呈极显著负相关;亚油酸与亚麻酸呈显著正相关;亚麻酸与二十碳烯酸呈显著负相关;芥酸与神经酸呈极显著正相关。赵翠格<sup>[16]</sup>对文冠果种子发育过程中脂肪酸相关性分析发现,棕榈酸与芥酸、神经

酸呈极显著负相关,油酸与亚油酸呈极显著负相关,芥酸与神经酸之间呈显著正相关,与本研究结果一致。油酸和亚油酸是元宝枫种仁中最主要的脂肪酸,二者呈极显著负相关,油菜、文冠果中油酸与亚油酸也呈极显著负相关<sup>[16]</sup>,而在芝麻和花生中二者却呈极显著正相关<sup>[17]</sup>,说明不同植物中油酸与亚油酸的积累模式是不同的。有关油茶籽、牡丹籽等油脂生物合成及相关脂肪酸合成途径的分子机制已有报道<sup>[18]</sup>,而元宝枫油脂生物合成尤其是神经酸合成的分子机制尚不清楚,需要我们进一步去探索研究。

表 1 元宝枫果实成熟过程中种仁中各脂肪酸相关性  
Table 1 Fatty acid correlation coefficient during the ripening process of *Acer truncatum* Bunge fruit

脂肪酸组分	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	二十碳烯酸	芥酸	神经酸
棕榈酸	1							
硬脂酸	-0.826*	1						
油酸	0.624	-0.488	1					
亚油酸	-0.369	0.198	-0.851**	1				
亚麻酸	-0.460	0.656	-0.801*	0.711*	1			
二十碳烯酸	-0.061	-0.280	0.461	-0.494	-0.820*	1		
芥酸	-0.875**	0.632	-0.858**	0.551	0.542	-0.068	1	
神经酸	-0.906**	0.603	-0.787*	0.509	0.432	0.058	0.985**	1

注: \*表示 0.05 级别(双尾)相关性显著, \*\*表示 0.01 级别(双尾)相关性显著。

## 3 结 论

元宝枫果实成熟过程中种仁出油率、总脂肪酸含量、神经酸含量均在 10 月底达到最大值,综合各方面来看,元宝枫果实的最佳采收时期在 10 月底,11 月元宝枫果实品质已有所下降。

元宝枫果实成熟过程中:亚油酸含量是先上升后下降再上升后趋于不变,油酸变化规律先下降后上升再下降后趋于不变,棕榈酸含量一直在下降到 10 月底时达到最低,二十碳烯酸的含量相对稳定,特殊性脂肪酸神经酸含量 8 月 31 日时仅有 2.95%,10 月底时含量达到最大值 3.84%,11 月时含量有略微下降,芥酸的变化规律与神经酸相似。微量脂肪酸中,二十碳二烯酸、二十碳三烯酸及山萘酸变化规律相似,含量均先上升,在 10 月下旬达到最大值,11 月份时有略微下降;而肉豆蔻酸、肉豆蔻油酸、棕榈油酸、花生酸、花生四烯酸及木焦油酸含量相对稳定。

元宝枫果实成熟过程中种仁中脂肪酸间的相关性与其他油料植物的种子发育过程中脂肪酸相关性分析进行了比较,发现不同植物中各脂肪酸的积累模式是不同的。目前元宝枫油脂生物合成的分子机制还没有相关研究,可以

借鉴核桃、文冠果等植物油脂合成规律及内在的分子调控机制,进一步研究元宝枫果实成熟过程中油脂合成的生化过程。

## 参考文献

- 王性炎. 中国元宝枫[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2013.  
WANG XY. *Acer truncatum* Bunge [M]. Yangling: Northwest A & F University Press, 2013.
- 王性炎, 王姝清. 新资源食品-元宝枫籽油[J]. 中国油脂, 2011, 36(9): 56-59.  
WANG XY, WANG SQ. New resource food *Acer truncatum* seed oil [J]. China Oils Fats, 2011, 36(9): 56-59.
- 卫生部. 关于批准元宝枫籽油和牡丹籽油作为新资源食品的公告[Z]. 2011.  
Ministry of Health. Announcement on approval of *Acer truncatum* seed oil and peony seed oil as new resource food [Z]. 2011.
- 胡鹏. 元宝枫油的提取及其功能特性研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.  
HU P. Extraction and functional properties of *Acer truncatum* oil [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2017.
- 赵文华, 宋晓红, 李珺, 等. 不同季节元宝枫叶中的三种黄酮苷元的含量测定[J]. 中成药, 2005, (5): 574-577.  
ZHAO WH, SONG XH, LI J, et al. Determination of three kinds of

- flavonoid aglycones in the leaves of *Acer truncatum*-bunge by RP2HPLC [J]. Chin Tradit Pat Med, 2005, (5): 574-577.
- [6] 杜振国. 元宝枫翅果提取物生物活性的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016.
- DU ZG. Study on the biological activity of the extract from the samara samara [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016.
- [7] 张玉伟, 李珊珊, 宋明杰, 等. 元宝枫种仁70%乙醇提取物的化学成分分析[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 137-143.
- ZHANG YW, LI SS, SONG MJ, *et al.* Chemical constituents of 70% EtOH extract from the kernel of *Acer truncatum* Bunge [J]. Food Sci, 2017, 38(24): 137-143.
- [8] ZHANG Q, YU R, XIE L, *et al.* Fatty acid and associated gene expression analyses of three tree peony species reveal key genes for  $\alpha$ -Linolenic acid synthesis in seeds [J]. Front Plant Sci, 2018, 9: 106.
- [9] 李艳菊, 王姝清, 贾彩霞. 元宝枫翅果油脂含量及积累规律研究[J]. 西北林学院学报, 1997, (1): 49-53.
- LI YJ, WANG SQ, JIA CX. Study on oil content and accumulation rule of *Acer truncatum* [J]. J Northwest For Univ, 1997, (1): 49-53.
- [10] 刘焯, 韩继刚, 李晓青, 等. '凤丹'种子成熟过程中脂肪酸的累积规律[J]. 经济林研究, 2015, 33(4): 75-80.
- LIU Z, HAN JG, LI XQ, *et al.* Accumulation of fatty acids during seed maturation of 'Fengdan' [J]. Non-wood For Res, 2015, 33(4): 75-80.
- [11] 李晓丹, 曹应龙, 胡亚平, 等. 花生种子发育过程中脂肪酸积累模式研究[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(2): 157-162.
- LI XD, CAO YL, HU YP, *et al.* Accumulation pattern of fatty acids during peanut seed development [J]. Chin J Oil Crop Sci, 2009, 31(2): 157-162.
- [12] 李晓丹, 肖玲, 吴刚, 等. 芝麻种子发育过程中脂肪酸积累模式的研究[J]. 中国油料作物学报, 2008, (1): 84-89.
- LI XD, XIAO L, WU G, *et al.* Study on accumulation pattern of fatty acids during sesame seed development [J]. Chin J Oil Crop Sci, 2008, (1): 84-89.
- [13] 刘祥义, 付惠, 陈玉惠. 元宝枫油理化特性及脂肪酸组成研究[J]. 中国油脂, 2003, 28(3): 66-67.
- LIU XY, FU H, CHEN YH. Physicochemical properties and fatty acid composition of *Acer truncatum* oil [J]. China Oils Fats, 2003, 28(3): 66-67.
- [14] 魏明, 廖成华. 绵阳元宝枫种仁油脂成分分析研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 127-128.
- WEI M, LIAO CH. Study on oil composition of *Acer truncatum* seed kernel in Mianyang [J]. J Food Ind Technol, 2011, 32(2): 127-128.
- [15] 李娟娟, 樊金拴, 魏伊楚, 等. 几种槭属植物的油脂营养成分分析[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(5): 55-59.
- LI JJ, FAN JS, WEI YC, *et al.* Analysis of oil nutritional components of several *Acer* plants [J]. J Cere Oils Ass, 2018, 33(5): 55-59.
- [16] 赵翠格. 元冠果种子发育过程中油脂积累规律研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- ZHAO CG. Study on oil accumulation during seed development of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [17] 任红剑, 王长宪, 杜晓茜, 等. 元宝枫花中3种黄酮类成分的初步研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(25): 43-47.
- REN HJ, WANG CX, DU XQ, *et al.* Preliminary study on three flavonoids from the flower of *Acer truncatum* [J]. Chin Agric Sci Bull, 2017, 33(25): 43-47.
- [18] 呼晓姝. 元宝枫种仁油的提取及其神经酸分离纯化的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- HU XS. Study on extraction of *Acer truncatum* seed oil and separation and purification of nervonic acid [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.

(责任编辑: 张晓寒)

## 作者简介



代彦满, 硕士, 副教授, 主要研究方向为园林植物应用。

E-mail: 290348351@qq.com