

# 元宝枫油成分、加工工艺及功能性研究进展

魏伊楚, 樊金拴, 徐 丹

(西北农林科技大学 林学院, 陕西省经济植物资源开发利用重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**元宝枫油是一种优质、高档的保健食用油。2011年, 卫生部批准元宝枫油为新资源食品。研究表明元宝枫种子含油率超过40%, 油中不饱和脂肪酸含量达90%以上, 其中亚油酸含量为37.35%, 神经酸含量为5.52%, 维生素E含量达125 mg/100 g, 对人体具有多种医疗保健作用。综述了元宝枫油的成分、加工工艺及功能性的研究现状, 并展望其开发前景, 为元宝枫油的进一步加工、应用提供理论参考。

**关键词:**元宝枫油; 成分; 加工工艺; 功能性

中图分类号: TS201; TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2018)01-0034-05

## Advance in component, processing and functionality of

### *Acer truncatum* Bunge. seed oil

WEI Yichu, FAN Jinshuan, XU Dan

(Key Laboratory of Exploitation and Utilization of Economic Plant Resources in Shaanxi Province, College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

**Abstract:** *Acer truncatum* Bunge. seed oil is a healthy edible oil which is high-quality and high-grade. In 2011, the Ministry of Health approved of *Acer truncatum* Bunge. seed oil as a new resource food. The oil content in *Acer truncatum* Bunge. seed is above 40%. The content of unsaturated fatty acids is above 90%, and the contents of linoleic acid and nervonic acid were 37.35% and 5.52%, respectively. The vitamin E content is 125 mg/100 g. *Acer truncatum* Bunge. seed oil has medical and health effects on human body. The advances in component, processing and functionality of *Acer truncatum* Bunge. seed oil were summarized and its development was prospected, in order to provide theoretical reference for the further research and application.

**Key words:** *Acer truncatum* Bunge. seed oil; component; processing; functionality

元宝枫 (*Acer truncatum* Bunge.) 为槭树科槭树属乔木, 因翅果酷似元宝而得名。元宝枫是我国特有树种, 果实多且大, 分布较广, 主要集中在黄河中下游各省及东北南部, 随着元宝枫产业的发展, 目前我国西部、华北等地的元宝枫人工林面积突破了3.13万 hm<sup>2</sup>[1]。元宝枫是一种集食用油、医疗保健、化工原料、观赏、特用木材于一身, 社会、经济和生态价值为一体的有极高使用价值的树种, 有着良好的应用和开发前景[2]。元宝枫种子含油率为

42.6%, 不饱和脂肪酸含量达92%, 神经酸含量为5.52%[3]。神经酸的存在使元宝枫油更具研究开发价值。研究表明, 元宝枫油在增强免疫力、促进大脑发育、抗肿瘤、美容等[4-7]方面具有重要作用。我国元宝枫资源丰富, 元宝枫结实量大, 单株15~20年生树木平均结实量为20~25 kg, 为开发元宝枫油产品提供了低价、充足的原料, 发展潜力巨大。目前, 元宝枫油产品种类稀缺, 质量参差不齐, 制约了元宝枫油的健康发展, 亟待提高元宝枫油品质、加快元宝枫新产品研发。2011年3月, 卫生部批准元宝枫油为新资源食品, 2014年12月, 国务院办公厅把元宝枫列入重点发展推广的木本油料树种之一, 这些举措为元宝枫油的产品开发提供了政策支持, 对推动元宝枫油的深入研究及产业快速发展具有积极

收稿日期: 2017-03-23; 修回日期: 2017-09-13

作者简介: 魏伊楚(1992), 女, 硕士, 研究方向为植物资源利用(E-mail) weiyichu1128@163.com。

通信作者: 樊金拴, 教授, 博士(E-mail) fanjinshuan@163.com。

意义。本文综述了元宝枫油的成分、加工工艺及功能性等研究进展,旨在为元宝枫油的进一步开发利用提供理论参考。

## 1 元宝枫油理化性质及营养成分

### 1.1 元宝枫油理化性质

元宝枫油属半干性油脂,颜色偏淡黄,相对密度(20℃)0.915 1,折光指数(20℃)1.474 2,酸值

(KOH)1.37 mg/g,碘值(I)108.4 g/100 g,皂化值(KOH)186.7 mg/g<sup>[3]</sup>。从理化性质来看,元宝枫油与大豆油、花生油等相似,符合国家食用油标准。

### 1.2 元宝枫油营养成分

成熟干燥的元宝枫种子含油率在40%以上、蛋白质含量接近30%<sup>[3,8]</sup>,是一种优良的油脂和蛋白质新资源。几种植物油脂脂肪酸含量对比见表1。

表1 几种植物油脂脂肪酸含量对比

脂肪酸	元宝枫油 <sup>[3]</sup>	大豆油 <sup>[9]</sup>	花生油 <sup>[10]</sup>	核桃仁油 <sup>[11]</sup>	菜籽油 <sup>[12]</sup>	橄榄油 <sup>[13]</sup>
油酸	25.80	23.10	39.88	65.70	15.81	79.40
亚油酸	37.35	56.50	35.90	25.20	13.21	4.60
亚麻酸	1.85	6.50	0.11	1.20	5.65	-
神经酸	5.52	-	-	-	-	-
不饱和脂肪酸	92.00	86.30	76.95	90.00	90.60	85.60

注:“-”表示参考文献中没有列出该项或该脂肪酸含量低于1%。

从表1可以看出,元宝枫油中的不饱和脂肪酸含量高达92%,高于大豆油、花生油、核桃仁油、菜籽油和橄榄油,其中油酸含量为25.80%,亚油酸含量为37.35%,亚麻酸含量为1.85%,神经酸含量为5.52%。元宝枫油中还富含脂溶性维生素,维生素E含量达125 mg/100 g,在食用植物油中排名前列,并远高于进口棕榈油<sup>[14-15]</sup>。元宝枫油含有其他植物油中罕见的神经酸。神经酸是大脑发育、维持的必需营养物质,能修复受损大脑神经纤维,并促使神经细胞再生和发育,对提高脑神经活跃、防止脑神经衰弱有重要作用<sup>[14]</sup>;亚油酸、亚麻酸具有增强记忆力、调节免疫力、抗氧化等功能<sup>[16]</sup>;维生素E对清除自由基、抗氧化以延缓衰老等有重要作用<sup>[15]</sup>。综合对比可发现元宝枫油中不饱和脂肪酸含量在常见植物油中位居前排,亚油酸和亚麻酸含量相对较高,同时含有宝贵的神经酸。元宝枫油中含量丰富的维生素E及特有的促进大脑发育的神经酸成分使其具有营养保健、药疗功效。

## 2 元宝枫油的加工工艺

### 2.1 元宝枫翅果脱壳

脱壳工序是油料加工中预处理的一个重要工艺环节。元宝枫翅果需经过风选除去树叶、细枝、干瘪粒才能进行加工。元宝枫脱壳机能快速清理杂质并进行脱壳,脱壳率为95%,对种子的破碎率为5%以下。脱壳自动化的实现能提高脱壳效率、降低成本,为元宝枫油产业化生产奠定基础。

### 2.2 元宝枫油提取方法

元宝枫油的提取方法多样,但有些提取方法只停留在实验室阶段,无法真正用于工业生产。目前在实验室里相对较优的元宝枫油提取方法为超临界

萃取;而实际生产中,元宝枫油提取仍以传统的压榨法为主。

#### 2.2.1 压榨法

压榨法是一种传统的提油方法。通过借助外力使油料结构破损,将油脂挤压出来。根据压榨过程机械压力大小及取油深度分为预榨和一次压榨;根据物料压榨前是否进行热处理分为冷榨和热榨。压榨法的优点是工艺简单灵活,适用性广;缺点是出油率低,油品质不高,产能低。盛平想等<sup>[17]</sup>利用自然风干的元宝枫种子机械榨油,平均出油率为36.07%,通过对不同温度种子出油率的对比分析得到出油率的高低与种子蒸炒温度有关,并初步选定合适温度为85~90℃。目前,温度较高时对元宝枫油营养成分的破坏还有待进一步探讨。对于元宝枫油的提取,冷榨法与热榨法哪种相对更优也需要后续的试验进行深入研究。

#### 2.2.2 溶剂浸提法

浸提法是应用相似相溶原理,用一种或几种能溶解油脂的有机溶剂,通过接触油料,使油料中的油脂被提取出来的方法。溶剂浸提法有出油率高、适用大批量连续化生产的特点,但存在着溶剂易燃易爆及易残留等缺点。魏明<sup>[18]</sup>、刘祥义<sup>[3]</sup>等分别用石油醚、乙醚作为浸提溶剂,采用索氏提取获得元宝枫油,并通过气相色谱法对油中的脂肪酸组成及含量进行了分析,分离出来的脂肪酸种类达十几种。

#### 2.2.3 超声波辅助提取

超声波提取技术是利用超声波的空化和机械作用,破碎组织后加速细胞内物质的释放、扩散及溶解<sup>[19]</sup>。呼晓姝等<sup>[20]</sup>利用超声波辅助提取元宝枫油,优化工艺条件为超声功率80 W、超声时间

50 min、料液比 1:16、提取 3 次,在此条件下,出油率为 37.02%。与冷浸法对比,提取率不但更高,提取时间也缩短 96.5%。超声波提取时均在 40℃ 以下进行,能保持油的较高营养价值。超声波辅助提取相较于压榨法和浸提法,具有缩短提取时间、提高出油效率、减少溶剂用量、保持油脂高营养价值等优点。

#### 2.2.4 水酶法提取

水酶法是通过生物酶催化,分解原料组织,用水作为溶剂将油脂置换出来<sup>[21]</sup>。水酶法制油操作方便,反应条件温和,蛋白质变性程度小,得到的油品质高,能耗也低,同时由于酶解法环境是水相,细胞中磷脂成分会扩散到水相中,避免了复杂的脱胶处理,简化生产工艺,有着良好的发展前景。徐丹<sup>[22]</sup>用水酶法提取元宝枫种仁油,并将其与索氏提取、浸提、超声波提取、机榨提取的元宝枫种仁油品质进行比较,发现不同工艺对油的透明度、颜色基本无影响;水酶法得到的油酸值最低、皂化值最高、过氧化值最低;机榨法得到的油碘值最高;综合比较后得出水酶法提取的油品质相对更优。目前,缺乏单一酶制剂提取元宝枫油与复合酶制剂提取元宝枫油的详细研究和对比,后续可对此进行研究分析。

#### 2.2.5 超临界流体萃取

超临界流体萃取技术是新发展起来的一种萃取分离技术。温度、压力高于其临界状态的物质会同时拥有液体和气体的特点,即密度大、黏稠度小、有极高的溶解性。超临界流体渗透到提取材料的基质中,会发挥非常有效的萃取功能<sup>[23]</sup>。赵艳等<sup>[24]</sup>在萃取压力 24 MPa、萃取温度 35℃、CO<sub>2</sub> 流量 250 L/h 的条件下,完成超临界 CO<sub>2</sub> 连续萃取元宝枫原油的试验。超临界流体萃取克服了高温油脂易氧化酸败、有溶剂残留、色泽不好等缺陷,同时保持较高的出油率,提升油品质。受设备比较复杂、操作烦琐、提取范围窄等因素限制,超临界流体萃取运行成本高,目前基本处于实验室阶段,在实际生产中应用极其有限。

#### 2.3 元宝枫油精炼工艺

元宝枫油的精炼是利用物理和化学方法除去元宝枫油生产过程中存在的杂质,主要包括脱胶、脱酸、脱色、脱臭等工艺流程,通过精炼可以提升元宝枫油的品质。李岱龙等<sup>[25]</sup>将元宝枫翅果脱壳后压榨得到元宝枫毛油,通过水化脱胶、碱炼脱酸、脱色剂(白土、沸石粉、活性炭质量比 4:5:1)脱色、水蒸气蒸馏法脱臭,有效地去除了磷脂、游离脂肪酸、色素、水分及脂溶性杂质,最终得到无异味、风味良好的元宝枫油。目前,国内关于不同提取方法得到的

元宝枫油精炼工艺报道较少,对于元宝枫油的精炼试验比较匮乏,亟待进一步的研究。

#### 2.4 元宝枫油中神经酸提纯研究

神经酸是大脑神经和组织中一种天然核心成分,最早发现于鲨鱼体内,通过捕杀鲨鱼来获取神经酸的成本及代价都特别高,但近代研究发现从植物中提取神经酸发展前景极好<sup>[26]</sup>。元宝枫油中含有 5.52% 左右的神经酸,成为近年来提取神经酸的热门植物。赵艳等<sup>[24]</sup>利用高速逆流色谱纯化元宝枫神经酸,研究得出效果最好的溶剂系统是正己烷、乙醇和水,在最佳条件下神经酸的纯度为 18.05%。呼晓姝<sup>[5]</sup>应用刮膜式分子蒸馏装置对神经酸的提纯工艺进行了研究,在系统压力 0.1 Pa、蒸馏温度 114.5℃、进料温度 60℃、进料速率 12 mL/h、刮膜器转速 295 r/min 条件下将原料中神经酸由 6.07% 提纯浓缩至 39.02%。史宣明等<sup>[27]</sup>通过三级分子蒸馏技术最终得到神经酸产品,含量达 47% 左右。张元等<sup>[28]</sup>通过多级分子蒸馏提纯、分子蒸馏与尿素包合法相结合两种方法,均得到了较高含量的神经酸乙酯产品。

虽然目前能成功从元宝枫油中分离出神经酸,且技术较先进,但存在着产量偏低、工序复杂、成本较高、难以实现工业化生产等多种问题。如何降低成本、缩短时间、提高产量和纯度是技术研究者仍面临的难题。未来可加强对神经酸提纯研究,将多种神经酸提取方法相结合或将传统的金属盐沉淀法、尿素包合法、低温结晶法等与较先进技术分子蒸馏法、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法等相结合,优化元宝枫神经酸的提取方法,提高生产效率,早日能大规模生产,以实现元宝枫神经酸的经济价值和药用价值。

### 3 元宝枫油的功能性研究

#### 3.1 抗菌作用研究

樊金拴等<sup>[29]</sup>利用元宝枫油对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、蜡状芽孢杆菌、黑曲霉、黄曲霉、啤酒酵母、变形杆菌、金黄色葡萄球菌 8 个菌种进行了抗菌试验。结果表明,元宝枫油对几种常见的食品腐败菌有较广泛的抑制作用,对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和黄曲霉的抗菌作用尤为明显,可作为食品和中成药的天然无毒防腐剂。

#### 3.2 抗肿瘤活性研究

贺浪冲等<sup>[6]</sup>对元宝枫油的抗肿瘤活性进行了研究,结果表明元宝枫油乳液对肿瘤细胞有明显的抑制作用,效果与抗癌新药环磷酰胺相近,而毒性远比其小;为了进一步确定其抗肿瘤作用,选用腹水型肿瘤小鼠模型研究,发现元宝枫油乳液对艾氏腹水

癌小鼠的生命延长有明显的效果,平均延长率为69.8%。

### 3.3 增强免疫力研究

王熙才等<sup>[4]</sup>将元宝枫油研制成艾舍尔软胶囊,以不同剂量给小鼠喂食50 d,测定相关指标,结果表明艾舍尔软胶囊能促进小鼠的脾淋巴细胞增殖、转化,提高小鼠的抗体生成细胞数和血清溶血素水平以及小鼠NK细胞活性,具有增强免疫力的作用。

### 3.4 提高机体运动能力

Zhu等<sup>[30]</sup>利用元宝枫油干预力竭运动大鼠,研究发现低剂量元宝枫油可明显缓解力竭运动导致的骨骼肌氧化应激损伤。Zhao等<sup>[31]</sup>设定的低剂量食用元宝枫油能够明显提高大鼠力竭运动时间,改善大鼠心脏功能,从而提高了机体的运动表现能力。

### 3.5 抗氧化

核桃油、牡丹籽油等油脂不饱和脂肪酸含量高,均达到90%以上,在加工、储存、运输、销售的过程中,容易氧化酸败,降低其营养价值、影响风味。元宝枫油中不饱和脂肪酸含量高达92%,但其脂溶性维生素含量高,尤其维E含量是橄榄油、棕榈油的3倍,是花生油的2倍。维生素E作为一种天然抗氧化剂,对延长元宝枫油的保存期有着积极作用。研究表明元宝枫油耐储存,一次精滤的原油,常温避光下保存3年不酸败变质<sup>[15]</sup>。

## 4 元宝枫油产业化所面临的问题及对策

### 4.1 产业化存在的问题

元宝枫油的市场在逐渐发展,但仍受到各种因素的制约,使得其产业化进程缓慢。例如:元宝枫以实生苗木为主,种群变异多,分类混乱,缺乏优良品种;元宝枫油的工艺研究虽多,但大部分制油方法只适用于实验室,无法规模化投入生产,目前还是传统压榨法制油;元宝枫油现有资源整体利用率不高,基本还处于初级、单调的阶段,以粗加工产品为主,深加工研究少,目前市面上可见到的元宝枫油产品有元宝枫瓶装油、元宝枫油片、元宝枫油胶囊、含元宝枫油的口红等,均为粗加工产品,价位较低,缺乏神经酸精元粉这一类高档产品;元宝枫油产业起步晚,同时市面上的元宝枫油质量参差不齐,缺乏品牌,定位不明,使得市场接受度不高,大大阻碍了元宝枫油消费市场的扩大;元宝枫油的国标尚未公布实施,使得其无法大批量进入市场等都严重制约着元宝枫油的产业化发展。

### 4.2 对策

针对以上的一些问题,特提出以下几点对策:通过种源试验探索元宝枫地理变异规律性,为引种和

育种提供科学依据,同时加快良种化进程,通过对元宝枫遗传多样性的研究以及优质丰产栽培技术研究,培育稳产、抗性强、出油率高的优良果用林品种;继续探索完善元宝枫油的提取工艺,克服生产过程中遇到的技术难关,得到适于大规模生产的制油方法;开发具有高附加值的元宝枫神经酸产品,例如神经酸胶囊、神经酸精元粉等,加强元宝枫油的抗癌、抗肿瘤的作用机理研究,并进行临床试验,研发有效的抗癌药品;确定元宝枫油产品的目标人群,并广泛向消费者宣传元宝枫油的功能;呼吁国家给予元宝枫产业更多的政策支持,加大技术和资金投入,抢占高端油品和保健品市场。

## 5 结束语

国际公认神经酸将是21世纪最有前途的脑病健康产品,毫无疑问,含神经酸植物有广阔的发展和前景。元宝枫油中丰富的不饱和脂肪酸符合现代人们健康生活的观念,其中所含的神经酸及丰富的维生素E使其价值远高于其他常见油脂,是一种健康的食用保健油。随着元宝枫油的深入研究、产业的开发、市场的成熟以及法律法规体系的完善,元宝枫油将促进地方经济的快速发展,成为一些落后山区的主导产业,实现精准扶贫。

目前,关于元宝枫优良果用种源选育以及元宝枫油药理活性、保健应用等方面的研究极其匮乏,基本处于初级探索阶段,存在着诸多问题。未来需加快元宝枫良种选育进程,为元宝枫制油提供优良原料;同时针对元宝枫油的食用价值、营养保健作用、美容养颜功效等展开深入的营养及药理学研究,以期开发高附加值的元宝枫油保健品、化妆品、药品等,提高元宝枫油的综合利用价值。

### 参考文献:

- [1] 王性炎. 中国元宝枫[M]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学出版社,2013.
- [2] 李文保,孙昌俊,王飞飞,等. 神经酸及其在预防和治疗脑病中的应用研究进展[J]. 药学进展,2014(8): 591-596.
- [3] 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.
- [4] 王熙才,左曙光,邱宗海,等. 艾舍尔软胶囊增强小鼠免疫力的实验研究[J]. 昆明医学院学报,2008(6):71-75,89.
- [5] 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.
- [6] 贺浪冲,高雯. 元宝枫油乳液对艾氏腹水癌小鼠的抗肿瘤作用[M]//王性炎. 元宝枫开发利用研究. 西安:陕西科学技术出版社,1996.

- [7] 王性炎. 化妆品工业的优质原料——元宝枫油[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 5-7.
- [8] 王性炎, 李艳菊, 王姝清. 食品蛋白新资源——元宝枫蛋白[J]. 中国油脂, 2007, 32(8): 30-33.
- [9] 巫森鑫, 邬国英, 韩瑛, 等. 6种食用植物油及其生物柴油中脂肪酸成分的比较研究[J]. 中国油脂, 2003, 28(12): 65-67.
- [10] 闫子鹏, 赵志远, 李芳威. 花生油氧化稳定性的研究[J]. 粮食与食品工业, 2016(1): 52-57, 62.
- [11] 于敏, 徐宏化, 王正加, 等. 薄壳山核桃油成分及抗氧化性研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(9): 86-90.
- [12] 姜波, 胡文忠, 刘长建, 等. 九种植物油中脂肪酸成分的比较研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 108-113, 118.
- [13] 任传义, 张延平, 汤富彬, 等. 油茶籽油、橄榄油、核桃油、香榧油中主要化学成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2015(12): 5011-5016.
- [14] 王性炎, 王姝清. 神经酸新资源——元宝枫油[J]. 中国油脂, 2005, 30(9): 60-62.
- [15] 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.
- [16] 陈亮, 王丽梅, 郭艳芬, 等. 核桃油、紫苏油、 $\alpha$ -亚麻酸、亚油酸对大鼠学习记忆的影响[J]. 中国油脂, 2011, 36(10): 33-37.
- [17] 盛平想, 杨鹏辉. 元宝枫种子榨油试验初报[J]. 陕西林业科技, 1998(1): 21-20.
- [18] 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.
- [19] 陈芳芳, 孙晓洋, 王兴国, 等. 超声波技术在油脂工业中的应用和研究进展[J]. 中国油脂, 2012, 37(10): 76-80.
- [20] 呼晓姝, 郝俊, 王建中. 超声波辅助提取元宝枫油的研究[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(5): 98-100.
- [21] OLSEN H S, ADLER - NISSEN J. Industrial production and application of soluble enzymatic hydrolyzate of soy protein[J]. Process Biochem, 1981, 16(7): 6-11.
- [22] 徐丹. 水酶法提取元宝枫种仁油研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [23] 赵丹, 尹洁. 超临界流体萃取技术及其应用简介[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(15): 4772-4780.
- [24] 赵艳, 朱晶, 王向东. 高速逆流色谱纯化元宝枫神经酸的研究[J]. 食品科技, 2016(6): 251-254.
- [25] 李岱龙, 王鹏, 张伟, 等. 元宝枫籽油精炼工艺探究[J]. 山东工业技术, 2015(20): 9-10.
- [26] 王性炎, 王姝清. 神经酸研究现状及应用前景[J]. 中国油脂, 2010, 35(3): 1-5.
- [27] 史宣明, 陈燕, 张骊, 等. 从元宝枫油中提取神经酸并制备生物柴油的技术研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(2): 61-65.
- [28] 张元, 侯相林. 元宝枫油中神经酸乙酯的分离提纯[J]. 中国油脂, 2010, 35(1): 28-31.
- [29] 樊金栓, 李晓明, 侯小蕊. 元宝枫油抗菌作用研究[M]//王性炎. 元宝枫开发利用研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996: 93-96.
- [30] ZHU J, ZHAO Y, WANG X D. Effect of increasing load exhaustive exercise on oxidative stress of skeletal muscle in different parts of rat[J]. Sch Acad J Biosci, 2015, 3(8): 650-655.
- [31] ZHAO Y, ZHU J, LI L H, et al. Dynamic changes the content of luteolin in different parts of pennycress (*Thlaspi arvense* L.) during the growth period [J]. Sch Acad J Biosci, 2015, 3(12): 985-990.

(上接第15页)

#### 参考文献:

- [1] 中国植物志编委会. 中国植物志: 第四十七卷 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 贾黎明, 孙操稳. 生物柴油树种无患子研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 191-196.
- [3] 黄素梅, 王敬文, 杜孟浩, 等. 无患子的研究现状及其开发利用[J]. 林业科技开发, 2009, 23(6): 1-5.
- [4] 黄素梅, 王敬文, 杜孟浩, 等. 无患子籽油脂脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2009, 34(12): 74-76.
- [5] 徐凯节, 次旦扎西, 丁立生. 无患子属植物的化学成分及生物活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(2): 267-273.
- [6] 刘光斌, 赵晓霞, 胡冬南, 等. 无患子油脂的提取、理化性质及其制备生物柴油的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 59-64.
- [7] 王建章, 吴子斌. 无患子籽油成分分析与提取工艺研究[J]. 农业科学研究, 2010, 31(1): 48-50.
- [8] 罗艳, 刘梅. 开发木本油料植物作为生物柴油原料研究[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(7): 68-74.
- [9] 罗建荣, 肖怀, 张成桂, 等. 两种药用蜚蠊油脂成分的GC-MS分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(11): 47-50.
- [10] 卢淑军, 杨燕云, 许亮, 等. 气相色谱测定牛蒡子脂肪油中3种脂肪酸含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(20): 56-60.
- [11] 谭超, 李俊杰, 赵福明. 油瓜种仁油提取工艺及理化成分分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 11-14.
- [12] 钟国清. 油脂碘值的测定方法研究[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(1): 29-30.