

元宝枫研究进展

王 琨<sup>1</sup>,刘少波<sup>2</sup>,张 娜<sup>1\*</sup>,王杏利<sup>1</sup>

(1.西北农林科技大学 图书馆,陕西 杨陵 712100;2.陕西省林业科学院,陕西 西安 710082)

**摘 要:**元宝枫是一种优良的绿化景观和纯天然、无公害、高营养的“药食”树种,具有较高的生态、经济、保健和药用价值。研究基于 WOS 数据库、CNKI 数据库,利用 Citespace 软件技术,探讨了元宝枫研究态势、热点和前沿。结果表明,1994—2019 年,元宝枫研究论文数量显现逐年增长态势,我国在该领域发表论文数量遥遥领先,并与 7 个国家建立了合作关系;元宝枫研究经历了从生物生态特征的基础探索、主要成分和功能分析研究到开发利用的 3 个阶段发展历程;研究热点从早期环保作用为主、组成成分和功能分析,到目前以神经酸开发利用为主;大规模生产的制油方法和具有高附加值的元宝枫神经酸产品是元宝枫未来的研究方向。

**关键词:**WOS 数据库;CNKI 数据库;Citespace;神经酸;元宝枫

**中图分类号:**S792.35      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2021)03-0152-06

Research Progress on *Acer truncatum*

WANG Kun<sup>1</sup>,LIU Shao-bo<sup>2</sup>,ZHANG Na<sup>1\*</sup>,WANG Xing-li<sup>1</sup>

(1. Library of Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Academy of Forestry, Xi'an 710082, Shaanxi, China)

**Abstract:** *Acer truncatum* is a tree species with excellent features for the construction of green landscape. The seeds and leaves of the tree can make pure natural, pollution-free and high-nutrition food products with medicinal benefits, demonstrating its high ecological, economical, health care and medicinal values. Based on WOS and CNKI database, using Citespace software, this paper discussed the research situations, hot spots and frontiers of *A. truncatum*. The number of research papers in *A. truncatum* from 1994 to 2019 increased year by year, and the number of published papers in China is far ahead in the world. Coordination relationship has been established between China and seven countries. The research of *A. truncatum* has experienced three stages from basic exploration of biological ecological characteristics, analysis of main components and functions, to the development and utilization of relative products. Research focus from early environmental protection, to the principal components and functional analysis, to the current development and utilization of nerve acids. The development of large-scale oil production methods and high value-added products of nervonic acid are the future research direction of *A. truncatum*.

**Key words:** WOS database; CNKI database; Citespace; nervonic acid; *Acer truncatum*

元宝枫(*Acer truncatum*)属槭树科(Aceraceae)槭属(*Acer*),为我国特有树种,分布地域广泛,栽培历史悠久<sup>[1-2]</sup>。元宝枫耐寒耐旱,侧根发达,叶片红黄绿相映,是绿化、景观和水土保持理想树种<sup>[1-4]</sup>,也

是一种纯天然、无公害、高营养的“药食”树种,因此具有较高的生态、经济、保健和药用价值<sup>[1-2]</sup>。20 世纪 70 年代,元宝枫作为我国木本油料树种之一,受到学者们的青睐<sup>[5]</sup>;20 世纪 80、90 年代,元宝枫成

收稿日期:2020-06-24 修回日期:2020-09-15  
基金项目:2020 年西北农林科技大学人文社科项目:高校科技人才引进机制评价分析(30200/Z1090220053);2019 年陕西省图书馆学会项目:“双一流”优势学科群建设背景下高校图书馆竞争情报服务研究(191010)。  
作者简介:王 琨,副研究馆员。研究方向:情报分析。E-mail:wkun1964@nwsuaf.edu.cn  
\*通信作者:张 娜。研究方向:农业情报分析。E-mail:zhangna@nwsuaf.edu.cn

为陕西省“八五”、国家“九五”重点科技攻关研究对象<sup>[6]</sup>,2011 年元宝枫籽油正式被国家卫计委批准为新资源食品,2018 年 11 月国家林业总局在西北农林科技大学召开了全国元宝枫产业创新创业联盟大会,并成立了国家元宝枫工程技术中心,自此元宝枫产业的发展受到国家高度重视,进一步促进了元宝枫产业快速发展。2020 年我国已在陕西、山东、四川、重庆、贵州、山西、云南、内蒙等 11 个省(市、区)开展了元宝枫育种、苗木繁育、丰产栽培及元宝枫籽油的综合开发利用研究工作<sup>[1-4]</sup>。

为了进一步推动元宝枫产业的发展,服务国家大健康战略<sup>[1]</sup>,基于 WOS 网络平台的 SCIE 数据库、CNKI 网络平台的中国学术期刊全文数据库,对 1994 年以来元宝枫研究论文文献进行了信息情报挖掘、整理和分析,旨在从文献计量的角度揭示国内外元宝枫研究态势、热点和前沿,为相关研发及产业人员了解元宝枫研究现状及发展态势提供参考,为政府有关部门制定相关政策和发展规划提供依据。

1 材料与方法

英文数据来自 Web of Science 网络平台中的 Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) 数据库,检索主题词为: *Acer truncatum* Bunge、Shantung Maple、*Acer truncatum*,检索时间 2020 年 5 月 16 日,共检索出 59 篇论文。中文数据来自 CNKI 网络平台的中国学术期刊全文数据库,检索主题词为:元宝枫、元宝槭、平基槭,检索时间 2020 年 5 月 16 日,共检索出 816 篇论文。

利用 Excel 2013、SPSS 19.0 等工具对相关论

文进行专业整理和统计分析,筛选与元宝枫密切相关的研究论文英文 54 篇,中文 640 篇。检索获得文献标题、摘要、关键词中包含有上述检索主题词的论文集合,运用 Web of Science 数据库网络平台统计分析功能和 Citespace 软件进行统计和可视化分析,以获取元宝枫研究成果的数量时间变化特点、空间分布特征、研究态势和研究热点等文献计量学特征参数。

2 结果与分析

2.1 论文的时间分布

2004—2020 年,元宝枫研究文献被 WOS 收录的论文数量共 54 篇,年均论文数量为 3 篇,2016 年之前该领域研究被 WOS 收录的论文数量年均不足 3 篇,2017 年之后该领域研究被 WOS 收录论文数量超 10 篇,学者们对元宝枫的研究进入探索研究阶段。受 CNKI 数据库收录时间的限制(1994 年至今全收录),分析工作始于 1994 年至今,被 CNKI 数据库收录的元宝枫研究文献共有 640 篇,年均论文数量为 24 篇,2003 年以前被 CNKI 数据库收录的元宝枫研究文献年均不足 10 篇;2004 年起发表论文突破 20 篇,2019 年达到最高值 46 篇。依据其年份变化特点及研究内容,可将该领域的研究划分为 3 个阶段,即 1994—2003 年为基础探索阶段、2004—2013 年为深入研究阶段,2014 年至今为开发利用阶段。从文献的年份分布情况来看,论文数量随着时间推移基本呈现出稳步增长的态势(图 1),在一定程度上反映了元宝枫研究受到越来越多的国内外学者的关注。

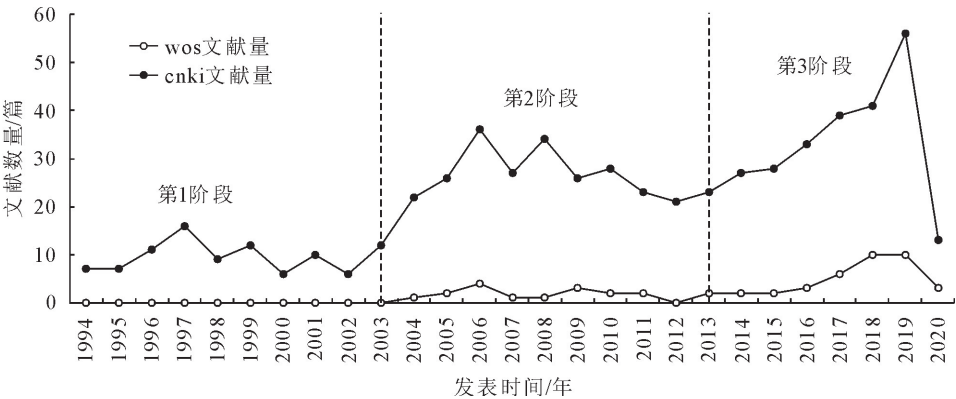


图 1 元宝枫研究文献年度分布

Fig. 1 Annual distribution of *Acer truncatum* research literature

2.2 论文的空间分布

2.2.1 论文的国家分布 元宝枫是中国特有树种,研究论文集中在中国,SCIE 数据库收录的 54 篇相关论文中有 47 篇来自中国,占 87.04%,国外研究较少,与国外合作论文有 10 篇,国外独立研究仅 7

篇。为进一步了解该领域各个国家之间的合作情况,本研究基于 Citespace 软件绘制了研究国家间的合作关系,从中也可以看出元宝枫领域国际合作的范围和深度(图 2)。图 2 中圆圈的大小代表该节点出现的次数,圆圈及连线的颜色则与时间轴的颜色

对应,代表该节点出现的时间及合作的时间,连线的粗细代表国家之间合作次数的多少。从图 2 可以看出,我国在元宝枫领域的论文数量遥遥领先,并与美国(USA)、突尼斯(TUNISIA)、波兰(POLAND)、瑞典(SWEDEN)泰国(THAILAND),比利时

(BELGIUM)之间存在合作关系。美国的论文数量仅次于中国,且合作国家数量也较中国少。这在一定程度上说明,我国在元宝枫研究领域处于国际领先地位,与国外的合作研究可作为开发利用元宝枫重要方向。

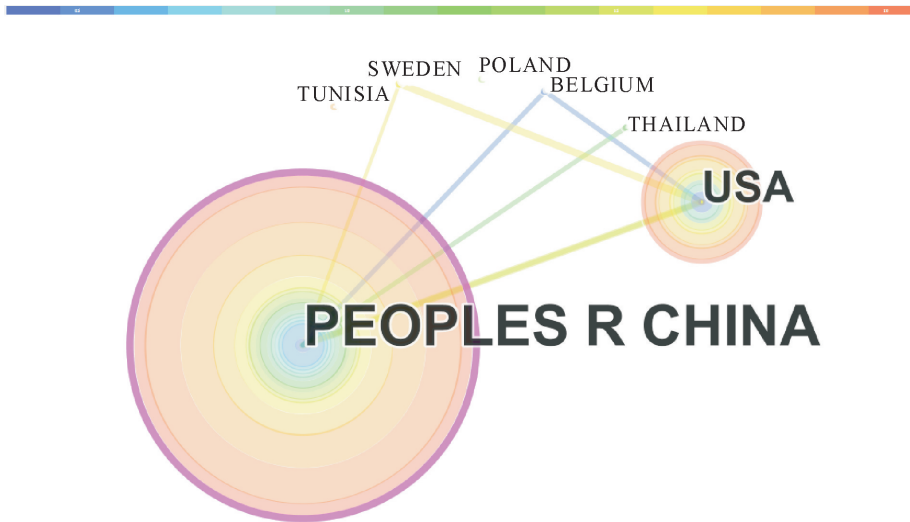


图 2 元宝枫研究国家合作

Fig. 2 National cooperation map of *Acer truncatum* research

2.2.2 论文的机构分析 从元宝枫研究领域论文的署名机构(第一署名机构进行统计)分布可知,发表相关论文数量排名前十的研究机构有北京林业大学、西北农林科技大学、山东农业大学、西南林业大学、首都医科大学、山西农业大学、北京市西山试验林场、山东省泰安市泰山林业科学院、四川大学、北京市园林科学研究所,其中北京林业大学发文量为 102 篇,占文献量 14. 70%,西北农林科技大学发文量为 74 篇,占文献量 10. 66%,山东农业大学发文量为 42 篇,占文献量 6. 05%(图 3)。

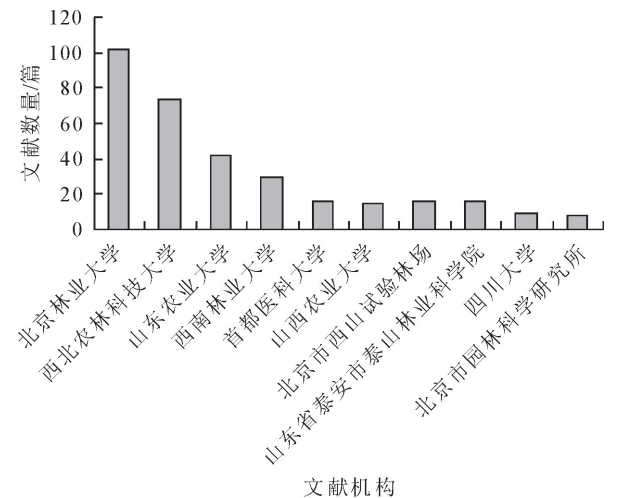


图 3 元宝枫国内主要研究机构与分布

Fig. 3 Major research institutions and distribution in *Acer truncatum*

### 2.3 研究关键词分析

从高频关键词统计可看出,3 个研究阶段中,元宝枫为关键词频次排序的首位,且随着发表论文数量的增加和时间的推移,元宝枫的出现频次呈现出逐渐增长的趋势(表 1)。同时,元宝枫、槭属、色树、元宝枫籽粕蛋白等关键词在 3 个不同的研究阶段中,始终是研究者关注的重点,出现频次也远高于其它关键词。光合参数、主成分分析在第一、二阶段出现,元宝枫油在二、三阶段出现,神经酸在第 3 阶段突现,并仅排在元宝枫高频词之后,说明不同阶段的研究热点发生不同的变化(表 1)。

此外,从表 1 看出,随着相关研究的深入,研究内容也发生了转变。第 1 阶段侧重于元宝枫环保作用(元宝枫、槭属、色树、环保树种、元宝枫籽粕蛋白等);第 2 阶段开始对元宝枫油及功能成分分析研究(元宝枫、槭属、色树、元宝枫油、元宝枫籽粕蛋白、光合参数、主成分分析等);第 3 阶段开始侧重对元宝枫神经酸产生强烈关注(元宝枫、神经酸、槭属、元宝枫油、元宝枫籽粕蛋白、光合参数、主成分分析等)。

为更直观了解元宝枫研究热点,经过同义关键词整理合并,利用 Citespace 软件绘制关键词共现图(图 4)。图 4 中节点的大小代表了不同关键词出现的频次,频次越多,节点越大。环状节点颜色与时间轴颜色对应,不同颜色对应其在不同年份出现的频次。图中的连线则代表了各节点之间联系的紧密程

表 1 元宝枫研究文献关键词出现频率情况  
Table 1 List of occurrence frequency of keywords in  
*Acer truncatum* research literature

年份	序号	关键词	频次
第 1 阶段 1994—2003	1	元宝枫	72
	2	槭属	21
	3	色树	20
	4	环保树种	19
	5	元宝枫籽粕蛋白	12
	6	植物源挥发性有机物	12
	7	基质	12
	8	光合参数	12
	9	主成分分析	12
	10	幼苗	12
	11	异戊二烯和单萜	12
	12	料液比	12
	13	功能性质	12
	14	理化性质	9
第 2 阶段 2004—2013	1	元宝枫	173
	2	槭属	29
	3	色树	28
	4	元宝枫油	13
	5	元宝枫叶	13
	6	黄酮	12
	7	光合参数	11
	8	元宝枫籽粕蛋白	10
	9	主成分分析	10
	10	基质	9
	11	绿化树种	8
	12	绿原酸	8
第 3 阶段 2014—2020	1	元宝枫	122
	2	神经酸	19
	3	槭属	13
	4	元宝枫油	12
	5	元宝枫籽粕蛋白	10
	6	光合参数	10
	7	主成分分析	10
	8	叶绿素	10
	9	功能性质	9
	10	元宝枫籽油	7
	11	可溶性糖	7
	12	园林植物	6
	13	色树	6
	14	基质	5

度。从图中可以看出,元宝枫是一直以来该领域研究的热点词。

在关键词共现基础上,对该领域关键词进行聚类,并绘制其时间线视图(图 5)。图中各节点与年份相对应,代表其出现的时间,节点大小代表其在不同的年份内出现的频次多少。从其聚类结果看,该领域的研究内容大致包括元宝枫生理、生态学特性、元宝枫主要成分及功能分析、元宝枫开发利用研究。

### 3 研究热点

从元宝枫关键词频率(表 1)、关键词共现(图 4)和时线图(图 5)中得知。学者们在不同的时间阶段关注的元宝枫研究高频关键词不同,说明每个时间段研究的热点不同。

#### 3.1 元宝枫的环保作用(1994—2003 年)

元宝枫冠大荫浓,树形优美,叶形秀丽,秋季叶变成橙黄色或红色,具有独特的园林观赏价值<sup>[1]</sup>。元宝枫属速生树种,耐寒能力极强,在沙丘或较干燥的环境生长良好,根系深侧根发达,含有 VA 菌根<sup>[7]</sup>,具有很强的耐旱能力<sup>[8]</sup>;虽然元宝枫抗旱能力强,能自动调节适应缓慢的干旱,但快速干旱调节能力差,甚至失去调节作用<sup>[9]</sup>。元宝枫植株体富含单宁,有利于伤口的愈合,防御病虫害。元宝枫吸附降低空气中颗粒物的浓度,净化空气<sup>[10]</sup>。学者们研究认为元宝枫是改善土壤、改良生态环境、治理荒漠化、沙漠化、石漠化和景观绿化的理想树种<sup>[1-4]</sup>。

#### 3.2 元宝枫主要成分及功能分析(2004—2013 年)

元宝枫叶蛋白质含量高,总氨基酸含量达 11.102%,含有较高的氨基酸组合和丰富的维生素<sup>[11]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)达 96.97  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,是生物体内重要的氧自由基清除剂,可防御生物体氧化损伤,抗衰老<sup>[12]</sup>;含单宁达 11.4%,具有抗菌消炎、止泻、止血、镇痛、镇静、催眠、收敛、驱虫、抗多种病原虫感染性作用,还有抗血凝、抗突变、抗肿瘤<sup>[13]</sup>、抗脂质过氧化、抑制胃蛋白酶、降脂、降压、改善肝肾功能;含黄酮和绿原酸,黄酮具有抗血栓和抗氧化活性作用<sup>[14-17]</sup>,可以延长心肌缺氧,对治疗心绞痛、冠心病、心力衰竭有一定的作用<sup>[18-25]</sup>,还可用于抗过敏、抗溃疡、保肝等生物医药领域,在人体健康方面具有广泛的应用价值<sup>[23]</sup>。绿原酸除抗菌抗肿瘤外还有抗诱变剂和抗病毒,提高中枢兴奋性,增进胆汁分泌的利胆作用,增加人体子宫和小肠蠕动的张力;在民间将元宝枫幼芽、嫩叶泡茶饮,退热明目作药用,其枝、叶祛风除湿,活血化瘀<sup>[15,26]</sup>。

元宝枫果皮、果翅和种皮含有大量的优质缩合性单宁(68.6%),是制革和印染工业的原料资源<sup>[27]</sup>。元宝枫种仁富含油脂和蛋白质,总含量达 75%。其中蛋白质含量达 27.15%,且含人体必须的 8 种氨基酸,是植物蛋白的新资源,仅次于大豆和青豆<sup>[28-30]</sup>;含油 46.43%<sup>[2-5,31]</sup>,从中检测出了 12 种脂肪酸。其中,亚油酸含量最高,为 37.35%;油酸含量次之,为 25.80%;神经酸含量为 5%~6%。不饱和脂肪酸占总脂肪酸的 92.31%,所以元宝枫油既是优质食用油,也是医药保健用油<sup>[22]</sup>。元宝枫种

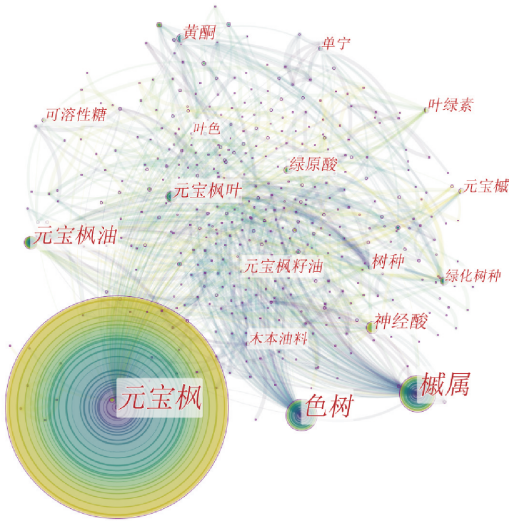


图 4 元宝枫研究文献关键词共现图

Fig. 4 Keywords co-occurrence map of *A. truncatum* research literature

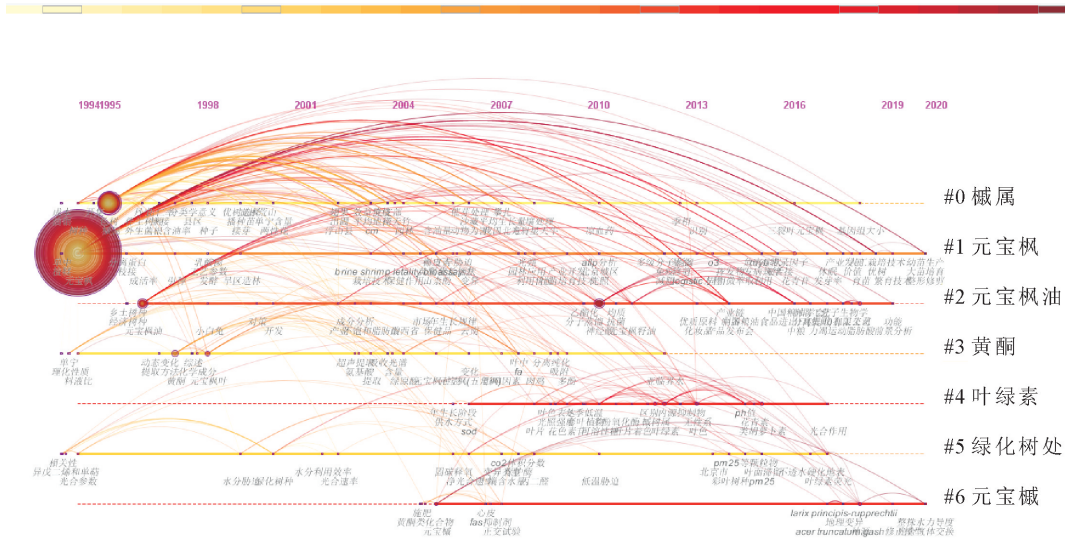


图 5 元宝枫研究文献关键词时间线视图

Fig. 5 Timeline view of keywords in *A. truncatum* research literature

子榨取食用油的研究表明元宝枫油无毒性,对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和黄曲霉菌有抑制作用,补充了我国食用油的不足<sup>[4]</sup>。元宝枫油中含丰富的不饱和脂肪酸,有降低血胆固醇,减少动脉硬化,防止冠心病、骨质流失,具有减肥、抗癌等功能<sup>[13,32-33]</sup>,亚油酸是人体必需的重要物质,可转化为花生四烯酸成为构成前列腺素的成分,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>[8]</sup>;含人体所需要的维生素 B1(硫胺素)、维生素 B2(核黄素)、维生素 B6、尼克酸等水溶性维生素,维生素 A(视黄醇)、维生素 E(生育酚)、维生素 D3(胆钙化醇)等脂溶性维生素<sup>[23-25]</sup>。

3.3 元宝枫神经酸研究——2014—2020 年

最早在哺乳动物的神经组织里发现神经酸,人

们为了从鲨鱼脑获取神经酸<sup>[15]</sup>,付出相当高的代价捕杀鲨鱼。研究表明,神经酸是生物膜的重要组成部分,是大脑核心物质,具有修复疏通受损大脑神经纤维、提高脑神经活跃、防止脑神经衰弱、提高记忆力、促进神经细胞发育和再生等多种特殊生理功能<sup>[6,21,34]</sup>。神经酸可以降低脑细胞内脂褐素的积累,对人体自身免疫缺乏性及心血管疾病有较好的疗效<sup>[35-36]</sup>。神经酸的缺乏将会引起神经衰弱、脑萎缩、老年痴呆、阿尔茨海默病、视神经衰退、记忆力减退、癫痫、肝脏疾病和早亡等疾病<sup>[34,37]</sup>。

元宝枫油的脂肪酸中神经酸含量在 5%~6%,在植物中较少见<sup>[31]</sup>,是值得重视的神经酸新资源<sup>[6]</sup>。元宝枫神经酸提取方法可归纳为混合脂肪酸

分离法和混合脂肪酸酯分离法,如利用高速逆流色谱纯化元宝枫神经酸,获取最佳溶剂体系<sup>[28]</sup>;利用超声波技术提取元宝枫神经酸,超声提取在 40℃ 以下进行浸提,元宝枫油中的营养成分不会被破坏<sup>[29]</sup>;采取脱胶-碱炼-酯交换-分子蒸馏或脱胶-预酯化-酯交换-碱炼-分子蒸馏得到元宝枫神经酸<sup>[30]</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,得到了较高含量的神经酸乙酯 66.21%<sup>[38]</sup>。虽然元宝枫神经酸提取技术较先进,但产量偏低、成本较高、工序复杂,全面实现工业化生产存在很多问题。如何提高产量、降低成本是技术研究者仍面临的难题。未来将传统的尿素包合法、金属盐沉淀法、低温结晶法等与较先进技术超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法、分子蒸馏法等相结合,实现大规模生产,是未来元宝枫神经酸研究的方向。

### 4 结 论

1994—2019 年元宝枫研究文献数量逐年呈稳步增长的态势。中国学者在元宝枫领域的发文量处于国际领先地位,且与美国(USA)、突尼斯(TUNISIA)、波兰(POLAND)、瑞典(SWEDEN)、泰国(THAILAND)、比利时(BELGIUM)之间存在合作关系,与国外的合作研究可作为开发利用元宝枫重要方向。从机构统计来看,北京林业大学、西北农林科技大学、山东农业大学等机构对元宝枫的研究保持了密切关注,是元宝枫研究领域的核心研究机构。

元宝枫研究从基础探索、深入研究到快速发展,经历了第 1 阶段元宝枫生物生态特征的基础研究,第 2 阶段元宝枫主要成分及功能分析,第 3 阶段元宝枫的开发利用。研究热点从早期环保作用、主要成分与功能分析,到目前以神经酸开发利用为主。

元宝枫神经酸的发现对我国脑科学研究起到助推作用,从元宝枫中提取神经酸的最佳来源必须是含油量和神经酸含量双优的元宝枫。因此,培育稳产出油率高的元宝枫优质种源,研究元宝枫油的提取工艺,开发适合大规模生产的制油方法,研发元宝枫神经酸等具有高附加值的产品是元宝枫未来的研究方向。

### 参考文献:

[1] 王性炎,崔娟子. 中国元宝枫与人类健康[M]. 陕西 杨陵:西北农林科技大学出版社,2019:1-11.

[2] 魏伊楚,樊金拴,李娟娟,等. 不同产地元宝枫种仁油脂含量及脂肪酸成分研究[J]. 中国粮油学报,2018,33(12):69-73.

WEI Y C, FAN J S, LI J J, *et al.* Oil content and fatty acid composition in *Acer truncatum* Bunge kernel from different production places[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils

Association, 2018, 33(12): 69-73. (in Chinese)

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] WANG X Y, FAN J S, WANG S Y, *et al.* A new resource of nervonic acid from purpleblow maple (*Acer truncatum*) seed oil[J]. Forest Products Journal, 2006, 56(11-12): 147-150.

[7] 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, 38(8): 591-596.

LI W B, SUN C J, WANG F F, *et al.* Advances in research on nervonic acid and its applications in prevention and treatment of encephalopathy[J]. Progress in Pharmaceutical Sciences, 2014(8): 591-596. (in Chinese)

[8] 王兰珍,马希汉,王姝清,等. 元宝枫总黄酮提取方法研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(4): 64-67.

WANG L Z, MA X H, WANG Z Q, *et al.* A study on the extraction of flavonoids from the leaves of *Acer truncatum*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1997, 12(4): 64-67. (in Chinese)

[9] 白雪,李小英,邱宗海. 元宝枫叶生物活性物质研究进展[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(6): 26-29, 32.

[10] 李新宇,赵松婷,郭佳,等. 基于扫描电镜定量评价植物滞留大气颗粒物能力[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 286-291.

LI X Y, ZHAO S T, GUO J, *et al.* Evaluation of the retention capability of air particulates by common trees based on SEM [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 286-291. (in Chinese)

[11] 施卫省,雷茜. 元宝枫叶总黄酮提取方法研究[J]. 中成药, 2003, 25(11): 948-950.

[12] 李建民,王进鑫,赵广贤. 谐波供水条件下元宝枫幼树叶片中 SOD 活性的变化[J]. 西北林学院学报 2006, 21(6): 24-27.

LI J M, WANG J X, ZHAO G X. The change of SOD on periodic change water supply in different growth stages during annual growth period for *Acer truncatum* youngling [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(6): 24-27. (in Chinese)

[13] 靳菊情,丁动宁,赵虎. 元宝枫叶多糖的初步研究[J]. 西北药 学杂志, 1998, 13(2): 62-63.

[14] 吕居婧,李映丽,蹇小婷. 元宝枫生药学研究[J]. 经济林研究, 1994, 12(1): 14-16.

[15] 王性炎,孙波,梁志荣,等. 元宝枫栲胶的制取、分析及应用 [J]. 西北轻工业学院学报, 1994, 12(4): 60-65.

[16] 唐明,陈辉,张博勇. 元宝枫 VA 菌根研究[J]. 西北林学院学 报, 1993, 8(3): 18-21.

[17] 聂斌英,赵云. 元宝枫开发现状与展望[J]. 宜春学院学报, 2007, 29(6): 161-163.

[18] 胡景江,文建雷,王姝清,等. 土壤干旱对元宝枫渗透调节能力的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(10): 1832-1836.

HU J J, WEN J L, WANG S Q, *et al.* Effect of soil drought stress on osmotic adjustment ability of maple leaves[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24 ( 10 ): 1832-1836. (in Chinese)

LIU S L, FU B J, MA K M, *et al.* Effects of vegetation types and landscape features on soil properties at the plateau in the upper reaches of Minjiang River[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 26-30. (in Chinese)

[18] 田涛. 北京典型边坡立地条件类型划分研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.

[19] 樊良新, 刘悦翠. 基于 GIS 的晋西王家沟小流域造林立地条件类型划分研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(3): 184-188. FAN L X, LIU Y C. Division of afforestation site type in small watershed of Wanjiagou gully of west Shanxi on GIS [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(3): 184-188. (in Chinese)

[20] 付满意. 梁山慈竹和料慈竹立地类型划分与立地质量评价[J]. 昆明: 西南林业大学, 2014.

[21] 薛建辉, 吴永波, 方升佐. 退耕还林工程区困难立地植被恢复与生态重建[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(6): 84-88. XUE J H, WU Y B, FANG S Z. A study on the vegetation restoration and ecological reconstruction in degraded sites of forest rehabilitation areas[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2003, 27(6): 84-88. (in Chinese)

[22] 王兵, 赵广东, 苏铁成, 等. 极端困难立地植被综合恢复技术研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 151-154, 180. WANG B, ZHAO G D, SU T C, *et al.* A study on vegetation restoration technique in extreme difficult sites[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(1): 151-154, 180. (in Chinese)

[23] 刘中亮, 郝岩松, 王福绪. 我国石质困难地植被恢复与重建[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版. 2010, 34(2): 137-141. LIU Z L, HAO Y S, WAN F X. A review of vegetation restoration and rehabilitation on rocky sites in China[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2010, 34(2): 137-141. (in Chinese)

[24] 凌成星, 刘华, 纪平, 等. 基于无人机影像 VDV 指数的植被覆盖度估算——以陕西神木防护林工程研究区为例[J]. 森林工程, 2021, 37(2): 57-66.

[25] 孙拱, 邢涛, 邢艳秋, 等. 基于遥感数据的净月潭公园植被冠层叶片含水率反演[J]. 森林工程, 2019, 35(5): 32-38.

[26] 王馨慧, 邢艳秋, 黄佳鹏, 等. 基于 3-PG 模型的森林植被净初级生产力动态变化研究[J]. 森林工程, 2019, 35(5): 50-56.

[27] 李文萍, 雷孝章, 刘兴年, 等. 四川盆地紫色土丘陵区水土流失及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 137-139. LI W P, LEI X Z, LIU X N, *et al.* Soil erosion and the controlling countermeasures for the purple soil hilly areas in the Sichuan Basin[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control. 2004, 15(3): 137-139. (in Chinese)

[28] 杜静. 四川盆地紫色丘陵区成土特征[D]. 重庆: 西南大学, 2014.

(上接第 157 页)

[19] 王兰珍, 马希汉, 王姝清, 等. 元宝枫叶有效成分动态变化的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(4): 68-71. WANG L Z, MA X H, WANG S Q, *et al.* A study on the seasonal variations of the bioactive constituents in the leaves of *Acer truncatum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1997, 12(4): 68-71. (in Chinese)

[20] 刘伟峰, 杨文瑾, 贾万利, 等. 元宝枫的综合利用价值及开发前景[J]. 林业实用技术, 2008(7): 39-40.

[21] LINN G L, WANG H, DAI J, *et al.* Conjugated linoleic acid prevents age-induced bone loss in mice by regulating both osteoblastogenesis and adipogenesis[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2017, 490(3): 813-820.

[22] 王兰珍, 马希汉, 王姝清, 等. 元宝枫叶营养成分分析[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(4): 61-63. WANG L Z, MA X H, WANG S Q, *et al.* Analysis of nutrition components in the leaves of *Acer truncatum* Bunge [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1997, 12(4): 61-63. (in Chinese)

[23] 江苏新医学院编. 中药大辞典(下册) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977: 4032.

[24] 谢百波, 许福泉, 李良波, 等. 元宝槭树叶中的黄酮苷[J]. 云南植物研究, 2005, 27(3): 232-234.

[25] 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, 41(6): 251-254.

[26] 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.

[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] 全国中草药汇编编写组. 全国中草药汇编(下册) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1978: 293.

[29] 魏伊楚, 樊金控, 徐丹. 元宝枫油成分、加工工艺及功能性研究进展[J]. 中国油脂. 2018, 43(1): 34-38.

[30] 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.

[31] 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.

[32] IP C, SINGH M, THOMPSON H J, *et al.* Conjugated linoleic acid suppresses mammary carcinogenesis and proliferative activity of the mammary-gland in the rat [J]. Cancer Research, 1994, 54(5): 1212-1215.

[33] 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.

[34] 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.

[35] 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, 38(8): 591-596.

[36] 马柏林, 梁淑芳, 赵德义, 等. 含神经酸植物的研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(12): 2362-2365.

[37] 刘速速, 周庆礼, 孙华. 神经酸的功能及提纯工艺研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 142-146.

[38] MA Q Y, WANG Y Y, ZHU L, *et al.* Characterization of the complete chloroplast genome of *Acer truncatum* Bunge (Sapindales: Aceraceae): a new woody oil tree species producing nervonic acid[J]. Biomed Research International, 2019(11/12): 1-13.