

元宝枫化学成分及产品应用现状研究进展

佟祎鑫¹, 许佳敏¹, 陈芳¹, 殷振雄², 刘娜¹, 孔维宝^{1,3}

(1. 西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070; 2. 甘肃金宏源生物科技有限公司, 甘肃白银 730900;

3. 甘肃特色植物有效成分制品工程技术研究中心, 兰州 730070)

摘要:元宝枫为槭树科槭树属植物, 是我国北方一种特殊的林木树种, 其含有多种化学成分如油脂、蛋白质、黄酮、单宁、绿原酸等, 具有多种生理功能。对元宝枫籽油、元宝枫籽蛋白及元宝枫黄酮 3 种物质的化学组成、提取方法、生理功能及产品的应用现状进行综述, 为元宝枫化学成分的高效获取及进一步开发利用提供参考。

关键词:元宝枫; 化学成分; 油脂; 蛋白质; 黄酮; 提取方法; 生理功能; 应用

中图分类号: S565.9; TQ646.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)02-0118-06

Advance in chemical components and products application status of *Acer truncatum* Bunge.

TONG Yixin¹, XU Jiamin¹, CHEN Fang¹, YIN Zhenxiong²,
LIU Na¹, KONG Weibao^{1,3}

(1. College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Jinhongyuan Biological Technology Co., Ltd., Baiyin 730900, Gansu, China;

3. Bioactive Products Engineering Research Center for Gansu Distinctive Plants, Lanzhou 730070, China)

Abstract: *Acer truncatum* Bunge., a plant of the genus *Acer* in the Aceraceae family, is a special forest tree species found in northern China. It contains a variety of chemical components such as oil, protein, flavonoids, tannins, chlorogenic acid, etc, and has a variety of physiological functions. The chemical composition, extraction methods, physiological function of the three substances of *Acer truncatum* seed oil, *Acer truncatum* seed protein and *Acer truncatum* flavonoids were summarized, and the application status of *Acer truncatum* Bunge. products were introduced, which provided a reference for the efficient acquisition and further development and utilization of the chemical components of *Acer truncatum*.

Key words: *Acer truncatum* Bunge.; chemical component; oil; protein; flavonoid; extraction method; physiological function; application

元宝枫 (*Acer truncatum* Bunge.) 是槭树科 (Aceraceae) 槭树属植物, 因翅果形似中国古代金元宝而得名^[1], 是一种新型多功能产油木本树种, 在

我国有较为广泛的分布。元宝枫籽含有丰富的油脂和蛋白质, 元宝枫籽油中不饱和脂肪酸和维生素 E 含量较高, 且含有独特的神经酸^[2]; 此外, 元宝枫叶中含有高度生物活性的化合物, 如生物碱、黄酮、单宁、绿原酸、萜类、植物甾醇、苯甲酸衍生物等, 其产品可广泛应用于医疗、食品、工业等方面, 具备较高的潜在利用价值^[3]。元宝枫的化学成分是发挥其生物学功能的重要基础, 明确元宝枫的化学成分对元宝枫产品的研发应用具有重大意义。本文总结了元宝枫籽油中脂肪酸与维生素 E 的组成、元宝枫籽蛋白中氨基酸的构成、元宝枫黄酮的组分及三者的

收稿日期: 2021-02-07; 修回日期: 2021-09-30

作者简介: 陇原青年创新创业人才(团队)项目(2018-11); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2020C-21); 甘肃省引导科技创新发展专项资金项目(2019ZX-05)

作者简介: 佟祎鑫(1998), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物保护(E-mail) tyx56595@163.com。

通信作者: 孔维宝, 教授, 硕士生导师, 博士(E-mail) kwbao@163.com。

提取方法与生理功能,并对元宝枫产品的应用现状进行综述,旨在为元宝枫特有资源的深度开发及综合利用提供参考。

1 元宝枫籽油

1.1 元宝枫籽油中脂肪酸与维生素 E 的组成及含量

元宝枫籽油的脂肪酸组成及含量如表 1 所示。由表 1 可看出,元宝枫籽油的不饱和脂肪酸含量高达 92%,与核桃油中的含量(91.4%)^[5]接近,主要为油酸和亚油酸,其中亚油酸含量(37.35%)高于进口橄榄油(4.0%)^[5]。元宝枫籽油中含有 5.52% 的神经酸(顺-15-二十四碳烯酸)。神经酸是人体脑神经细胞的关键成分,可增强脑神经活性,保护脑神经和修复受损的脑神经纤维,是大脑发育所必需的营养物质^[6],对改善大脑神经活动、预防脑神经退行性疾病有重要作用。

表 1 元宝枫籽油的脂肪酸组成及含量^[4]

脂肪酸	含量/%
油酸	25.80
棕榈酸	4.19
11-二十碳烯酸	8.23
亚油酸	37.35
木焦油酸	0.32
硬脂酸	2.40
花生酸	0.25
亚麻酸	1.85
芥酸	13.08
棕榈油酸	0.18
神经酸	5.52
山嵛酸	0.78

注:另外有 0.15% 的其他成分未检出。

元宝枫籽油中脂溶性维生素含量丰富,维生素 E 含量达 125.23 mg/100 g,是花生油(42.06 mg/100 g)的 2 倍以上,远超过棕榈油(15.24 mg/100 g)中的含量^[7],主要包括 β -、 γ - V_E 和 δ - V_E ,如表 2 所示。因此,元宝枫籽油具有预防心脑血管疾病、提高人体免疫力、抵抗自由基、保护肝脏、抗衰老和预防皮肤角质化的作用。

表 2 元宝枫籽油中维生素 E 的含量^[7]

V_E 种类	含量/(mg/100 g)
δ - V_E	37.58
$(\beta + \gamma)$ - V_E	72.86
α - V_E	14.79
总量	125.23

1.2 元宝枫籽油的提取方法

元宝枫籽油的提取方法主要包括压榨法、浸出

法、水酶法、超临界萃取法以及亚临界萃取法等^[8]。

压榨法属于传统方法,有热榨和冷榨两种方式。盛平想等^[9]探索了不同蒸炒温度对元宝枫种子压榨出油率的影响,结果显示,当蒸炒温度达到 100℃ 时元宝枫种仁出油率最高,为 38.45%。徐明辉等^[10]采用低温冷榨工艺(入榨温度低于 65℃)制备元宝枫籽油。该方法可获得优良品质的油脂和高品质的蛋白粉。压榨法提油经历了长期的技术改良后,目前具有相对较高的出油率,但仍存在耗能较高的缺点。

浸出法也是一种传统的油脂提取方法,该方法的优点在于饼粕中残油低、出油率较高。刘祥义等^[4]通过石油醚(沸程 60~90℃)浸提元宝枫种仁粉数次,回收溶剂、干燥后得到淡黄色元宝枫籽油。

水酶法是在一定的机械破碎的基础上,借助某些可以将植物细胞壁分解的酶类(如果胶酶、纤维素酶)与油料反应使得其中的油脂释放,然后利用非油成分与油亲和力的差异及油和水密度的不同而将油和非油成分相互分离的方法。徐丹^[11]利用碱性蛋白酶作为实验酶,在料液比 1:4、pH 10、酶解温度 45℃ 的条件下酶解元宝枫种仁粉 5 h,清油出油效率可达到 60.51%;此工艺中,酶除了发挥水解脂蛋白、降解油料细胞的作用外,还可以将附着在油滴表层的脂蛋白膜破坏,使乳状液的稳定性下降进而提升出油率。

超临界萃取法是指在超临界状态下,将待萃取的物质与超临界流体接触,通过提高温度和减小压力的方式选择性地萃取有效成分。该方法清洁、环保,不会破坏油脂中的天然营养成分^[12],已用于猕猴桃籽油、沙棘油、番茄籽油等多种油脂的制取^[13]。在元宝枫籽油的提取中也有一定的应用,如胡鹏^[14]采用超临界 CO₂ 萃取技术提取元宝枫籽油,对萃取条件进行研究,得到元宝枫籽油的最佳萃取条件为压力 39 MPa、温度 44℃ 和时间 10 h,在最佳萃取条件下油得率为 43.07%;然而甘油三酯在 CO₂ 中溶解度低、萃取压力大、萃取时间长,导致超临界萃取效率较低。超临界流体萃取法设备投资较多,因此这种方法的提取对象通常是具有高附加值的产品,特别适用于萃取资源稀少、功效作用大的产品。随着我国设备生产的不断进步,将会大幅降低超临界设备的投资,推动元宝枫籽油的生产^[15]。

亚临界流体萃取法,又称加压低极性流体萃取法,是目前较流行的有机溶剂萃取技术之一,其弥补了传统有机溶剂萃取和压榨法的不足,被视为萃取

工业的一场技术革命^[16]。胡鹏^[14]研究了亚临界流体萃取法提取元宝枫籽油,结果表明,在萃取温度 40 ℃、料液比 1:3、萃取次数 3 次、每次萃取时间 30 min 条件下,元宝枫籽油得率达到 43.60%,高于超临界萃取法最佳条件下的得率(43.07%),并且亚临界流体萃取法从萃取到分离只需一步,具有萃取温度和萃取压力较低、萃取时间较短、环境相容性好、选择性好和避免溶剂残留等优点,因此被认为是一种更高效的提取方法。

1.3 元宝枫籽油的生理功能

元宝枫籽油中含有维生素 E,可起到抗氧化作用,防止自由基对人体细胞的毒害,延缓衰老。元宝枫籽油中的神经酸与大脑发育密切相关,可预防神经纤维萎缩、促进脑发育、增强脑神经活性,具有改善记忆和认知功能,预防和治疗脑疾病的作用^[17]。此外,元宝枫籽油具有良好的抗菌效果,还可以增强小鼠机体的运动能力,如:Zhu 等^[18]通过在运动训练中给疲劳的小白鼠服用低剂量的元宝枫籽油,发现元宝枫籽油可以有效缓解小鼠因运动疲劳引起的骨骼肌氧化应激障碍。元宝枫籽油具有良好的抗癌及抗炎功效,如:王性炎等^[7]研究表明,元宝枫籽油乳液对 S180 肉瘤细胞有显著的抑制作用,同时元宝枫籽油乳液对艾氏腹水癌小鼠生命延长有显著效果,且无毒害副作用;梁婵华等^[19]通过研究元宝枫籽油对脂多糖诱导的雄性小鼠肠道炎症的改善机制,发现元宝枫籽油可以显著控制其体重的下降,降低小鼠结肠质量与长度比,同时抑制肠道炎症小鼠血清炎症因子和结肠炎症因子表达,缓解小鼠肠道炎症反应。

2 元宝枫籽蛋白

2.1 元宝枫籽蛋白的氨基酸组成及理化性质

元宝枫籽粒中的蛋白质相比于其他同属植物含量丰富,其不同采收期的蛋白质含量有一定差异,采收期在 10 月份果实籽粒蛋白质含量为 47.95%,其次是 12 月份果实籽粒蛋白质含量为 40.96%,在落叶以后果实籽粒蛋白质含量为 35.09%^[20]。元宝枫籽蛋白属于完全蛋白,含有 8 种人体必需氨基酸,比例合适、含量充足,其中含硫氨基酸和碱性氨基酸占有较大比例。表 3 为元宝枫籽蛋白的氨基酸组成及含量。在人体必需氨基酸中,元宝枫籽蛋白的 Lys 含量(4.17 g/16 g,以氮质量计,下同)高于花生蛋白(3.0 g/16 g);Met 含量类似大豆蛋白(1.56 g/16 g)且高于花生蛋白(0.9 g/16 g)^[21]。在非必需氨基酸中,元宝枫籽蛋白的 Glu、Arg 以及 Gly 含量远远

高于其他油料蛋白。元宝枫籽蛋白的等电点为 4.38,在 pH 6~7 的范围内元宝枫种仁脱脂粉的溶解度、起泡性、泡沫稳定性和乳化稳定性表现良好^[22]。元宝枫籽蛋白吸油能力和发泡能力与脱脂大豆粉相比要高得多^[22]。

表 3 元宝枫籽蛋白中氨基酸组成及含量(以氮质量计)^[21] g/16 g

氨基酸	含量	氨基酸	含量
色氨酸 Trp	1.56	谷氨酸 Glu	26.15
异亮氨酸 Ile	3.51	丝氨酸 Ser	6.63
亮氨酸 Leu	8.19	精氨酸 Arg	7.67
苏氨酸 Thr	3.63	酪氨酸 Tyr	1.61
缬氨酸 Val	3.68	天冬氨酸 Asp	7.58
赖氨酸 Lys	4.17	甘氨酸 Gly	13.90
蛋氨酸 Met	1.49	胱氨酸 Cys	-
苯丙氨酸 Phe	0.76	脯氨酸 Pro	微量
丙氨酸 Ala	2.69	组氨酸 His	4.63

2.2 元宝枫籽蛋白的提取方法

元宝枫籽蛋白的提取方法主要包括碱溶酸沉法和盐提法。王性炎等^[21]利用碱溶酸沉法将得到的元宝枫种仁脱脂粉按照固液比 1:10 加水,与水混合均匀后用 10% NaOH 溶液将 pH 调至 7.0,用胶体磨磨浆 5 min 后置于 40 ℃ 水浴中,搅拌抽提 30 min,然后过 0.075 mm(200 目)筛,再将固相物质以固液比 1:5 加水进行第二次抽提,将第一次抽提液与第二次抽提液混合后加入 HCl 调节 pH 至 4.38,静置 10 h 后离心分离去除乳清水,利用真空干燥沉淀物再进行研磨,即得元宝枫种仁蛋白(ABPI)。刘昱迪等^[23]通过盐提法将元宝枫籽脱脂粉与 0.1 mol/L NaCl 溶液以料液比 1:20 混合,于 40 ℃ 下搅拌 2 h,在室温下以 4 000 r/min 离心 20 min 后收集上清液,并用 1 mol/L HCl 溶液调 pH 至 3.5 使蛋白沉淀,以 4 000 r/min 离心 15 min,收集沉淀,于 4 ℃ 透析 48 h,冻干后获得盐提蛋白(ABSPI)。研究表明:不同提取方法对元宝枫籽蛋白的结构和功能特性产生了显著性差异:与 ABSPI 相比,ABPI 的表面疏水性、总巯基含量、游离巯基含量与二硫键含量较高,起泡性及泡沫稳定性更好;通过扫描电镜观察发现 ABPI 结构紧密,而 ABSPI 呈有序簇状球形蛋白^[23]。

2.3 元宝枫籽蛋白的生理功能

元宝枫籽蛋白营养成分丰富,必需氨基酸占比约 30%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值大于 40%,符合联合国粮农组织与世界卫生组织提出的参考蛋白模式,属于优质蛋白资源,具有较高的营养

价值。由于元宝枫籽蛋白中含有较多谷氨酸,谷氨酸通过转氨基反应生成部分氨基酸并参与核苷酸的合成,可以解除肌肉、肝脏及大脑等组织中氨的毒害,与神经系统和脑组织的正常功能有密切的关联,在生物体代谢过程中发挥着重要作用。

3 元宝枫黄酮

3.1 元宝枫黄酮的组成及性质

元宝枫叶常用于提取黄酮,在不同的季节元宝枫叶总黄酮含量不同,平均达4.2%,最高达7.3%,其中夏季叶黄酮总量>秋季叶黄酮总量>春季叶黄酮总量,且叶肉中黄酮总量大于叶柄中黄酮总量^[24]。从元宝枫叶中分离并通过气相色谱检测分析可得到6种黄酮苷化合物,即槲皮素-3-O- α -L-吡喃鼠李糖苷、槲皮素-3-O- α -L-吡喃阿拉伯糖苷、槲皮素-3-O- β -D-半乳吡喃糖苷、杨梅素-3-O- α -L-吡喃鼠李糖苷、山奈酚-3-O- α -L-吡喃鼠李糖苷和异鼠李黄素-3-O- α -L-吡喃阿拉伯糖苷^[25]。元宝枫叶黄酮与银杏叶黄酮成分、药理相类似,可被广泛用于食品、医药、保健品行业,这些黄酮化合物在360 nm处具有紫外吸收峰,一般情况下呈灰黄或黄色,在不同状态下其溶解度有着很大区别,难溶于水,易溶于甲醇、乙醇、乙酸乙酯等有机溶剂及稀碱溶液中,一旦羟基糖苷化后,其水溶解度提高,但在有机溶剂中的溶解度有所下降。

3.2 元宝枫黄酮的提取方法

元宝枫黄酮的提取方法主要有溶剂提取法和超声波辅助法。王兰珍等^[26]以西北林学院实验地的元宝枫叶为实验材料,比较了碱液、热水、丙酮、甲醇、乙醇5种溶剂的黄酮提取率,结果发现,选用70%乙醇和60%丙酮作为提取剂提取元宝枫叶中黄酮,可获得较高提取率,分别为12.20%和19.92%。曾里等^[27]对超声波辅助法和传统浸提法进行了对比,结果发现超声波辅助法提取元宝枫黄酮是一种快速、高效、节能的新型提取方法。超声波辅助法提取元宝枫黄酮的最佳提取条件为以60%乙醇为溶剂、料液比1:25、提取温度60℃、超声时间30 min,此条件下得率达到6.26%。此外,超临界萃取法能够通过调节温度和压力进行有选择性的提取和分离纯化活性成分,已用于提取银杏叶中的黄酮^[28],但在元宝枫黄酮的提取中应用较少。因此,后期可对超临界萃取法提取元宝枫黄酮的工艺进行研究。

3.3 元宝枫黄酮的生理功能

黄酮类化合物在元宝枫活性物质中占比较大,

有抑菌、抗肿瘤、降血脂、消炎利胆、保护肝脏等作用。黄相中等^[29]通过微生物纸片法与分光光度法检测了元宝枫叶中黄酮类提取物的抗氧化活性,并研究了在不同条件下此类物质的稳定性,结果表明,元宝枫黄酮具有较强的自由基清除能力,其抗氧化能力远远超过维生素E。元宝枫黄酮可增强心肌细胞在缺氧条件下的忍耐能力,对治疗心肌梗死、心绞痛、心力衰竭有重要意义^[30]。

4 元宝枫产品应用现状

4.1 医疗保健方面

2018年5月“元宝枫籽油添加治疗老年性痴呆的临床疗效观察”已获得国家临床试验号(CHicTR1800016024),使元宝枫籽油进入医药新时代。元宝枫籽油可较好地抑制肿瘤细胞生长,修复受损的神经细胞^[31],有效抑制多种细菌和真菌的生长,促进健康组织的生长,可开发新型抗癌药品及抗菌药物。研究发现,通过给艾滋病患者服用含有神经酸的“元宝枫养生酒”,有一半的患者血液CD₄T淋巴细胞超过正常水平,表现出良好的治疗效果^[32]。

4.2 化工方面

元宝枫种皮和果翅中含有多种单宁成分,在种皮中含量最高(通常可达60%左右)。从元宝枫种子中提取栲胶单宁,纯度可达80%以上,达到了LY/T 1090—1993规定的特级品标准含量^[33]。元宝枫单宁成革颜色相对比较浅,柔软程度较高,优于进口的黑荆树单宁。在印染业,元宝枫单宁固色效果好,牢度高、色泽高纯^[33],完全可以替代五倍子单宁成为良好的工业原料,可作为一种新型优质的纺织印染固色剂。

史宣明等^[34]利用元宝枫籽油作为原料,在固体超强酸催化作用下与甲醇发生酯交换反应制备生物柴油,所制备的生物柴油达到GB/T 20828—2007要求。

元宝枫籽油含有丰富的脂肪酸和维生素E,可作为化妆品工业的原料。目前以元宝枫籽油为原料研发的化妆品有元宝美容霜、元宝洗面奶和元宝枫润肤霜,这些产品能有效预防鳞屑症和表皮细胞增生,能为肌肤提供多种有效成分和必需脂肪酸,进而提高肌肤抗氧化能力和平衡肌肤的渗透能力,并且符合国内化妆品行业绿色、天然、安全和环保的要求^[35]。

4.3 食品方面

元宝枫叶中的SOD、V_E、黄酮类化合物和绿原酸具有超强的抗氧化能力,能有效防止自由基损伤

细胞膜、氧化细胞;此外,元宝枫叶中含有丰富的矿物质元素,并且具有十分典型的低钠高钾特点^[36],有益于保持体内酸-碱平衡和正常血压。基于此,已开发出元宝枫茶。元宝枫种仁蛋白是一种优质植物蛋白,基于此已开发出蛋白乳、酸乳等营养价值丰富的饮品^[37]、酿造酱油^[38]及强化面包^[39]。另外,还有以元宝枫籽油为原料开发的夹心型凝胶糖果^[40]。

4.4 饲料添加剂

目前对于元宝枫在饲料添加剂中的应用主要集中在元宝枫叶。元宝枫叶中含有黄酮、绿原酸和多糖等天然活性物质^[41],饲料中添加发酵元宝枫叶可以促进畜禽生长,提高畜禽机体免疫力,进而提高家禽肉类质量。张旭晖等^[42]研究表明,将发酵元宝枫叶适量添加于饲料中可以在一定程度上改善育肥猪的生产性能,提升肉品质和肠道健康;赵素君等^[43]通过在肉鸡饲料中添加元宝枫黄酮,检测添加不同水平(0、5、10、20、40 mg/kg)的元宝枫黄酮对肉鸡免疫机能的影响,结果发现,添加适当剂量的元宝枫黄酮可以极显著提高胸腺指数、T淋巴细胞转化率、法氏囊指数等,进而提高肉鸡的细胞免疫作用。现阶段关于元宝枫叶中的活性物质及其添加量的研究尚不明确,对于元宝枫叶中其他有效成分添加到饲料中的报道较少。因此,元宝枫叶应用于饲料添加剂仍需深入研究,以期在饲料行业获得更大的市场空间。

5 问题与展望

现有研究已证实元宝枫具有丰富的营养成分和药用价值,在生态绿化、特种油料生产、食药新资源、食品开发等领域的应用前景非常广阔。但目前对元宝枫的应用基础研究和产业化开发还不够系统全面,极大限制了该产业的可持续发展。问题主要表现在:①提取元宝枫活性物质的研究和加工元宝枫产品仍然停留于实验室阶段,元宝枫产品的研制和工业化还需进一步开展;②实验室的研究主要针对元宝枫籽油和黄酮这两大活性物质,对其他有效活性成分的研究较少、关注度较低,限制了行业开发的积极性和热情;③限于生产资源数量和市场问题,目前很多元宝枫产品开发处于试制水平,有价无市的问题比较突出。针对目前在元宝枫基础研究和产业发展中存在的问题,未来应注重优质元宝枫叶品系的筛选,高效获取有效活性成分,研发高质量产品,实现“种植试验—优良种子选定—商品开发”的连锁展开;进一步加大对元宝枫生物学基础研究和应用基础研究,采用现代生物科学研究技术手段探明

元宝枫生殖繁育机理以及种仁油脂、蛋白质和其他活性成分的生物合成及积累规律,为元宝枫生物资源的大量生产和有效成分的开发提供理论依据;从元宝枫的理化性质及药理活性出发,侧重元宝枫在神经性疾病和抗癌方面的临床试验,开发出有效的神经药物以及元宝枫抗癌药品,进一步加大对元宝枫生物研制的科学基础研究和体系开发。

参考文献:

- [1] 韩昭侠, 卢军智. 宝鸡市元宝枫产业发展现状及对策[J]. 特种经济动植物, 2020, 23(5): 11-13.
- [2] 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: 1-4.
- [3] 唐雯, 王建军, 徐家星, 等. 槭树科药用植物的化学成分研究进展[J]. 北方园艺, 2012(18): 194-200.
- [4] 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.
- [5] 任传义, 张延平, 汤富彬, 等. 油茶籽油、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, 6(12): 5011-5016.
- [6] YANG R, ZHANG L, LI P, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China[J]. Trends Food Sci Tech, 2018, 74: 26-32.
- [7] 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.
- [8] 魏伊楚, 樊金拴, 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.
- [9] 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.
- [10] 徐明辉, 张骊, 陈东升, 等. 元宝枫籽油及神经酸制取工艺[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(1): 41-43.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] ROY B C, GTOT M, HIROSE T. Temperature and pressure effects on supercritical CO₂ extraction of tomato seed oil[J]. Int J Food Sci Tech, 2010, 31(2): 137-141.
- [14] 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.
- [15] HU P, XU X B. Physicochemical properties of *Acer truncatum* seed oil extracted using supercritical carbon dioxide[J]. J Am Oil Chem Soc, 2017, 94(6): 779-786.
- [16] 祁鲲. 亚临界溶剂生物萃取技术的发展及现状[J]. 粮食与食品工业, 2012, 19(5): 5-8.
- [17] LI Q, CHEN J, YU X, et al. A mini review of nervonic

- acid; source, production, and biological functions [J/OL]. *Food Chem*, 2019, 301: 125286 [2021-02-07]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125286>.
- [18] 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.
- [19] 梁婵华, 黄妍, 莫敏敏, 等. 元宝枫籽油改善脂多糖诱导的小鼠肠道炎症[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(10): 37-45.
- [20] 魏希颖, 吕居娴, 李映丽. 元宝枫及同属植物种子总蛋白质含量和氨基酸的测定[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(4): 90-93.
- [21] 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.
- [22] 李艳菊, 王性炎, 杨正礼, 等. 元宝枫种子蛋白功能特性研究[J]. *西北林学院学报*, 1996(3): 43-47.
- [23] 刘昱迪, 李佳美, 王坤华, 等. 元宝枫籽蛋白的营养性及理化性质[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 271-277.
- [24] 庞晓莉, 司辉清, 王海燕. 元宝枫叶主要生化成分的季节变化[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(8): 147-148, 159.
- [25] 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.
- [26] 王兰珍, 马希汉, 王姝清, 等. 元宝枫叶总黄酮提取方法研究[J]. *西北林学院学报*, 1997, 12(4): 64-67.
- [27] 曾里, 曾凡骏, 张杰, 等. 超声波技术应用于元宝枫黄酮浸提的研究[J]. *食品科技*, 2008, 33(1): 163-166.
- [28] CHIU K L, CHENG Y C, CHEN J H, et al. Supercritical fluids extraction of *Ginkgo ginkgolides* and flavonoids[J]. *J Supercrit Fluid*, 2002, 24(1): 77-87.
- [29] 黄相中, 李聪, 古昆, 等. 元宝枫叶提取物的稳定性及抗氧化性活性研究[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2003, 25(5): 442-445.
- [30] 李云志. 元宝枫叶黄酮提取、纯化、分离与结构鉴定的研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [31] 王性炎, 谢胜菊, 王高红. 中国富含神经酸的元宝枫籽油应用研究现状及前景[J]. *中国油脂*, 2018, 43(12): 93-95, 104.
- [32] 王珊珊, 王晓玲, 李秋, 等. 中国西部特种食用油资源开发利用状况[C]//中国西部第六届营养与健康学术会议论文集. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区营养学会, 2011: 310-317.
- [33] 贾正民. 元宝枫产品在工业上的应用[J]. *山西林业*, 2015(6): 28-29.
- [34] 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.
- [35] 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, 50.
- [36] 刘祥义, 付惠, 邱宗海. 云南元宝枫叶营养评价[J]. *天然产物研究与开发*, 2003, 15(3): 222-223, 226.
- [37] 聂斌英, 赵云. 元宝枫开发现状与展望[J]. *宜春学院学报*, 2007(6): 161-163.
- [38] 谭正杰. 元宝枫酱油加工方法及其配方: CN107125699A [P]. 2017-03-31.
- [39] 李莉, 田士林. 元宝枫种仁蛋白强化面包加工技术的研究[J]. *安徽农业科学*, 2006(14): 3465-3466.
- [40] 徐帅. 胶囊(元宝枫籽油夹心型凝胶糖果软包软包片): CN305571100S [P]. 2020-01-21.
- [41] 苏建荣, 罗香, 杨文云, 等. 元宝枫叶内黄酮、绿原酸含量动态变化研究[J]. *林业科学研究*, 2004, 17(4): 496-499.
- [42] 张旭晖, 吴元媛, 汪贵斌, 等. 发酵元宝枫叶对育肥猪生产性能、肉品质和肠道菌群的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(1): 246-254.
- [43] 赵素君, 谢晶, 林毅, 等. 元宝枫黄酮对肉鸡免疫机能的影响[J]. *饲料工业*, 2012, 33(2): 10-12.
- (上接第108页)
- [20] MOCZKOWSKA M, KARP S, NIU Y, et al. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed: a physicochemical approach [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 90: 105-112.
- [21] 徐江波. 亚麻籽深加工关键技术研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2014.
- [22] 冯爱娟, 叶茂. 超声波辅助提取亚麻籽胶工艺条件优化[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(10): 66-69.
- [23] 欧阳伶俐, 刘壮, 姚亚亚, 等. 亚麻籽饼酶法脱胶工艺条件研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(5): 127-131.
- [24] 郭项雨, 孙伟, 任清. 亚麻饼粕中亚麻胶的提取及其理化性质研究[J]. *北京工商大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(4): 31-35.
- [25] 张兰. 亚麻粕中亚麻胶提取及其功能特性的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
- [26] BUSHRA S, PANG Z H, LIU X Q, et al. Flaxseed gum: extraction, bioactive composition, structural characterization, and its potential antioxidant activity [J/OL]. *J Food Biochem*, 2019, 43(11): e13134 [2021-02-04]. <https://doi.org/10.1111/jfbc/13134>.
- [27] 李小凤, 赵倩竹, 滕英来, 等. 亚麻籽胶微波辅助提取与热水浸提方法比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(8): 55-61.