

紫苏籽油化学组成与检测技术研究进展

张瑜^{1,2}, 戚欣^{1,3}, 白艺珍^{1,4}, 汪雪芳^{1,3}, 喻理^{1,3}, 张良晓^{1,3,4*}, 李培武^{1,3,4}

(1. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; 2. 农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 武汉 430062; 3. 农业农村部油料及制品质量监督检验测试中心, 武汉 430062; 4. 农业农村部油料产品质量安全风险评估实验室(武汉), 武汉 430062)

摘要: 紫苏籽油是从食药同源植物紫苏成熟的种子中获得的一种富含多不饱和脂肪酸的食用植物油。紫苏籽含有脂肪、蛋白质、脂肪酸、甾醇、脂溶性维生素等多种营养物质。紫苏籽油是迄今为止发现的草本植物种子油中 α -亚麻酸含量最高的食用油, 在医药和食品加工方面具有很高的利用价值。通过对国内外紫苏籽油和紫苏籽研究进展综述, 本文总结了紫苏籽油的功效作用、理化性质、营养成分及检测方法, 为后续紫苏籽油及其副产物的开发利用提供参考依据。

关键词: 紫苏籽油; 化学成分; 检测方法; 营养功能

Advances in chemical composition and related detection technologies of *Perilla* seed oil

ZHANG Yu^{1,2}, QI Xin^{1,3}, BAI Yi-Zhen^{1,4}, WANG Xue-Fang^{1,3}, YU Li^{1,3},
ZHANG Liang-Xiao^{1,3,4*}, LI Pei-Wu^{1,3,4}

(1. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Wuhan 430062, China; 2. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China; 3. Laboratory of Risk Assessment for Oilseeds Products (Wuhan), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China; 4. Quality Inspection and Test Center for Oilseeds Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China)

ABSTRACT: *Perilla* seed oil is a kind of edible oil with high polyunsaturated fatty acids, which is obtained from the mature seeds of *Perilla*. *Perilla* which contain fat, protein, fatty acids, phytosterols, fat-soluble vitamins and other nutrients. *Perilla* seed oil is the edible oil with the highest content of α -linolenic acid among the vegetable oils found so far, and it has high medicine and food values. By consulting the articles on the research progress of *perilla* seed oil at home and abroad, this review summarized the efficacy, physical and chemical properties, nutritional components, and detection methods of *perilla* seed oil, in order to provide references for the following development and utilization of *perilla* seed oil and its by-products

KEY WORDS: *Perilla* seed oil; chemical composition; detection method; nutrition and function

基金项目: 国家重点研发计划专项(2017YFC1601700)、国家自然科学基金面上项目(31871886)、国家农产品质量安全风险评估重大项目(GJFP2019003)、国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-12)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Project of China (2017YFC1601700), National Natural Science Foundation of China(31871886), the National Key Project for Agro-Product Quality & Safety Risk Assessment (GJFP2019003), and the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-12)

***通讯作者:** 张良晓, 博士, 研究员, 主要研究方向为油料特异品质检测与真实性鉴别技术研究。E-mail: zhanglx@caas.cn

***Corresponding author:** ZHANG Liang-Xiao, Ph.D, Professor, Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China. E-mail: zhanglx@caas.cn

1 引言

紫苏是唇形科紫苏属一年生的药食两用的草本植物,紫苏籽油是由紫苏籽制得的植物油。紫苏籽含有丰富的营养物质,包括脂肪、蛋白质、氨基酸、脂肪酸、维生素、矿物质、 β -胡萝卜素、多酚和黄酮等。沈奇等^[1]对国内外 132 份紫苏种质资源籽粒的主要成分进行了测定,结果显示,含油量为 20.24%~53.71%、蛋白质含量为 10.86%~27.60%、 α -亚麻酸含量为 39.10%~73.06%。紫苏籽油是目前所知的草本植物 α -亚麻酸含量最高的一种食用油, α -亚麻酸是脑和神经活动必需的一种脂肪酸,人体不能合成,需要通过食物补充。

紫苏籽油含有多种不饱和脂肪酸和生物活性物质,具有多种功能作用,如减肥、抗衰老、降血脂、抗过敏、抗癌、提高学习记忆能力等^[2-4]。郭英等^[2]通过测定 5 种植物油对大鼠血脂和脂质过氧化的影响得出,紫苏籽油调节血脂的作用高于松籽油,推测可能与紫苏籽油含有丰富的 α -亚麻酸有关。张晓燕等^[3]做了紫苏籽油对实验性牙槽骨骨质疏松的作用研究发现,紫苏籽油能抑制去卵巢大鼠牙槽骨丢失。王素君等^[4]采用滤纸片过滤法研究紫苏籽油对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌抑菌活性的影响,研究结果表明紫苏籽油提取液对大肠杆菌和枯草芽孢杆菌两个供试菌株的抑制效果较强且优于大豆油。

本文总结了国内外相关文章,对紫苏籽油的理化特性、活性成分及检测技术进行了综述,对其今后的研究方向和开发利用进行展望,为紫苏籽油的开发利用和相关产品的研发提供参考依据。

2 紫苏籽油理化性质

紫苏籽油理化特性主要包括相对密度、烟点、折射率、酸值、碘值、皂化值、过氧化值等。赵优萍等^[5]分别用螺旋压榨法、液压法、正己烷浸提 3 种方法提取紫苏籽油,比较了提取率和理化性质的差异。紫苏籽油的水分及挥发物的含量为 1.03%~13.82%,酸值为 0.46~9.15 mg KOH/g,过氧化值为 0.45~15.08 mmol/kg,碘值为 195.44~196.22 gI₂/100 g,皂化值为 189.78~218.08 mg KOH/g。氧化稳定性是评估油脂质量的一个主要参数,它能很好的估算不同油脂氧化退化的敏感性。酸值和过氧化值主要与提取方法有关,液压法提取油脂的酸值和过氧化值均小于其他 2 种方法。油脂酸价与原料、制取工艺、加工工艺、贮运方法与贮运条件都有关,甘油酯在制油过程受热或解脂酶的作用而分解产生游离脂肪酸,导致油酸价增加。同时,油脂在贮藏期间,由于水分、温度、

光线、脂肪酶等因素的作用也会被分解为游离脂肪酸,从而使酸价增加,稳定性降低。

许万乐^[6]对 9 个不同品种紫苏籽油进行测定,测得其烟点为 202~250 °C。根据伊朗栽培的紫苏籽油特性分析^[7]结果得实验栽培的紫苏籽油折射率为 1.4760,不皂化物质总量(%w/w)为 1.49,对茴香胺值为 0.780,毒性值为 1.48,氧化稳定指数(为 1.42)。兰马西特测试结果表明紫苏籽油的氧化稳定性明显低于菜籽油、橄榄油和椰子油。因此,在紫苏籽油的加工、运输和储藏过程中需要防控油脂氧化。Lee 等^[8]研究冻融处理对紫苏籽油品质的影响,研究结果表明冻融处理对紫苏籽油的颜色没有影响,但油的颜色会因精炼和加工过程中的美拉德和焦糖化反应而发生变化,另外高温和烘焙也会改变油的色泽^[9]。冻融这种相对低温的条件可降低油脂的氧化。

3 紫苏籽油化学成分

紫苏籽油是我国重要的特色食用植物油,具有较高的食用和药用价值。它的食用和药用价值主要来自于丰富的 α -亚麻酸、植物甾醇、生育酚、酚类化合物。下面主要从脂肪酸、植物甾醇、生育酚、酚类化合物及微量成分综述紫苏籽油的化学组成。

3.1 脂肪酸

紫苏籽油脂肪酸组成主要有亚麻酸、亚油酸、油酸、棕榈酸、硬脂酸,尤其是 α -亚麻酸。经分析,紫苏籽油中 α -亚麻酸含量最高可达 60%以上^[10],是植物油中 α -亚麻酸含量最高的。现已公认 α -亚麻酸和亚油酸一样都是人体必需的脂肪酸,人类体内的 α -亚麻酸来自于食物,具有降低血脂、血压和胆固醇的作用,对过敏反应及炎症具有抑制作用,还可以保护脑神经机能、延缓衰老。张金荣等^[11]在 α -亚麻酸联合盐酸曲美他嗪对缺血性心肌病心力衰竭病人炎症因子、氧化应激指标和心功能的影响的研究中发现, α -亚麻酸联合盐酸曲美他嗪治疗缺血性心肌病心力衰竭病人,可抑制炎症因子 TNF- α 、CRP 及 IL-6 的生成,并有助于改善病人氧化应激状态和心功能。南璞等^[12]的研究也表明 α -亚麻酸可以抑制高脂诱导的脂肪细胞氧化应激和促炎因子的释放。

许春芳等^[13]同样利用气相色谱法测定不同产地的紫苏籽油脂肪酸组成及含量,其中不饱和脂肪酸含量为 91.1%~93.8%,多不饱和脂肪酸含量为 70.7%~83.4%。不同研究者对紫苏籽油以及紫苏籽粒脂肪酸组成和含量的总结与比较如表 1 所示,由此可得,由于实验材料产地和品种的差异,紫苏籽油的脂肪酸组成和含量存在明显差异。许万乐等^[14]利用气相色谱的方法对 9 个不同品

种的紫苏籽油的脂肪酸组成和含量进行了研究, 测定结果为棕榈酸含量 5.60%~7.17%, 油酸 13.58%~26.85%, 亚油酸 9.02%~11.47%, 亚麻酸 57.67%~69.35%, 总不饱和脂肪酸含量为 92.83%~93.96%。赵德义等^[16]采用气相色谱的方法对杜仲籽油和紫苏籽油的脂肪酸组成进行了比较研究, 结果发现两者脂肪酸组成具有高度的相似性。商志伟等^[20]利用近红外光谱技术对 6 个紫苏种质资源进行分析测定, 测定结果显示, 不饱和脂肪酸含量为 87.69%~91.37%, α -亚麻酸含量为 58.63%~64.81%, 油酸含量为 13.07%~16.16%, 亚油酸含量为 10.68%~14.99%, 棕榈酸含量为 6.69%~7.27%, 硬脂酸含量为 1.91%~2.43%。商志伟等^[21]采用气相色谱法测定两个新品种紫苏籽粒的脂肪酸组成及含量, 均以 α -亚麻酸的含量最高, 为 55.48%~61.60%, 其次是油酸, 含量为 18.02%~19.43%, 亚油酸第 3 为 10.72%~17.11%, 不饱和脂肪酸总量为 90.61%~91.75%。

不饱和脂肪酸具有很多生理功能, 如调节血脂, 清理血栓, 免疫调节, 维护视网膜提高视力, 补脑健脑, 改善关节炎症状, 减轻疼痛等。Hyun 等^[22]通过研究多不饱和脂肪酸对生长猪脂肪组织脂肪组成和成脂酶活性的影响, 结果表明多不饱和脂肪酸可以提高激素敏感脂肪酶的相对表达量, 提高猪肉品质和生长性能的潜力。An 等^[23]的研究表明 ω -3 系高不饱和脂肪酸水平对南美白对虾幼虾生长、脂肪酸组成、血液学特性和肝胰腺组织学的调节能力有明显影响。申思洋等^[24]对比了红花籽油与紫苏籽油的脂肪酸组成, 结果表明紫苏籽油 α -亚麻酸含量高达 52.20%, 并研究了两者不同配比对降血脂的作用, 发现红花籽油与紫苏籽油配比 2.59:1 时降血脂作用最明显。

近年来, 色谱法技术的发展及其优越的分离效果、分离速度, 使气相色谱法在脂肪酸的检测方面得到了广泛应用。孙艳宾^[25]总结了脂肪酸检测的几种方法, 分别是滴定法、比色法、气相色谱法、高效液相色谱法、气质联用、高效液相色谱-蒸发光散射检测。Ruiz-Jiménez 等^[26]利用傅里叶变换中红外光谱法测定反式脂肪酸的组成和含量。Oliverira 等^[27]采用带紫外间接检测器的毛细管电泳得到按时间分布的电泳图谱, 10 min 内可以分离出 10 种脂肪酸, 该方法高效、快速、用量少、环境污染小。Buchgraber 等^[28]利用银离子薄层色谱和银离子液相色谱对部分氢化植物油中反式脂肪酸的测定取得了很好的效果。Knothe 等^[29]采用核磁共振氢谱检测不饱和脂肪酸, 利用亚麻酸的末端甲基基团较其他脂肪酸向低场位移动的特点, 对其进行单独积分并定量。李昌模等^[30]使用气相色谱-质谱技术对油脂中的脂肪酸进行检测, 并对

DB-5ms、VF-23ms 2 种色谱柱的检测效果进行了比较, 分离结果验证了 VF-23ms 色谱柱优于 DB-5ms 色谱柱的脂肪酸甲酯检测效果。

3.2 植物甾醇

植物甾醇是大多数植物油的主要不皂化成分, 具有降低血液胆固醇的作用, 并具有抗炎、抗菌、抗真菌、抗溃疡和抗肿瘤活性的功能。随着肥胖及其相关代谢综合症的流行, 非酒精性脂肪性肝病已成为慢性肝病最常见的原因, 并威胁着全球人类健康^[31]。非酒精性脂肪肝的治疗对科学界来说仍然是一个挑战, 目前还没有获得许可的非酒精性脂肪肝疗法^[32]。Song 等^[33]研究了 ω -3 脂肪酸和植物甾醇酯联合应用减轻非酒精性脂肪性肝病患者肝脏脂肪变性, 结果表明植物甾醇酯和 EPA-DHA 联合补充可提高肝脂肪变性的治疗效果。许春芳等^[13]利用气相色谱的方法测得实验样品的植物甾醇种类和含量, 其中 β -谷甾醇的含量最高, 为 46.8~65.3 mg/100 g, 除此之外含有 Δ -5 燕麦醇 7.1~13.1 mg/100 g, 环阿廷醇 6.0~10.6 mg/100 g, 菜籽甾醇 5.1~9.4 mg/100 g, 菜油甾醇 2.60~1.92 mg/100 g, 豆甾醇 0.96~1.00 mg/100 g。总甾醇含量为 67~94.4 mg/100 g。菜籽甾醇是紫苏籽油的特征活性成分。研究明确了紫苏籽油精炼的各个步骤中, 脱酸对植物甾醇的含量影响最大, 其次是脱胶和漂白^[34]。

植物甾醇的检测方法有化学特征反应鉴定法、薄层层析法、红外光谱法、酶法等, 但这些方法存在不足, 鉴定能力低, 对样品的纯度要求高。目前, 植物甾醇常用检测是气相色谱, 采用国家标准 GB/T 25223-2010 测定。胡宝祥^[35]等建立了反相高效液相色谱-蒸发光散射检测器测定植物甾醇含量的方法, 相关性较好。Franks 等^[36]开发了一种新的植物甾醇衍生化方法, 对植物甾醇进行高效液相色谱分析。衍生化后植物甾醇的紫外吸收强度显著增强。此外, 这种衍生化方法允许使用更高和更具选择性的检测波长, 并改进了植物甾醇的色谱分离。此外, 该方法还实现了植物甾醇的电喷雾质谱电离和分析。因此, 该方法有助于改进植物甾醇/甾醇的高效液相色谱分析。

3.3 生育酚

生育酚是人类不可缺少的一种脂溶性维生素。Yang 等^[37]综述了不同形式的生育酚和生育三烯醇在营养和药理水平上的人类和实验室防癌活性的最新研究结果, α -生育酚是动物体内维生素 E 的主要形式, 在实现 VE 的基本抗氧化功能方面具有最高的活性, 由于氧化应激参与肿瘤的发生, α -生育酚的防癌活性已被广泛研究。许春芳等^[13]利用高效液相色谱法测得紫苏籽油中含有总

生育酚含量为 93.8~99.4 mg/100 g, 其中 γ -生育酚含量为 61.2~96.4 mg/100 g, 占总生育酚含量的 95%左右 α -生育

酚 1.0~4.3 mg/100 g, β -生育酚含量较低为 0.1~0.2 mg/100 g。

表 1 紫苏籽油及紫苏籽粒中脂肪酸组成与含量分析
Table 1 Fatty acid composition and content analysis of *Perilla* seed oil

序号	α -亚麻酸/%	亚油酸/%	油酸/%	棕榈酸/%	硬脂酸/%	参考文献
1	66.45	2.62	2.25	17.30	1.50	[14]
2	65.37	13.85	9.57	4.97	1.35	[15]
3	57.67~69.35	8.25~11.47	13.58~26.85	5.60~7.17	-	[16]
4	62.50	15.00	12.40	6.70	2.00	[17]
5	60.10	9.90	21.40	6.00	1.90	[18]
6	70.94~78.86	9.70~14.57	0.68~2.20	6.69~11.03	2.23~3.76	[19]

紫苏籽油生育酚中 γ -生育酚的含量最高为 46.8~65.3 mg/100 g^[13]。Swift 等^[38]首次阐述了 γ -生育酚是精炼棉籽油回色的主要前体物质。李辉等^[39]在 γ -生育酚抗癌作用研究进展中综述了 γ -生育酚在抗癌过程中的重要作用, 能干预细胞癌变相关信号转导通路, 抑制促癌或增加抑癌相关基因表达, 从而通过抑制肿瘤, 促进肿瘤细胞凋亡等方式起着抗癌和防癌作用。Martin-Rubio 等^[40]利用核磁共振技术研究 γ -生育酚对大豆油氧化过程的复杂影响, 研究结果表明, 在较高浓度下, γ -生育酚在最初阶段会加速酰基降解和过氧化氢的产生, 富集程度越高, 后期的过氧化氢分解发生得越晚, 它延迟了除一些环氧化物之外的大多数二次氧化产物(如醛、酮)的生成。实验研究^[41]表明, 在健康的年轻女性中 γ -生育酚的代谢速度快于 α -生育酚。

生育酚常用的检测方法主要有比色测定法、电化学测定法、色谱测定法、光谱测定法和色谱质谱联用测定法等。近年来, 维生素 E 测定方法中, 液相色谱由于, 检出限低、分离除杂效果好成为检测维生素 E 主要检测方法。液相色谱开发之前, 气相色谱法是常用检测维生素 E 的方法, 此方法柱效和灵敏度较高, 分析速度快, 但是在分离检测维生素 E 时需要衍生化, 过程较为复杂。液相色谱中正相色谱需要消耗较多的有机试剂, 对环境不友好且稳定性差; 反相-超高效液相色谱-电喷雾离子源-串联质谱法测定食品中的生育酚时灵敏度高于正相-高效液相色谱-荧光检测器^[42]。除此之外, 测定维生素 E 的方法还有非水毛细管电泳法、利用电化学分析法结合非线性的人工神经网络实现了对植物油中多种生育酚异构体的分离检测。

Pan 等^[34]通过研究精炼工艺对紫苏籽油的生物活性成分和体外抗氧化能力的影响, 结果表明在精炼过程中紫苏籽油的总生育酚含量损失较低为 5.4%, 其中, 漂白导致 α -

生育酚和 γ -生育酚的含量显著降低。在伊朗栽培的紫苏籽油特性分析中^[7], 采用超高效液相色谱法测得紫苏籽油中 α -生育酚的含量为 3.20 mg/kg, γ -生育酚为 617 mg/kg, δ -生育酚为 58.2 mg/kg, α -生育三烯酚的含量为 19.6 mg/kg, δ -生育三烯酚为 3.60 mg/kg。

3.4 酚类化合物

酚类化合物具有抗氧化、消炎、抗癌等功效^[43]。酚类化合物的结构具有多样性, 其中, 酚酸、类黄酮和单宁为最主要的膳食酚类化合物^[44]。酚类化合物对由于过氧化作用而导致生物体在结构和功能损伤的 DPPH 自由基、OH 自由基和 ABTS 自由基等有显著的清除作用, 还能与金属形成螯合物, 是天然的抗氧化剂。除此之外, 酚类化合物还可以通过信号转导途径调控肿瘤抑制基因或致癌基因的表达, 具有抗肿瘤的功能^[45]。罗薇等^[46]在酚类化合物吸收特性及对肠道菌群的作用的研究中综述了酚类在消化道小肠和结肠段的吸收规律, 总结了肠道菌群在消化过程中的作用, 酚类化合物进入结肠后可被肠道菌群利用, 同时这些化合物及其代谢产物也将反作用于肠道菌, 改变菌群的组成比例。吴尧等^[47]利用高效液相色谱-串联质谱法测定了紫苏籽油中 11 种酚类化合物分别是对羟基乙醇、肉桂酸、3,4-二羟苯甲酸、对香豆酸、香草酸、咖啡酸、阿魏酸、丁香酸、芹黄素、木犀草素、槲皮素。

作为常见的植物次生代谢产物, 酚类化合物在多种植物性农产品、食品中广泛存在, 并具有抗菌抗病毒等多种生物活性, 多酚类化合物的检测也有多种方法。吴尧等^[47]经过一系列的条件优化建立了基于新型富集材料磁性羧基化多壁碳纳米管与高效液相色谱-质谱联用技术, 对紫苏籽油中的 11 种酚类化合物进行分离与测定, 此方法可以同

时分离与检测, 检出限和定量限分别在 0.02~0.70 ng/mL 和 0.06~2.0 ng/mL 范围内, 本方法前处理操作简单、灵敏度高、成本低且测定结果准确可靠。

4 紫苏籽中的其他营养成分

除了以上紫苏籽油中的营养成分外, 紫苏籽中还含有氨基酸、矿物元素、挥发油成分、 β -胡萝卜素等活性成分。

商志伟等^[14]采用凯氏定氮法和高相液相色谱法分别测定紫苏籽粒中的总蛋白质含量和氨基酸组分含量, 总蛋白含量为 16.5%~20.02%, 氨基酸总量为 158.02~161.16 mg/g, 其中必需氨基酸占氨基酸总量的 24.25%~24.89%, 氨基酸组成中天门冬氨酸含量最高为 89.99~91.58 mg/g, 甲硫氨酸含量最低为 0.07~0.25 mg/g。

紫苏籽中也富含多种矿物元素, 如钾、钙、磷、锌等。常用的检测矿物元素的方法主要有火焰原子吸收光谱法、石墨炉原子吸收光谱法、氢化物原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、原子发射光谱法、电感耦合等离子质谱法、免疫分析法、中子活化分析法、伏安溶出法、酶抑制等。王冲等^[48]建立了电感耦合等离子质谱法和电感耦合等离子体发射光谱法测定豆瓣中的矿质元素, 测试结果准确、高效且具有较好的应用前景。

β -胡萝卜素是自然界中较为丰富的类胡萝卜素之一, 是最稳定的天然色素, 具有较强的抗氧化、促进细胞增殖和分化、调控细胞间信号传导、影响基因的表达、增强免疫以及抗炎、抗癌、防治心血管疾病、延缓衰老等作用。其应用领域已经从最初的食品着色剂逐渐转向饲料、营养食品、保健品及药品四大领域, 并得到了消费者的广大认可^[49]。依据 DB/T 5009.83—2003 和 GB/T 5009.82—2003 标准分别测定 β -胡萝卜素的含量为 34~36 mg/100 g^[20]。

紫苏籽在动物生产中也有很广泛的应用, 如猪生产和家禽的生产, 在饲料中加入紫苏籽可以促进动物的生长发育, 提高生长性能^[50]。紫苏籽中也含有多种活性成分, 加强对紫苏籽的研究也可以为紫苏籽的进一步开发利用提供依据。因此, 紫苏籽除了榨油, 还有很多方面的利用价值。另外如何加强其副产物如氨基酸等的开发和利用也对紫苏籽的进一步研究具有重要意义。

5 结语与展望

紫苏籽油含有丰富的 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸, 具有良好的保健功能, 含有多种人体所必需的矿物质, 还富含 γ -生育酚、植物甾醇、多酚等特征功能活性成分, 对人体健康十分有利, 也成为紫苏籽油开发的一个重要关注点。紫苏籽油与深海鱼油等保健油脂相比, 价格便宜且不含胆固醇, 目前紫苏种植范围较广, 资源丰富且提取

工艺成熟, 具有极大的开发价值。紫苏籽油的推广与食用, 增加了食用油脂的营养价值, 改变了食用单一食用油的状况。此外, 紫苏籽中还含有氨基酸、矿物元素、挥发油成分、 β -胡萝卜素等活性成分。因此, 开发紫苏籽油或其下游加工产品具有广阔的前景。

参考文献

- [1] 沈奇, 王仙萍, 杨森, 等. 紫苏籽主要营养成分含量分析[J]. 西南农业学报, 2019, 32(8): 1904-1909.
Shen Q, Wang XP, Yang S, et al. Content of main nutrients in *Perilla frutescens* seeds [J]. Southwest Chin J Agric Sci, 2019, 32(8): 1904-1909.
- [2] 郭英, 蔡秀成, 赵晓燕, 等. 5 种植物油对大鼠血脂和脂质过氧化的影响[J]. 卫生研究, 2001, (1): 50-52.
Guo Y, Cai XC, Zhao XY, et al. Effect of vegetable seed oil on serum lipid and lipid peroxidation in rats [J]. J Hyg Res, 2001, (1): 50-52.
- [3] 张晓燕, 崔燎, 吴铁. 紫苏籽油对实验性牙槽骨骨质疏松的作用研究[J]. 口腔医学研究, 2014, 30(8): 740-742.
Zhang XY, Cui L, Wu T. Effect of common *Perilla* oil on empirical alveolar bone osteoporosis [J]. J Oral Sci Res, 2014, 30(8): 740-742.
- [4] 王素君, 张良晓, 李培武, 等. 紫苏籽油抗菌活性研究[J]. 中国食物与营养, 2017, (11): 38-41.
Wang SJ, Zhang LX, Li PW, et al. Study on the antibacterial activity of *Perilla* seed oil [J]. Food Nutr China, 2017, (11): 38-41.
- [5] 赵优萍, 肖金妮, 孙卢狄, 等. 紫苏籽油的提取及品质分析研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 75-80.
Zhao YP, Xiao JN, Sun LD, et al. Study on extraction and quality analysis of *Perilla* seed oil [J]. Food Res Dev, 2019, 40(6): 75-80.
- [6] 许万乐. 紫苏籽油的提取工艺及理化特性研究[D]. 太原: 中北大学, 2014.
Xu WL. Study on the extraction process and physicochemical properties of *Perrilla* seed oil [D]. Taiyuan: North University of China, 2014.
- [7] Ghalesahi AZ, Ezzatpanah H, Rajabzadeh G, et al. Comparison and analysis characteristics of flax, *Perilla* and basil seed oils cultivated in Iran [J]. J Food Sci Technol Mys, 2019, 57(10): 1-11.
- [8] Lee KY, Rahman MS, Kim AN, et al. Effect of freeze-thaw pretreatment on yield and quality of *Perilla* seed oil [J]. LWT Food Sci Technol, 2020, 122: 109026.
- [9] Anjum F, Anwar F, Jamil A, et al. Microwave roasting effects on the physico-chemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 83(9): 777-784.
- [10] 王润泽, 董红领. 尿素包合法纯化紫苏油中 α -亚麻酸工艺研究[J]. 化工设计通讯, 2019, 45(8): 213.

- Wang RZ, Dong HL. Study on purification of α -linolenic acid from *Perilla* oil by urea inclusion method [J]. Chem Eng Des Commun, 2019, 45(8): 213.
- [11] 张金荣, 张嘉宝, 胡玉娜, 等. α -亚麻酸联合盐酸曲美他嗪对缺血性心脏病心力衰竭病人炎症因子、氧化应激指标和心功能的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2019, 17(24): 3977-3980.
- Zhang JR, Zhang JB, Hu YN, *et al.* Effect of α -linolenic acid and trimetazidine dihydrochloride on inflammatory factors and cardiac function in patients with ischemic cardiomyopathy complicated with heart failure [J]. Chin J Integrat Med Cardio-/Cerebrovascul Dis, 2019, 17(24): 3977-3980.
- [12] 南琰, 赵美娜, 张薇. α -亚麻酸抑制高脂诱导的脂肪细胞氧化应激和促炎因子的释放[J]. 免疫学杂志, 2018, 34(11): 921-927.
- Nan Y, Zhao MN, Zhang W. ALA inhibits oxidative stress and the generation of proinflammatory cytokines induced by free fatty acids in adipocyte [J]. Immunol J, 2018, 34(11): 921-927.
- [13] 许春芳, 董喆, 郑明明, 等. 不同产地的紫苏籽油活性成分检测与主成分分析[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(2): 275-282.
- Xu CF, Dong Z, Zheng MM, *et al.* Active compound and principal component analysis of *Perilla* seed oil from different production areas [J]. Chin J Oil Crop Sci, 2019, 41(2): 275-282.
- [14] 许万乐, 李会珍, 张志军, 等. 紫苏籽油理化性质测定及脂肪酸组分分析[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(12): 106-109.
- Xu WL, Li HZ, Zhang ZJ, *et al.* Determination of physical and chemical properties and fatty acid components of *Perilla* seed oil [J]. J Chin Cere Oil Ass, 2013, 28(12): 106-109.
- [15] 谢慧, 覃茂范, 白欣莹, 等. 紫苏籽油提取及其脂肪酸组成分析[J]. 怀化学院学报, 2017, 36(11): 68-70.
- Xie H, Qin MF, Bai XY, *et al.* Extraction and Fatty acid composition analysis of *Perilla* seed oil [J]. J Huaihua Univ, 2017, 36(11): 68-70.
- [16] 赵德义, 徐爱遐, 张博勇, 等. 杜仲籽油与紫苏籽油脂肪酸组成的比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, (1): 191-193.
- Zhao DY, Zhao AX, Zhang BY, *et al.* Comparison of fatty acid component between *Eucommia ulmoides* seed oil and *Perilla frutescens* seed oil [J]. Acta Botan Boreali-Occid Sin, 2005, (1): 191-193.
- [17] 蔡红梅, 宋宁. 紫苏籽油理化特性及脂肪酸组成的研究[J]. 青海科技, 2002, (4): 48-49.
- Cai HM, Song N. Physical and chemical properties and Fatty acid composition of *Perilla* seed oil [J]. Qinghai Sci Technol, 2002, (4): 48-49.
- [18] 王计平, 史华平, 李润植. 紫苏种子脂肪酸组成及合成代谢研究进展[J]. 生物技术通报, 2011, (4): 31-34, 51.
- Wang JP, Shi HP, Li RZ. Research advances on fatty acid component and fatty acid biosynthesis metabolism in *Perilla* seed [J]. Bio Bull, 2011, (4): 31-34, 51.
- [19] 蔡乾蓉, 吴卫, 郑有良, 等. 紫苏属籽粒含油率及其脂肪酸分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 84-87, 91.
- Cai QR, Wu W, Zheng YL, *et al.* Oil content and fatty acid analysis of *Perilla* seeds [J]. J Chin Cere Oil Ass, 2009, 24(8): 84-87, 91.
- [20] 商志伟, 田世刚, 徐静, 等. 不同品种(系)紫苏含油量及脂肪酸成分对海拔的响应[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(8): 75-78.
- Shang ZW, Tian SG, Xu J, *et al.* Response of oil content and fatty acid components in different *Perilla frutescens* varieties to elevation [J]. Guizhou Agric Sci, 2017, 45(8): 75-78.
- [21] 商志伟, 朱秋劲, 杨森, 等. 2 个紫苏新品种籽粒中主要营养成分的含量[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(8): 70-74.
- Shang ZW, Zhu QJ, Yang S, *et al.* Content of main nutritional components in seeds of two new *Perilla frutescens* varieties [J]. Guizhou Agric Sci, 2017, 45(8): 70-74.
- [22] Hyun SC, Min OS, Suhyup L, *et al.* The ratio of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids influences the fat composition and lipogenic enzyme activity in adipose tissue of growing pigs [J]. Food Sci Anim Res, 2020, 40(2): DOI: 10.5851/kosfa.2020.e8.
- [23] An WQ, He H, Dong XH, *et al.* Regulation of growth, fatty acid profiles, hematological characteristics and hepatopancreatic histology by different dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels in the first stages of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [Z]. 2020.
- [24] 申思洋, 裴建峰, 柴逸飞, 等. 红花籽油和紫苏籽油不同配比降血脂作用研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(2): 106-110.
- Shen SY, Chang JF, Chai YF, *et al.* Hypolipidemic effect of different proportions of safflower seed oil and *Perilla* seed oil [J]. China Oil Fat, 2020, 45(2): 106-110.
- [25] 孙艳宾. 检测食品中脂肪酸组成方法的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(20): 187-190.
- Sun YB. Research progress on detection of fatty acids component of food [J]. Food Res Dev, 2017, 38(20): 187-190.
- [26] Ruiz-Jiménez J, Priego-Capote F, Castro MDLD. FT-midIR determination of fatty acid profiles, including trans fatty acids, in bakery products after focused microwave-assisted Soxhlet extraction [J]. Anal Bioanal Chem, 2006, 385(8): 1532.
- [27] Oliveira MAD, Solis VES, Gioielli LA, *et al.* Method development for the analysis of trans-fatty acids in hydrogenated oils by capillary electrophoresis [J]. Electrophoresis, 2010, 24(10): 1641-1647.
- [28] Buchgraber M, Ulberth F. Determination of trans octadecenoic acids by silver-ion chromatography-gas liquid chromatography: An intercomparis

- on of methods [J]. *J AOAC Int*, 2001, 84(5): 1490–1498.
- [29] Knothe G, Bagby MO, Weisleder D. Evaluation of the olefinic proton signals in the $^1\text{H-NMR}$ spectra of allylic hydroxy groups in long-chain compounds [J]. *Chem Phys Lipids*, 1996, 82(1): 6266.
- [30] 李昌模, 王玉倩, 张虹. 食用油中脂肪酸检测方法的比较研究[J]. *粮油食品科技*, 2013, 21(4): 74–77.
- Li CM, Wang YQ, Zhang H. Comparison of detection method of fatty acid in edible oils [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2013, 21(4): 74–77.
- [31] Vernon G, Baranova A, Younossi ZM. Systematic review: The epidemiology and natural history of non-alcoholic fatty liver disease and non-alcoholic steatohepatitis in adults [J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2011, 34: 274–285.
- [32] Federico A, Zulli C, De-Sio I, *et al.* Focus on emerging drugs for the treatment of patients with non-alcoholic fatty liver disease [J]. *World J Gastroenterol*, 2014, 20: 16841–16857.
- [33] Song Lh, Zhao XG, Ouyang PL, *et al.* Combined effect of n -3 fatty acids and phytosterol esters on alleviating hepatic steatosis in non-alcoholic fatty liver disease subjects: A double-blind placebo-controlled clinical trial [J]. *British J Nutr*, 2020, 123(10): 31.
- [34] Pan FG, Wen BL, Luo XD, *et al.* Influence of refining processes on the bioactive composition, *in vitro* antioxidant capacity, and their correlation of perilla seed oil. [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(4): 15070.
- [35] 胡宝祥, 卢君, 沈振陆, 等. 植物甾醇 HPLC-ELSD 检测方法研究[J]. *中国粮油学报*, 2008, (5): 194–196.
- Hu BX, Lu J, Shen ZL, *et al.* Determination of phytosterol by HPLC – ELSD [J]. *J Chin Cere Oil Ass*, 2008, (5): 194–196.
- [36] Franks KN, Giovanni C, Massimo R, *et al.* Development of an innovative phytosterol derivatization method to improve the HPLC-DAD analysis and the ESI-MS detection of plant sterols/stanols [J]. *Food Res Int*, 2020, 131: 108998.
- [37] Yang CS, Luo P, Zeng Z, *et al.* Vitamin E and cancer prevention: Studies with different forms of tocopherols and tocotrienols [J]. *Mol Carcinogen*, 2020, 59(4): 365–389.
- [38] Swift CE, Mann GE, Fisher GS. Gamma – tocopherol as a precursor of a red quinoid substance developed in cottonseed oil during oxidation [J]. *Oil Soap*, 1944, 21(11): 317–320.
- [39] 李辉, 罗非君, 林亲录. γ -生育酚抗癌作用研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2013, 26(3): 6–8.
- Li H, Luo FJ, Lin QL. Research progress on anticancer of γ -tocopherol [J]. *Cere Oil*, 2013, 26(3): 6–8.
- [40] Martin-Rubio AS, Sopolana P, Guillén María D. A thorough insight into the complex effect of gamma-tocopherol on the oxidation process of soybean oil by means of ^1H nuclear magnetic resonance. comparison with alpha-tocopherol [J]. *Food Res Int*, 2018, 114: 230–239.
- [41] Tomono U, Saki N, Hiroaki ODA, *et al.* γ -tocopherol is metabolized faster than α -tocopherol in young Japanese women [J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 2018, 64(6): 399–403.
- [42] 郑熠斌, 黄百芬, 许娇娇, 等. 食品中维生素 E 异构体的检测技术研究进展[J]. *理化检验(化学分册)*, 2016, 52(9): 1080–1084.
- Zheng YB, Huang BF, Xu JJ, *et al.* Recent progress of researches on inspection technologies for isomers of vitamin E [J]. *Phys Test Chem Anal Part B: Chem Anal*, 2016, 52(9): 1080–1084.
- [43] 许倩. 花生籽粒与花生芽中多酚类化合物比较代谢组学分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- Xu Q. Comparative analysis of polyphenols in peanut kernel and peanut sprout based on metabolomics [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [44] Balasundram N, Sundram K, Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses [J]. *Food Chem*, 2005, 99(1): 191–203.
- [45] 赵天瑶, 毛圣培, 王佑成, 等. 酚类化合物的提取方法及其生物活性研究进展[J]. *食品工业*, 2017, 38(12): 211–215.
- Zhao TY, Mao SP, Wang YC, *et al.* Research progress on extraction and biological activity of phenolic compounds [J]. *Food Ind*, 2017, 38(12): 211–215.
- [46] 罗薇, 宋悦凡. 酚类化合物的吸收特性及对肠道菌群的作用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(3): 701–707.
- Luo W, Song YF. Absorption characteristics of phenolic compounds and effects on intestinal flora [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(3): 701–707.
- [47] 吴娆, 马飞, 张良晓, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定紫苏籽油中 11 种酚类化合物[J]. *分析化学*, 2015, 43(10): 1600–1606.
- Wu R, Ma F, Zhang LX, *et al.* Determination of 11 phenolic compounds in *Perilla* seed oil by HPLC–MS [J]. *Chin J Chem Anal*, 2015, 43(10): 1600–1606.
- [48] 王冲, 陶璇, 冯云柯, 等. ICP-OES 和 ICP-MS 方法分析郫县豆瓣中矿物质元素的分布[J]. *中国测试*, 2019, 45(12): 62–68.
- Wang C, Tao X, Feng YK, *et al.* Analysis of mineral elements distribution in Pixian broad-bean paste based on ICP-OES and ICP-MS [J]. *Chin Measur Test Technol*, 2019, 45(12): 62–68.
- [49] 张莉华, 陈少军, 王胜南, 等. β -胡萝卜素制品中 β -胡萝卜素异构体的分析[J]. *中国食品添加剂*, 2015, (11): 163–168.
- Zhang LH, Chen SJ, Wang SN, *et al.* Analysis of β -carotene isomers in

β-carotene products [J]. China Food Addit, 2019, 45(12): 62-68.

[50] 龙应霞. 紫苏籽有效成分提取工艺及在动物生产中的应用[J]. 饲料研究, 2020, 43(9): 136-139.

Long YX. Extraction process of active ingredient of *Perilla* seeds and application in animal production [J]. Feed Res, 2020, 43(9): 136-139.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张 瑜, 硕士, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: 15110662878@163.com



张良晓, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为油料产品特异品质检测与真实性鉴别。

E-mail: zhanglx@caas.cn

“农兽药残留研究与检测”专题征稿函

食用农产品中农药、兽药残留问题是国内外广泛关注的课题。本刊特组织“**农兽药残留研究与检测**”专题, 征集的稿件主要围绕**农兽药残留标准制定与风险评估、农兽药的代谢与迁移转化、农兽药残留样品前处理方法、农兽药残留检测技术与应用、农兽药残留现场检测技术、农兽药残留市场监测与结果分析等或者您认为与本专题相关有意义的领域**。该专题计划在 2021 年 1~2 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员和专题主编刘宏程研究员和编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 **2020 年 11 月 30 日**前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题农兽药残留研究与检测):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者

登录-注册投稿-投稿选择“**专题: 农兽药残留研究与检测**”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsqa@126.com(备注: 农兽药残留研究与检测专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部