

香榧坚果中油脂和蛋白质的研究进展

于美, 张川, 曾茂茂, 何志勇, 陈洁*

(江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要: 香榧坚果营养物质丰富, 是深受人们喜爱的名贵干果。近来从香榧坚果中发现多种生物活性成分, 引起了从商者和研究者的广泛关注。本文综述了香榧坚果中油脂和蛋白质的研究现状, 对香榧坚果脂肪酸的组成、油脂的研究内容及方法、油脂的功能特性及蛋白质进行了总结, 并从油体蛋白的角度对香榧坚果中油脂和蛋白质的相互影响进行了简要讨论, 以期为更好地开发利用香榧坚果资源提供方法和思路。

关键词: 香榧坚果; 油脂; 蛋白质

Recent Advances in Research on Oils and Proteins from *Torreya grandis* Nuts

YU Mei, ZHANG Chuan, ZENG Maomao, HE Zhiyong, CHEN Jie*

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: *Torreya grandis* nuts are very precious and deeply loved by people due to its nutritional richness. Recently, a variety of bioactive compounds have been found in *Torreya grandis* nuts, and they have attracted wide attention from both traders and researchers. The intent of this paper is to review the current status of research on oils and proteins from *Torreya grandis* nuts by summarizing reported information about the lipid profile and fatty acid composition of *Torreya grandis* nuts as well as their extraction and detection methods, functional properties of oils from *Torreya grandis* nuts, and its protein content and amino acid composition. Meanwhile, a brief discussion is made about the interactions of oils and proteins considering the oleosins in *Torreya grandis* nuts. In conclusion, this review is expected to provide ideas and ways to make full use of *Torreya grandis* nut resources.

Key words: *Torreya grandis* nuts; oils; proteins

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617042

中图分类号: TS255.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 17-0252-05

引文格式:

于美, 张川, 曾茂茂, 等. 香榧坚果中油脂和蛋白质的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 252-256. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617042. <http://www.spkx.net.cn>

YU Mei, ZHANG Chuan, ZENG Maomao, et al. Recent advances in research on oils and proteins from *Torreya grandis* nuts[J]. Food Science, 2016, 37(17): 252-256. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617042.

<http://www.spkx.net.cn>

香榧 (*Torreya grandis*) 是裸子植物红豆杉科榧属常绿乔木, 在我国已有1 000 a种植历史, 是珍贵品种。国内, 香榧主要分布在浙江诸暨、东阳、嵊州等地, 而属诸暨产的香榧坚果品质最优; 国外, 日本本州、九州屋和美国的佛罗里达州、加州等地区也有种植^[1]。香榧坚果又称玉山果、玉榧、细榧、羊角榧等。坚果种仁每100 g约含: 脂肪44 g、蛋白质10 g、水6.4 g、碳水化合物29.8 g、粗纤维6.8 g、灰分2.9 g, 且香榧坚果被认为是不饱和脂肪酸含量高、具备平衡氨基酸组成^[2]、富含多种维生素矿物质^[3]

的营养物质丰富的食品。中医认为, 香榧还有抗菌、驱虫、镇咳、抗肿瘤的作用。近年来由于在榧属中发现了具有抗癌药效的紫杉醇^[4-6], 使得该属的药用价值更受关注。研究证明, 香榧中还有多种生物活性物质, 如周大铮^[7]鉴定出8个二萜类化合物并证实了香榧酯的抗肿瘤及抗病毒活性。目前香榧的研究主要集中在香榧假种皮精油成分、核仁油脂成分、核仁蛋白以及香榧生物活性成分等方面, 其中香榧中生物活性成分的研究较为广泛^[8-12], 油脂次之, 而对坚果核仁蛋白的关注相对较少^[2]。随着香榧种

收稿日期: 2015-10-14

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA102200)

作者简介: 于美(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: yumeinuan@163.com

*通信作者: 陈洁(1969—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: chenjie@jiangnan.edu.cn

植产业的增长,香榧坚果食品资源的开发利用愈受人们的关注,为更好地利用香榧坚果资源,本文就香榧坚果基本营养成分中的油脂和蛋白质进行了综述。

1 香榧坚果中油脂的研究

1.1 脂肪酸的组成

脂肪酸含量高是坚果类种子的特色,同时也是构成其香味和商业价值的重要因素。香榧作为珍贵坚果,其优良的口感和风味也是多种脂肪酸相互作用的结果。据现有研究可知,香榧坚果含油率为42.67%~61.47%^[3,13],含油率高是香榧炒货酥脆的重要原因。其脂肪酸以亚油酸、油酸等不饱和脂肪酸为主;饱和脂肪酸以山嵛酸为主,其次是棕榈酸^[13]。陈振德等^[14]研究认为,榧属种子种间脂肪酸组成大体相似:油脂含量42.67%~54.39%;饱和脂肪酸含量占脂肪酸含量的20%左右,以山嵛酸和棕榈酸为主,山嵛酸构成了榧属种子脂肪酸的特征性成分;不饱和脂肪酸含量占脂肪酸含量的80%左右,亚油酸和油酸含量高。香榧坚果油样为淡黄色清状液,具有淡淡甜味和独特的油脂芳香气味^[13]。将香榧同大豆和花生的油样比较而言,香榧坚果中的棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、花生一烯酸的含量与大豆、花生中的同类脂肪酸含量相近;香榧中花生酸、木焦油酸含量略低,亚麻酸含量比大豆低,但高于花生;花生中也有山嵛酸,但香榧中山嵛酸的含量是花生的3倍以上;而香榧总脂肪酸的含量高于大豆(表1)。同时,香榧油的折光率是1.471 7,高于花生油而与大豆油接近;其皂化值为189.46 mg KOH/g,低于花生油,和大豆油接近;香榧油的碘价为124.90 g I₂/100 g,比花生油的要高。根据碘价,香榧油为半干性的油类^[15]。由此可见香榧的脂肪酸营养价值可以媲美花生、大豆,是一种优质的植物油资源。

表1 香榧坚果、大豆、花生中脂肪酸成分对比^[3,13-25]

Table 1 Comparative analysis of fatty acids from *Torreya grandis* nuts, soy bean and peanut^[3,13-25]

脂肪酸	香榧	大豆	花生
棕榈酸(C _{16:0})/%	7.45~10.24	10.20~12.15	5.26~13.76
硬脂酸(C _{18:0})/%	3.24~3.45	3.24~4.15	1.73~6.49
油酸(C _{18:1})/%	26.00~35.52	17.29~46.84	36.97~82.20
亚油酸(C _{18:2})/%	39.60~41.90	33.43~57.80	25.18~44.60
亚麻酸(C _{18:3})/%	0.33~0.65	3.86~8.76	0.05~0.58
花生酸(C _{20:0})/%	0.18~0.39	0.26~0.38	0.90~2.61
花生一烯酸(C _{20:1})/%	0.66~0.94	0.18~0.30	0.63~2.45
山嵛酸(C _{22:0})/%	12.20	0.00~0.40	2.23~4.77
木焦油酸(C _{24:0})/%	0.01	0.10	0.60~2.10
不饱和脂肪酸/%	74.10~82.00	84.70	84.40~54.50
总脂肪酸/%	42.67~61.47	18.60~30.10	37.90~55.40
折光率(25℃)	1.471 7	1.472 9	1.469 1
皂化值/(mg KOH/g)	189.46	190.60	192.10
碘价/(g I ₂ /100 g)	124.90	130.00	93.40

注:总脂肪酸为占香榧坚果的质量分数,其他数据均为单种脂肪酸占总脂肪酸的质量分数。

然而,虽然香榧坚果中不饱和脂肪酸含量与大豆、花生相当,但对该坚果中脂肪酸的研究却不如大豆^[26]、花生^[27]、菜籽^[28]、橄榄^[27]等植物中的脂肪酸深入,因此应加深对香榧坚果中脂肪酸的研究,如加工方法对脂肪酸的影响及脂肪酸间相互作用对营养价值的影响等,使人们更加充分地认识香榧坚果中脂肪酸的营养价值,为开发香榧坚果油脂食品资源提供参考。

1.2 油脂的研究内容及方法

香榧坚果中油脂的研究方法普遍为:先采用一般植物油的制备方法提取,后对提取组分进行鉴定和营养价值的探索。而传统植物油的制备多采用机械压榨法和溶剂浸提法。压榨法是物理制备油脂的方法,它制得的油脂品质好、风味纯正,但出油率低、产品杂质多;浸提法是通过有机溶剂的多次提取制备油脂,存在溶剂回收困难和有机溶剂残留的问题^[29]。近来利用超临界CO₂对脂质的特殊溶解作用进行油脂制备,具有操作简便、过程短、萃取剂临界点低、无溶剂残留等特点^[30],被越来越多的应用于植物油的提取中,成为研究热点。香榧坚果中油脂的研究方法及研究内容如表2所示。

表2 香榧坚果中的油脂研究内容及方法

Table 2 Recent publications on the extraction and analysis of oils from *Torreya grandis* nuts

研究内容	提取及分析方法	研究结果	文献来源
香榧种子油脂分析	浸提法;气相色谱分析	香榧种仁种子含油量为54.39%,存放1 a后含油量略降	余象煜等 ^[13]
国产榧属种子油含量及脂肪酸测定	索氏抽提;气相色谱分析	种子油含量42.67%~54.39%,脂肪酸组成以亚油酸和油酸为主	陈振德等 ^[14]
香榧子油脂肪酸和不皂化物组成分析	浸提法;气相色谱-质谱分析	香榧子油主要脂肪酸组成及含量,确定金松酸含量,并指出不皂化物组成	牛丽颖等 ^[16]
香榧子油理化性质及脂肪酸组成	索氏抽提;气相色谱分析	香榧油含量、酸值碘价等理化性质以及12种脂肪酸组成中主要脂肪酸含量	李红等 ^[13]
香榧子油萃取及脂肪酸组成比较分析	超临界CO ₂ 流体萃取;气相色谱-质谱分析	萃取最佳工艺为:压力30 MPa、温度50℃、时间2 h,萃取率达16.2%;香榧子油主要含10种脂肪酸	阙斐等 ^[17]
香榧子超临界萃取物分析	超临界CO ₂ 流体萃取;气相色谱-质谱分析	超临界萃取脂肪油含量为16.21%,气相色谱-质谱分析确定脂肪酸主要组成	赵鹏等 ^[31]

由表2可知,香榧坚果中油脂的研究多采用溶剂法和超临界CO₂萃取法制备,气相色谱或气相色谱-质谱联用进行分析,从而研究其油脂的理化性质、脂肪酸的组成等,为其应用打下了基础。随着科技水平的提高,更多的分析方法都可以应用到油脂的检测中,且准确、快速。目前,已报道的检测植物油中油脂含量的常用方法还有红外检测^[32]、拉曼光谱^[33]、核磁共振技术^[34]等。研究者可根据不同的目的将这些技术应用到香榧坚果的研究中。

1.3 油脂的功能特性

香榧坚果总脂肪酸含量在42.67%~61.47%之间^[3,13],从中提取的脂肪酸不仅具有良好的组成成分,还有一定的功能特性,如降血脂、抗肿瘤、预防动脉粥样硬化、促进新陈代谢等作用。因为香榧坚果中的脂肪酸可以抑制脂肪酸合成酶(fatty acid synthase, FASN)的活性,

从而使其具有抗肿瘤的作用。FASN主要负责从头合成长链饱和脂肪酸，在肿瘤和瘤病变前组织中，FASN的表达水平很高^[35]，已被认定为是恶性肿瘤的分子标志^[36]。牛丽影等^[16]成功探测到香榧子油中含有金松酸，且所占含量为8.65%。有研究表明，金松酸对大鼠的血脂具有显著调节作用，并可抑制肝脏中FASN的活性^[37]。同时她还发现了油中的不皂化物，如谷甾醇、生育酚以及萜类物质的存在大大丰富了该脂肪酸的功能性。由此可见，香榧坚果中的其他活性成分可能与脂肪酸产生协同作用，增强其功能特性。再者香榧坚果中的脂肪酸可以减少血小板的聚集促进其扩张，因此可预防动脉粥样硬化。陈振德等^[38]从血脂、血清血栓素（thromboxane, TXA-2）、前列腺环素（prostacyclin, PGI-2）、TXA-2/PGI-2比值及内皮素（endothelin, ET）等方面探讨了香榧坚果中的脂肪酸对预防动脉粥样硬化形成的可能性，认为香榧坚果中的脂肪酸能升高PGI-2，降低TXA-2、TXA-2/PGI-2比值，预防动脉粥样硬化。同时，香榧坚果中的脂肪酸还可以降低血液中的三酰甘油水平，有降血脂作用。如Endo等^[39]研究了日本香榧坚果中的脂肪酸对大鼠新陈代谢的作用后得出，该脂肪酸可以有效降低大鼠肝脏及血清中的三酰甘油水平，有利于促进大鼠的新陈代谢。

总体来看，香榧坚果脂肪酸组成多样，且具有一定的功能特性及较高的营养价值。但关于香榧脂肪酸的功能特性方面还需进一步研究，如其产生功能特性的机制、脂肪酸与其他活性成分相互作用对功能特性的影响以及其在食品及其他领域内的应用和相关产品的研发。故加深对香榧坚果中油脂的研究，也是开发香榧坚果资源必做的事之一。

2 香榧坚果中蛋白质的研究

蛋白质是香榧坚果中主要营养成分，含量较丰富。有文献证实，香榧坚果蛋白平均含量在10%左右，氨基酸有17种，总含量达118.1 g/kg，且必需氨基酸占氨基酸总量的38.61%^[3]，具有很好的营养价值。将香榧坚果氨基酸组成与大豆、花生的氨基酸组成进行比较并参照联合国粮食及农业组织/世界卫生组织（Food Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO）模式进行氨基酸价值评价，由表3可知，香榧中含有除色氨酸外的7种人体必需氨基酸^[2]，其中异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、苏氨酸、缬氨酸的含量明显高于大豆、花生的相应氨基酸含量；甲硫氨酸+胱氨酸的含量最低，成为香榧中的限制性氨基酸。非必需氨基酸中的谷氨酸和天冬氨酸的含量相较于花生偏低，但与大豆中的含量相当；与大豆、花生相较，单种氨基酸的含量总体不低。根据FAO/WHO模式给出的参考，利用氨基酸比值系数分（score of ratio coefficient of amino acid, SRC）^[40]分析单种必需氨基酸偏离FAO/WHO模式的离散程度可

知，香榧坚果、大豆、花生的氨基酸营养价值由高到低排序为：大豆>香榧坚果>花生，因此可看出香榧是一种重要的必需氨基酸营养源。

表3 香榧坚果与大豆、花生氨基酸组成分析及与FAO/WHO模式比较^[3,22,41-42]
Table 3 Comparison of amino acid composition of *Torreya grandis* nuts, beans, peanuts and the FAO/WHO pattern^[3,22,41-42]

		mg/g pro			
	氨基酸种类	香榧坚果	大豆	花生	FAO/WHO模式
必需氨基酸	异亮氨酸	51.22	27.46~36.52	28.30~33.50	40.00
	亮氨酸	66.82	45.55~62.11	68.60~75.70	70.00
	赖氨酸	48.26	50.05~67.06	25.10~34.30	55.00
	甲硫氨酸+胱氨酸	19.30	21.91~33.11	2.60~21.70	35.00
	苯丙氨酸+酪氨酸	98.00	45.25~67.04	70.40~89.80	60.00
	苏氨酸	43.80	24.03~31.65	18.00~23.10	40.00
	缬氨酸	69.78	27.71~35.10	38.30~42.20	50.00
	色氨酸	—	—	—	10.00
	谷氨酸	100.97	114.17~146.91	223.00~243.00	—
	天冬氨酸	90.57	73.98~93.67	123.00~176.00	—
非必需氨基酸	丝氨酸	53.45	41.53~50.81	48.20~54.30	—
	甘氨酸	47.51	26.84~34.57	52.80~82.60	—
	组氨酸	20.04	3.68~6.16	21.00~26.50	—
	精氨酸	77.21	42.27~58.60	89.80~112.00	—
	丙氨酸	43.80	26.04~33.44	46.70~55.60	—
SRC ^[40]		70.09	82.38~83.94	48.38~64.98	—

注：—. 原始数据未给出。

目前为止，借助蛋白质和多肽电泳技术对香榧蛋白组成进行研究，结果表明香榧蛋白中主要多肽分子质量为33、31、20 kD，低于31 kD有一条含量较多的30 kD的条带，高于55 kD的区域有3条含量较少的条带，且蛋白质和多肽的组成稳定^[43]。而且还有研究结果表明，利用蛋白电泳的结果可以作为香榧与其他榧子品种的鉴别方法。陈振德等^[44]通过高效毛细管蛋白电泳发现榧子不同种间的蛋白图谱有明显的差异；王焕弟^[12]采用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳（sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE）法对不同栽培品种榧子的可溶性蛋白进行了分离并分析，发现不同栽培品种的榧子的电泳谱带在数目、迁移率及强度方面有显著的差异。这说明香榧坚果蛋白在种属间存在较大的差异，可以根据蛋白电泳图谱的不同，鉴别出香榧品种。

有关香榧坚果蛋白的氨基酸组成及所属的多肽片段等基本性质，目前已有一定的了解。但是根据文献资料显示，关于香榧坚果蛋白的研究还远远不够，远不及大豆蛋白^[45-47]、花生蛋白^[48-50]、油菜籽蛋白^[51-52]、亚麻籽蛋白^[53-54]的研究广泛及深入，如探究其提取分离纯化制备的工艺、对食品加工质构特性的影响、生物功能特性、化学改性方法、空间结构等基础特征信息。因此，进一步深入研究香榧坚果蛋白的组成、物理化学性质、功能特性、空间结构和在食品贮藏加工过程中变化等的研究，这些都对促进香榧坚果蛋白食品资源的开发利用显得尤为必要。

3 香榧坚果中油脂和蛋白质相互影响的探索

油体 (oil bodies) 是植物种子贮存脂肪酸的重要细胞器, 所贮存的脂类为植物种子萌发和幼苗的生长提供能量^[55-56]。油体外面由一层磷脂构成, 磷脂与蛋白质结合形成了能维持油体结构稳定的半单位膜, 称为油体蛋白 (oleosins)^[57]。油体蛋白是油体中含量最丰富的结构蛋白, 多数种子中的油体蛋白是一种疏水碱性小分子质量蛋白, 分子质量为15~26 kD^[58], 包含3个基本结构域: 中心疏水区和两亲性的C末端、N末端。两亲末端带负电的残基可以使油体产生静电斥力和空间位阻, 阻止油体相互融合^[59], 从而增加油体的稳定性, 使油体以一定分散而又稳定的状态贮藏在种子组织中。油体蛋白有重要的应用价值, 既可作为裸子植物和被子植物不同科属之间的鉴别^[60], 也可以作为良好的乳化剂应用于食品、药品及化妆品产业, 还可以构建用于包埋益生菌、香味成分、风味物质等活性物质的人工油体^[61]。橄榄果^[62]、大豆^[63]、油菜籽^[64]、向日葵籽^[55]等多种种子油体蛋白已被人们广泛地进行了研究。

香榧坚果中油脂含量高, 蛋白质含量也在10%, 因此该坚果中油体的存在状况也不容忽略。油体可以看作是脂质与蛋白质相互作用的结果, 影响到香榧坚果中脂质和蛋白质的提取、分离、纯化以及功能特性的研究。因此, 积极探索香榧坚果中脂质与蛋白的相互作用、油体蛋白的存在状态和油体蛋白, 这有利于香榧坚果中脂质和蛋白质的研究。

4 结 语

香榧是榧树的优良栽培品种, 其种子作为名贵干果, 含多种不饱和脂肪酸、氨基酸, 蛋白质等高营养物质, 存在较大的经济价值和开发潜力。随着香榧树种植面积和产量的日渐增加, 将缓解香榧坚果的稀缺性, 香榧坚果内基本的营养物质和功能物质的研究也需尽快推进, 以适应市场多元化的需求。同时, 香榧作为高经济价值产品的开发日渐增加, 其剩余的副产品或下脚料也会增多, 为了更好地利用这一资源, 对其坚果内不同营养成分的再回收利用也提出了挑战。全面整体地研究香榧坚果内的油脂、蛋白质及其他物质, 有利于更好地开发利用香榧坚果资源。

参考文献:

- [1] 黎章矩, 程晓建, 戴文圣, 等. 浙江香榧生产历史, 现状与发展[J]. 浙江林学院学报, 2005, 21(4): 471-474. DOI:10.3969/j.issn.2095-0756.2004.04.023.
- [2] 谢磊. 香榧中蛋白氨基酸成分分析[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(3): 106-107. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2003.03.048.

- [3] 黎章矩, 骆成方, 程晓建, 等. 香榧种子成分分析及营养评价[J]. 浙江林学院学报, 2006(5): 540-544. DOI:10.3969/j.issn.2095-0756.2005.05.014.
- [4] YANG Xuefeng, LIU Kailu, MAN Xie. Purification of taxol by industrial preparative liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1998, 813(1): 201-204. DOI:10.1016/S0021-9673(98)00332-X.
- [5] 陈振德, 郑汉臣, 张虹, 等. 一种制备紫杉醇的新方法: 98110822.9[P]. 1998-11-04.
- [6] 吕阳成, 宋进, 骆广生. 香榧假种皮中紫杉醇的检定[J]. 中药材, 2005, 28(5): 370-372. DOI:10.3321/j.issn.1001-4454.2005.05.005.
- [7] 周大铮. 香榧中抗艾滋病病毒先导化合物的研究和结构修饰[D]. 上海: 上海第二军医大学, 2004: 70-71.
- [8] SAEED M K, DENG Y, PERVEEN Z, et al. Polyphenolic content, flavonoids and optimal recovery of 5,7,4'-trihydroxyflavone from *Torreya grandis* Fort. ex. Lindl Wseas[J]. Transactions on Biology and Biomedicine, 2006, 3(6): 484-491.
- [9] SAEED M K, DENG Y, PARVEEN Z, et al. Studies on the chemical constituents of *Torreya grandis* Fort. ex. Lindl[J]. Journal of Applied Sciences, 2007, 7(2): 269-273.
- [10] 曾国洲, 王延. 榧属中的抗癌黄酮: 90-101584[P]. 1990-03-20.
- [11] SAEED M K, DENG Y, DAI R, et al. Appraisal of antinociceptive and anti-inflammatory potential of extract and fractions from the leaves of *Torreya grandis* Fort Ex. Lindl[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 127(2): 414-418. DOI:10.1016/j.jep.2009.10.024.
- [12] 王焕弟. 香榧子化学成分, 抗氧化活性及可溶性蛋白研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 41-49.
- [13] 李红, 张露, 刘延奇, 等. 香榧子油的理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(5): 65-69. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2012.05.014.
- [14] 陈振德, 傅秋华. 国产榧属植物种子油含量及其脂肪酸测定[J]. 中国中药杂志, 1998, 23(8): 456-457.
- [15] 余象煜, 冯耀南, 李平. 香榧种子的油脂分析[J]. 浙江大学学报(理学版), 1982, 9(3): 324.
- [16] 牛丽影, 吴晓琴, 张英. 香榧籽油的脂肪酸及不皂化物组成分析[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(6): 52-55.
- [17] 阙斐, 张星海, 赵粼. 香榧籽油的超临界萃取及其脂肪酸组成的比较分析研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(2): 33-36. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2013.02.007.
- [18] WANG Mingli, RAYMER P, CHINNAN M, et al. Screening of the USDA peanut germplasm for oil content and fatty acid composition[J]. Biomass & Bioenergy, 2012, 39(8): 336-343. DOI:10.1016/j.biombioe.2012.01.025.
- [19] MAGUIRE L S, O'SULLIVAN S M, GALVIN K, et al. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut[J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 2004, 55(3): 171-178. DOI:10.1080/09637480410001725175.
- [20] KNAUFT D A, MOORE K M, GORBET D W. Further studies on the inheritance of fatty acid composition in peanut[J]. Peanut Science, 1993, 20(2): 74-76. DOI:10.3146/j0095-3679-20-2-2.
- [21] RAMOS M J, FEMANDEZ C M, CASAS A, et al. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(1): 261-268. DOI:10.1016/j.biortech.2008.06.039.
- [22] ANDERSEN P C, HILL K, GORBET D W, et al. Fatty acid and amino acid profiles of selected peanut cultivars and breeding lines[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 1998, 11(2): 100-111. DOI:10.1006/jfca.1998.0565.

- [23] CHERRY J H, BISHOP L, HASEGAWA P M, et al. Differences in the fatty acid composition of soybean seed produced in northern and southern areas of the U.S.A.[J]. *Phytochemistry*, 1985, 24(2): 237-241. DOI:10.1016/S0031-9422(00)83527-X.
- [24] HEMINGWAY J, ESKANDARI M, RIJCAN I. Genetic and environmental effects on fatty acid composition in soybeans with potential use in the automotive industry[J]. *Crop Science*, 2015, 55(2): 658-668. DOI:10.2135/cropsci2014.06.0425.
- [25] 厦门大学生物系. 化学实验基本方法(下册)[M]. 厦门: 厦门大学, 1979: 154-163.
- [26] 陈锋亮, 魏益民, 钟耕. 大豆油高温煎炸质变过程的研究[J]. *中国油脂*, 2006, 31(8): 19-22. DOI:10.3321/j.issn:1003-7969.2006.08.006.
- [27] 姚云游. 花生油与橄榄油营养价值的比较[J]. *中国油脂*, 2005, 30(4): 66-68. DOI:10.3321/j.issn:1003-7969.2005.04.020.
- [28] 杨涓, 刘昌盛, 周琦, 等. 加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(4): 551-557.
- [29] 杨庆利, 禹山林, 秦松. 超临界CO₂流体萃取海滨锦葵籽油的工艺条件优化[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(5): 253-257. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2009.05.47.
- [30] BRUNNER G. Supercritical fluids: technology and application to food processing[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 67(1): 21-33. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.060.
- [31] 赵艮, 张星海, 虞培力. 香榧子超临界萃取物的气相色谱-质谱分析[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(1): 186-188. DOI:10.3969/j.issn.0439-8114.2013.01.053.
- [32] 郭峥, 张娟, 袁洪福, 等. 近红外光谱快速测定调合食用油成分含量可行性研究[J]. *现代仪器*, 2010(6): 21-22. DOI:10.3969/j.issn.1672-7916.2010.06.006.
- [33] 东野广智, 周群, 孙素琴, 等. 亚麻油组分的红外和拉曼光谱分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2000, 20(6): 836-837. DOI:10.3321/j.issn:1000-0593.2000.06.029.
- [34] MAZZANTI G, MUDGE E M, ANOM E Y. *In situ* Rheo-NMR measurements of solid fat content[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2008, 85(5): 405-412. DOI:10.1007/s11746-008-1227-9.
- [35] SWIERCZYNSKI J, SLEDZINSKI T. Metabolic and regulatory function of fatty acid synthase[J]. *Postepy Biochemii*, 2011, 58(2): 175-185.
- [36] RAHMAN M T, NAKAYAMA K, ISHIKAWA M, et al. Fatty acid synthase is a potential therapeutic target in estrogen receptor-progesterone receptor-positive endometrioid endometrial cancer[J]. *Oncology*, 2013, 84(3): 166-173. DOI:10.1159/000342967.
- [37] WOLFF R L, PEDRONO F, MARPEAU A M, et al. The seed fatty acid composition and the distribution of Δ 5-olefinic acids in the triacylglycerols of some Taxaceae (*Taxus* and *Torreya*)[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1998, 75(11): 1637-1641. DOI:10.1007/s11746-998-0105-9.
- [38] 陈振德, 郑汉臣. 香榧子油对实验性动脉粥样硬化形成的影响[J]. *中药材*, 2000, 23(9): 551-553. DOI:10.3321/j.issn:1001-4454.2000.09.021.
- [39] ENDO Y, OSADA Y, KIMURA F, et al. Effects of Japanese torreyia (*Torreya nucifera*) seed oil on lipid metabolism in rats[J]. *Nutrition*, 2006, 22(5): 553-558. DOI:10.1016/j.nut.2005.08.012.
- [40] 钱爱萍, 颜孙安, 林香信, 等. 家禽肉中氨基酸组成及营养评价[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(13): 94-97.
- [41] KUHN K R, NETTO F M, CUNHA R L D, et al. Assessing the potential of flaxseed protein as an emulsifier combined with whey protein isolate[J]. *Food Research International*, 2014, 58: 89-97. DOI:10.1016/j.foodres.2014.01.006.
- [42] 陈团伟, 康彬彬, 苏丽青, 等. 福建省花生主栽品种的营养品质分析[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(11): 141-145. DOI:10.3969/j.issn.1000-6850.2007.11.033.
- [43] 胡志昂, 王洪新. 蛋白质多样性和品种鉴定[J]. *植物学报*, 1991, 33(7): 556-564.
- [44] 陈振德, 郑汉臣. 榧子蛋白高效毛细管电泳法鉴别[J]. *中草药*, 2000, 31(5): 377-379. DOI:10.3321/j.issn:0253-2670.2000.05.031.
- [45] QI Guangyan, VENKATESHAN K, MO X, et al. Physicochemical properties of soy protein: effects of subunit composition[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(18): 9958-9964. DOI:10.1021/jf201077b.
- [46] YANG Jieping, LEE R, HENNING S M, et al. Soy protein isolate does not affect ellagitannin bioavailability and urolithin formation when mixed with pomegranate juice in humans[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 1300-1303. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.08.099.
- [47] PAUL G, MENDELSON G J. Evidence supports the use of soy protein to promote cardiometabolic health and muscle development[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2015, 34(Suppl 1): 56-59. DOI:10.1080/07315724.2015.1080531.
- [48] KURDRE T G, BENJAKUL S. Physicochemical and functional properties of beany flavor-free bambara groundnut protein isolate[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(6): 1238-1247. DOI:10.1002/jsfa.6404.
- [49] PLUNDRICH N J, WHITE B L, DEAN L L, et al. Stability and immunogenicity of hypoallergenic peanut protein-polyphenol complexes during *in vitro* pepsin digestion[J]. *Food & Function*, 2015, 6(7): 2145-2154. DOI:10.1039/C5FO00162E.
- [50] LI Chen, HUANG Xingjian, PENG Qiang, et al. Physicochemical properties of peanut protein isolate-glucosaminoglycans prepared by ultrasonic treatment[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, 21(5): 1722-1727. DOI:10.1016/j.ultsonch.2014.03.018.
- [51] TEH S S, BEKHIT A E D, CARNE A, et al. Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seed cake protein isolates[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2014, 8(2): 92-104. DOI:10.1007/s11694-013-9168-x.
- [52] KHATTAB R Y, ARNTFIELD S D. Functional properties of raw and processed canola meal[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(6): 1119-1124. DOI:10.1016/j.lwt.2009.02.009.
- [53] KAUSHIK P, DOWLING K, MCKNIGHT S, et al. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate[J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 212-220. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.106.
- [54] 蒋涛, 杨文钰, 刘卫国, 等. 套作大豆贮藏蛋白、氨基酸组成分析及营养评价[J]. *食品科学*, 2012, 33(21): 275-279.
- [55] NIKIFORIDIS C V, KIOSSEOGLOU V, SCHOLTEN E. Oil bodies: an insight on their microstructure-maize germ vs sunflower seed[J]. *Food Research International*, 2013, 52(1): 136-141. DOI:10.1016/j.foodres.2013.02.052.
- [56] CHEN Bingcan, MCCLEMENTS D J, GRAY D A, et al. Physical and oxidative stability of pre-emulsified oil bodies extracted from soybeans[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(3): 1514-1520. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.11.144.
- [57] MURPHY D J, HEMANDEZ P I, PATEL K. Role of lipid bodies and lipid-body proteins in seeds and other tissues[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2001, 158(4): 471-478. DOI:10.1078/0176-1617-00359.
- [58] TZEN J T, HUANG A H. Surface structure and properties of plant seed oil bodies[J]. *The Journal of Cell Biology*, 1992, 117(2): 327-335. DOI:10.1083/jcb.117.2.327.
- [59] TZEN J T C, CHUANG R L C, CHEN J C F, et al. Coexistence of both oleosin isoforms on the surface of seed oil bodies and their individual stabilization to the organelles[J]. *Journal of Biochemistry*, 1998, 123(2): 318-323. DOI:10.1093/jcp/pcf142.
- [60] 王秀春, 杨素铀, 蒯玉琴, 等. 裸子植物和被子植物不同科属间油体蛋白的电泳鉴别[J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1994, 4(30): 53-56.
- [61] HARADA T, KASHIHARA K, NIO N. Oleosin/phospholipid complex and process for producing the same: 2002026788[P]. 2002-04-04.
- [62] ALCHE J D, JIMENEZ-LOPEZ J C, WANG W, et al. Biochemical characterization and cellular localization of 11S type storage proteins in olive (*Olea europaea* L.) seeds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(15): 5562-5570. DOI:10.1021/jf060203s.
- [63] DAMODARAM S, ARORA A. Off-flavor precursors in soy protein isolate and novel strategies for their removal[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2013, 4(1): 327-346. DOI:10.1146/annurev-food-030212-182650.
- [64] LACEY D J, HILLS M J. Heterogeneity of the endoplasmic reticulum with respect to lipid synthesis in developing seeds of *Brassica napus* L.[J]. *Planta*, 1996, 199(4): 545-551. DOI:10.1007/BF00195185.