

# 我国油茶资源研究与开发利用现状及展望

陈丰林, 谢海, 游昌乔, 蒋帅, 彭果, 周苹, 郭新红\*

(湖南大学 生物学院 植物功能基因组学与发育调控湖南省重点实验室, 中国湖南 长沙 410082)

**摘要:** 本文主要从茶油主要成分及质量评价体系、生物和非生物胁迫对油茶生长的影响及应对措施、品种选育及栽培、油茶油脂生物合成途径调控、油茶的资源化利用等方面进行了综述。植物激素是植物生长发育过程中不可缺少的物质, 研究植物激素在油茶生长发育和油脂合成过程中的作用, 开发安全高效的刺激剂, 对油茶的丰产育种具有重要意义。生物菌肥能调节植物生长, 增加作物产量。多功能生物菌肥的开发和利用, 将提高油茶产量。将构建油茶遗传转化体系与多组学分析技术相结合, 研究油茶油脂合成代谢途径, 可以为油茶分子育种提供新思路。

**关键词:** 油茶(*Camellia oleifera* Abel.); 组学研究; 植物激素信号调控; 生物菌肥; 资源利用

中图分类号: Q949.93

文献标识码: A

文章编号: 1007-7847(2021)05-0425-07

## Current Situation and Prospect of Research, Development and Utilization of *Camellia oleifera* Resources in China

CHEN Feng-lin, XIE Hai, YOU Chang-qiao, JIANG Shuai, PENG Guo, ZHOU Ping, GUO Xin-hong\*

(Hunan Province Key Laboratory of Plant Functional Genomics and Developmental Regulation, School of Biology, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China)

**Abstract:** In this paper, the main compositions and quality evaluation system of the tea-oil, impact of biotic and abiotic stresses on growth and development of *Camellia oleifera* and its counter measures, variety breeding and cultivation, regulation of biosynthetic pathways and resource utilization were reviewed. Plant hormones are indispensable for plant growth and development. It is of great significance for breeding high-yield varieties to study their roles in *C. oleifera* and to develop safe and efficient stimulants. Bio-fertilizer can regulate plant growth and increase crop yield. The development and utilization of multifunctional bio-fertilizer will increase the yield of *C. oleifera*. A combination of genetic transformation system construction with multi-omics analysis to study the metabolic pathways of oil synthesis can provide new ideas for *C. oleifera* molecular breeding.

**Key words:** *Camellia oleifera* Abel.; omics research; plant hormone signal regulation; bio-fertilizer; resource utilization

(*Life Science Research*, 2021, 25(5): 425~431)

油茶(*Camellia oleifera*)属山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*), 是我国最重要的木本油料植物之一。据报道, 全国油茶种植面积从2013年的383.3万公顷, 增长到2019年的453.3万公顷<sup>[1]</sup>。

茶油具有极高的营养价值, 不饱和脂肪酸含

量高, 是优质的植物油。其中, 油酸的含量高达80%<sup>[2]</sup>。油茶饼粕的提取物中还含有丰富的茶多酚, 这些生物活性提取物具有显著的抗氧化、清除自由基、保护细胞膜结构、抑制炎症和抗肿瘤等多种生物学作用<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2021-08-25; 修回日期: 2021-09-16

基金项目: 湖南省科技创新计划项目(2019NK2081); 国家重点研发计划项目(2017YFF0210303); 国家自然科学基金资助项目(31872866, 31540064)

作者简介: 陈丰林(1987—), 男, 湖南衡阳人, 博士研究生; 陈丰林和谢海对本文的贡献相同, 为本文共同第一作者; \*通信作者: 郭新红(1975—), 女, 湖南娄底人, 博士, 湖南大学教授, 主要从事植物生物资源研究, E-mail: gxh@hnu.edu.cn。

目前,油茶的研究主要集中在油茶加工产品、油茶主要成分及质量评价体系、生物胁迫和非生物胁迫对油茶的影响及应对措施、品种选育及栽培、根际微生物群落、茶油生物合成途径调控等方面。油茶的激素信号调控、组学研究、转基因技术分子育种、生物菌肥的开发等将是今后油茶研究的重点方向。下文将对油茶资源研究与开发利用现状和展望进行综述。

## 1 油茶资源研究与开发利用现状

### 1.1 茶油主要成分及质量评价体系

油茶种仁含油率为40%~60%,茶油主要成分包括不饱和脂肪酸(主要是油酸和亚油酸,含量占84%以上)、少量饱和脂肪酸(棕榈酸、硬脂酸等,含量约为13%)以及维生素等,山茶物种间及油茶品种间的遗传差异和茶油加工工艺的不同,导致了这些营养成分及其含量的差异<sup>[4]</sup>。目前,我国茶油产品质量良莠不齐,产业亟需规范化,建立稳定可靠、可操作性强的质量评价体系迫在眉睫。田潇潇<sup>[5]</sup>在测定不同植物油中的甘油三酯组成的基础上,结合分析植物甾醇的分布情况来鉴别茶油和其他植物油,为茶油鉴别真伪提供了理论指导。

### 1.2 油茶品种选育及栽培

我国主要栽培的山茶物种有普通油茶(*Camellia oleifera*)、腾冲红花油茶(*C. reticulata*)、浙江红花油茶(*C. chekiangoleosa*)、攸县油茶(*C. yuhsienensis*)、小果油茶(*C. meiocarpa*)、威宁短柱油茶(*C. weiningensis*)、越南油茶(*C. vietnamensis*)、栓壳红山茶(*C. phellocapsa*)和广宁红山茶(*C. semiserrata*)等。油茶良种选育的研究工作开始于20世纪60年代,目前已选育出优良农家品种、优良家系、优良无性系和优良杂交组合等油茶良种,生产上应用的良种有200余个。油茶优良无性系已成为我国油茶生产上最重要的良种资源,如湖南省林业科学研究所的“湘林系列”、江西省的“赣州油系列”“赣无系列”、中国林业科学研究院亚热带林业研究所的“长林系列”、湖北省林业科学研究所的“鄂林系列”、广西省林业科学研究所的“岑软系列”“桂无系列”、浙江省的“浙林系列”等。云南省林业科学院研究所选育了“云油茶3号”“云油茶4号”“云油茶9号”“云油茶13号”“云油茶14号”等5个油茶优良无性系品种<sup>[6]</sup>。黎曙光等<sup>[7]</sup>报道了油茶新品种“长林53号”。王晶<sup>[8]</sup>在河南本地的实生林中选育出了具有高产、抗病虫、抗寒等优良性状的

“豫油茶1-7号”。吴鹏飞等<sup>[9]</sup>采用田间调查方法和病情指数法,筛选出10份抗炭疽病的无性系品种,为后续抗病育种提供了育种基础材料和参考依据。

相较于无性系选育,油茶的杂交育种起步较晚。中南林业科技大学袁德义课题组以攸县油茶“攸杂2”为母本,以普通油茶“华硕”为父本进行种间杂交,获得了47株代杂交子代苗,并根据杂交 $F_1$ 代苗的适应性、早实性和抗病性等早期生长表现,从 $F_1$ 代杂交实生苗中初选出18个表现较好的优良单株<sup>[10]</sup>。李晓春等<sup>[11]</sup>选取长林4号、长林18号、长林40号、长林53号、赣68、赣70、赣无2、华硕、湘210号、赣石84-8、赣兴48等11个油茶无性系材料,采用人工杂交控制授粉,分析了21个杂交组合的杂交亲和力,筛选出赣70(♂)×长林53号(♀)、赣68(♂)×长林53号(♀)、赣石84-8(♂)×长林53号(♀)、长林4号(♂)×长林53号(♀)、赣70×长林4号(♀)、赣无2×长林4号(♀)等6个最佳配置组合。陈永忠等<sup>[12]</sup>通过油茶优良无性系杂交子代和亲本无性系的对比试验,在41个全同胞子代中选育出5个优良杂交组合,其平均每公顷的产油量比对照组增产30%~100.8%。

相对于传统的无性系选育和杂交育种,分子育种,特别是结合组学研究的分子育种,可以针对某一特定性状进行定向改良,具有巨大的发展潜力。Lin等<sup>[13]</sup>利用4个不同发育时期的油茶种子,结合油脂含量测定和转录组学分析,发现了许多与油脂合成相关的差异基因。Peng等<sup>[14]</sup>对不同发育阶段的油茶籽仁进行了全转录组分析,发现了大量潜在的关键调控因子,这些调控因子可以控制干仁含油量、油酸、亚油酸、亚麻酸、鲜籽率和粒籽比。Gong等<sup>[15]</sup>借助转录组学技术对油茶种子在5个不同发育阶段的油脂合成和积累过程进行了研究,发现有7个“基因模块”和每个模块的中心基因与含油量显著相关,并认为*WRI1*与编码石油合成关键酶的17个基因存在相互作用,转录因子*MYB*和*ZIP*也与油脂合成过程中的关键基因存在相互作用。油脂合成过程中的一些关键基因,如*DGAT1*<sup>[16]</sup>、*CoFAD2-1*<sup>[17]</sup>、*CoFAD2-2*<sup>[18]</sup>、*CoP-DAT*<sup>[19]</sup>等,均已被成功的克隆和分析。

不同栽培模式对油茶幼林土壤养分和茶油品质均有影响,套种大豆、花生时,土壤有机质含量极显著增加;套种大豆时,土壤全氮和碱解氮极显著增加;套种西瓜、玫瑰花时,全磷和有效磷含

量极显著增加;套种西瓜、玫瑰花时,全钾和速效钾含量极显著增加;套种大豆、茶树能显著降低茶油酸值,提高茶油多酚含量,对油茶品质有积极的影响<sup>[20]</sup>。白玉娜等<sup>[21]</sup>在油茶有林下套种了6种豆科植物,实验结果表明,油茶幼林套种豆科作物能不同程度地提高土壤中有机质、全氮、全钾、全磷、速效氮、速效钾、速效磷的含量,从而促进油茶生长。

### 1.3 胁迫因子对油茶生长发育的影响及应对措施

植物生长过程中受到各种胁迫,包括生物胁迫和非生物胁迫,它们均可影响植株正常新陈代谢和生长发育。炭疽病是油茶常见的重要病害之一,已有很多研究人员对油茶果、叶进行菌株分离,研究致病菌的种类、菌落形态、生长特点等。王义勋<sup>[22]</sup>对油茶炭疽病进行了病原学、病菌遗传多样性研究,发现了 *CaCUT1* 基因在油茶感染炭疽病过程中扮演着重要的角色。黄健生<sup>[23]</sup>综述了油茶软腐病的鉴别方法及绿色防控措施。随着油茶产业规模的不断壮大,油茶虫害的报道也越来越多,常见的致病昆虫有油茶毒蛾、油茶尺蠖、油茶象甲、茶梢蛾等。

此外,油茶也受到其他非生物因素的胁迫,如低温、干旱、土壤中的重金属等。其中,干旱会显著降低油茶鲜籽产量和产油量,而覆盖和松土措施可以在一定程度上缓解这种损失<sup>[24]</sup>。曹林青等<sup>[25]</sup>研究了不同程度干旱胁迫对油茶叶片结构的影响,结果表明,油茶单叶鲜质量、单叶干质量、单叶饱和质量、叶片厚度、叶片大小、叶片下表皮气孔面积、气孔周长、气孔开度、气孔器大小、栅栏组织厚度、栅海比均与干旱强度呈反比,叶上角质层厚度、下角质层厚度、主脉厚度与主脉突起度均与干旱强度呈正比。这些变化是油茶植株根据水分状况调整叶片结构以维持生存和生长,是油茶对干旱胁迫的适应特征。油茶有一定的抗旱、耐热能力<sup>[26]</sup>。在遭受低温胁迫前,喷施氯化钙溶液更有利于提高油茶的抗寒能力<sup>[27]</sup>。铅(Pb)胁迫显著降低油茶幼苗地径和根长,土壤中高浓度 Pb 会导致幼苗死亡<sup>[28]</sup>。在锰矿区,土壤中过高的锰含量会影响油茶生长。施加 0.5% 的石灰可以提高恢复区的油茶植株生物量,而施加 1% 的石灰可以显著提高采矿区的油茶株高<sup>[29]</sup>。

油茶种植过程中可能受到多种生物和非生物胁迫,受限于油茶全基因组未得到完全解析、遗传转化体系的不完善以及多年生木本植物的特

点,油茶在遭受胁迫时,基因的调控与表达一直未能得到很好的研究。

### 1.4 植物激素信号对油茶生长发育的影响

植物激素是植物生长发育过程中必不可少的重要调节物质,它们直接或间接参与调控植物从种子萌发到成熟的各个发育阶段,以及植物对各类生物/非生物胁迫的响应。赤霉素(GA)信号途径调控植物开花,促进生长;脱落酸(ABA)信号途径调控蛋白质和脂质合成、植物干旱胁迫、种子萌发等;茉莉酸(JA)信号途径调控植物生长发育和防御反应;生长素(auxin/IAA)信号途径通过影响细胞的分裂、扩张和分化,全方位调控植物生长发育过程;乙烯(ET)信号途径调节不同的发育和生理过程,包括种子萌发、根的萌生、花和叶的衰老、脱落、果实成熟、伤害反应和疾病防御<sup>[30]</sup>;独脚金内酯(SL)信号途径调节植物分枝,能够促进丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)与植物的共生<sup>[31]</sup>。

目前,关于外源激素对油茶生长的影响研究,仅赤霉素和细胞分裂素有少量报道。蔡娅等<sup>[32]</sup>认为在香花油茶花芽分化的关键期喷施 800~1600 mg/L 的外源赤霉素,对香花油茶的花芽形成有显著的促进效果。外施赤霉素和多效唑不仅能显著促进油茶花芽分化率、饱满度,还能改善油茶大小年结实现象<sup>[33]</sup>。葛晓宁<sup>[34]</sup>探讨了外源 6-苄氨基嘌呤、赤霉素处理下,油茶花芽分化率、坐果率的变化。结果表明,分别喷施 400 mg/L 外源 6-苄氨基嘌呤和 100 mg/L 赤霉素,可显著提高油茶坐果率;分别喷施 500 mg/L 外源 6-苄氨基嘌呤和 100 mg/L 赤霉素,可显著提高油茶花芽分化率。

### 1.5 油茶的根际微生物群落与生物菌肥研究

根际微生物和植物会形成特殊的互生关系。植物在生长过程中,凋落物和根系分泌物是土壤中根际微生物生长所需能源的重要来源。而根际微生物在同化土壤有机质的同时,释放无机养分、植物所需维生素、生长激素等物质供植物吸收利用,促进植物生长。宋婷<sup>[35]</sup>对攸县油茶的根际微生物进行了群落结构分析,发现攸县油茶根际土壤细菌主要由绿弯菌门(Chloroflexi)、变形菌门(Proteobacteria)、酸杆菌门(Acidobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)、浮霉菌门(Planctomycetes)和厚壁菌门(Firmicutes)组成;根际土壤真菌主要由子囊菌门(Ascomycota)和担子菌门(Basidiomycota)组成。黄程<sup>[36]</sup>在油茶根际土壤中共分离筛选了 94 株解

磷菌。宋雨露<sup>[37]</sup>采用培养基分离纯化方法从油茶根际土壤中分离纯化出可培养固氮菌 227 个,可培养解磷菌 187 个,可培养解钾菌 89 个。李正昫<sup>[38]</sup>从油茶根际土壤中分离鉴定了 12 属 AMF。

AMF 可以提高植物的光合作用,促进植物生长<sup>[39]</sup>。油茶是菌根植物,AMF 可以改善根系的形态结构,帮助油茶加强对土壤中矿质元素的吸收,提高光合作用,促进油茶的生长<sup>[40]</sup>。林宇岚等<sup>[41]</sup>分析了江西 5 个油茶品种的根际 AMF 群落结构特征,共鉴定 AMF 12 属。其中,球囊霉属(*Glomus*)、类球囊霉属(*Paraglomus*)、巨孢囊霉属(*Gigaspora*)和近明球囊霉属(*Claroideoglomus*)的相对丰度在 5 个油茶品种间存在显著差异。另外,虽然油茶品种改变了根际 AMF 的群落结构,但并不影响其多样性,而硝态氮才是影响油茶根际 AMF 群落组成和分布的主要土壤因子。李正昫<sup>[38]</sup>通过盆栽试验探究了不同有机磷水平下,接种 AMF 对油茶生长的影响,为集约化油茶高产稳产中应用 AMF 解决低磷胁迫的现象提供了科学理论依据。

微生物肥料可以改良土壤理化性质,调节植物生长,增加作物产量,且对生态环境友好。左明雪等<sup>[42]</sup>通过 AMF 与有机肥配施,证明了 AMF 可显著驱动土壤氮元素循环向植物氮高效利用的途径转化。李芳等<sup>[43]</sup>将玉米幼苗接种 AMF 后再移栽,发现玉米根部和地上部分对磷、锌、锰、镁等元素的吸收能力都得到了加强。蔡开朗等<sup>[44]</sup>对 4 种油茶施用光合菌,显著提高了油茶的光合作用和叶片中氮、磷、钾元素的含量。黄程<sup>[36]</sup>在油茶根际土壤中分离、筛选及鉴定了一批高效根际解磷菌,并通过盆栽实验发现,在添加难溶性磷的条件下,与不接菌对照相比,接菌处理均对玉米植株生物量表现出促生效果,混合接菌对植物促生效果更显著。

## 1.6 油茶的综合利用

油茶籽榨油是最传统、最直接的利用方式,除此之外,油茶籽榨油之后剩下的油茶籽饼粕和油茶果壳都有很高的利用价值。油茶饼粕的基本成分为蛋白质、茶皂素、茶多酚、多糖、残留油脂、灰分、水分等<sup>[45]</sup>。

### 1.6.1 茶皂素

茶皂素是一类三萜皂苷混合物,微溶于温水、乙酸乙酯、二硫化碳,易溶于碱性热水、含水甲醇、含水乙醇、正丁醇、冰醋酸、醋酸、吡啶等,不溶于丙酮、乙醚、石油醚等有机溶剂。鉴于这些

特性,目前茶皂素的主要提取手段有水提法<sup>[46]</sup>、水提醇沉法和有机溶剂法,也有超声波<sup>[47]</sup>、微波<sup>[48]</sup>、超临界 CO<sub>2</sub><sup>[49]</sup>等辅助法。但是,水提法和水提醇沉法的得率较低,有机溶剂提取的安全性一般且耗时较长,辅助法存在设备投资大、实验条件要求高等缺点,工业生产仍然在期待更高性价比的提取工艺。茶皂素提取之后的纯化方法也很多,如重结晶法、醇萃取法、吸附分离法、膜富集法等。

### 1.6.2 蛋白质

油茶饼粕中蛋白质含量丰富,其氨基酸组成有 17 种,其中 7 种为人体必需氨基酸。油茶饼粕蛋白质的常用提取方法有传统碱溶酸沉法、水酶法、酶前处理辅助法、超声辅助法、蒸汽爆破辅助法等。何玮等<sup>[50]</sup>采用的优化条件后的碱溶酸沉法,蛋白质的得率达到了 6.56%。张善英等<sup>[51]</sup>将油茶籽经过蒸汽爆破后,采用碱溶酸沉法,使得蛋白质的提取率较未经蒸汽爆破处理时提高了 12.27%。碱溶的过程中,过高的 pH 值容易使得蛋白质变性,而较低的 pH 值又会降低蛋白质的提取率。相较于碱溶酸沉法,水酶法和酶前处理辅助法可以在保证蛋白质质量的前提下,提高提取率,但是酶的反应条件苛刻,成本也高。超声辅助法和蒸汽爆破辅助法则是在碱溶酸沉法和水酶法的基础上加以辅助,来提高提取率。蒸汽爆破辅助法是在高温高压的环境下进行,改变了蛋白质结构<sup>[51]</sup>,会影响蛋白质活性。虽然超声辅助法不会出现这种情况,但是超声辅助法高昂的成本是产业化推广的致命短板。油茶饼粕中蛋白质的工业化提取与利用,仍然需要不断探索。

### 1.6.3 茶多酚

酚类化合物是高等植物的一类重要的次生代谢产物,主要由莽草酸、戊糖磷酸酯和苯丙烷类途径合成,至少有一个羟基和芳香环。酚类化合物的抗氧化性取决于羟基的数目及其排列方式。茶多酚是一类多羟基酚类化合物,具有很好的抗氧化性。

目前,油茶粕茶多酚的提取纯化方法较为多样,有微波辅助条件下的溶剂法、丙酮提取法、热回流以及超声辅助法等。Chen 等<sup>[52]</sup>利用异丙醇、己烷和乙醚提取了油茶饼粕的酚类化合物,通过检测其对玉米油初级代谢产物和次级代谢产物的影响,证明了油茶饼粕的酚类化合物能保持玉米油的质量稳定,且由异丙醇提取得到的酚类化合物效果最好,利用 HPLC-DAD 方法鉴定提取到

的酚类化合物主要为表儿茶素、儿茶素、柚皮苷。陈佩云等<sup>[53]</sup>比较了6种油茶花、叶、籽的多酚含量,结果表明油茶籽中多酚含量高于其他组织。罗凡等<sup>[54]</sup>研究了不同热处理后,油茶籽内部和茶粕中酚类物质含量及其抗氧化活性的变化规律,结果都表明低温加热时,油茶籽内部和油茶饼粕中酚类物质较未加热时变化不大,而高温加热一段时间后,总多酚的含量和抗氧化活性都开始升高。

油茶果壳占果实中生物量的一半以上,目前的研究多集中于油茶籽或油茶籽粕中酚类化合物的提取,却忽略了油茶果壳中酚类化合物的利用<sup>[55]</sup>。因此,加强对油茶果壳的功能性成分研究,才是提高油茶整体效益和实现废料的资源化利用的最好途径。

#### 1.6.4 多糖

多糖是有醛糖或酮糖通过糖苷键连接在一起的多聚物,广泛存在于高等植物的细胞壁中。油茶多糖是一类具有生理活性的复合多糖,一般是由7个以上、1种或两种以上的单糖以特殊糖苷键缩合而成的单一聚糖、杂聚糖或粘多糖,能起到抗血栓、降血糖、抗氧化的作用,极具开发前景。油茶饼粕中多糖的提取纯化方法主要有超声酶辅助法、水提醇法、微波水提法、正丁醇萃取法、离子交换树脂柱层析分级纯化法等<sup>[56]</sup>。张盟雨等<sup>[57]</sup>优化了水提醇沉法提取油茶饼粕多糖。Zhang等<sup>[58]</sup>利用油茶壳制备糠醛,发现在温度为169℃、原料催化剂比为2、水解时间为30min时,“ $\gamma$ -丁内酯+水”体系中糠醛的得率最好。周丽明等<sup>[59]</sup>在前期证明茶籽多糖对食用油脂具有一定抗氧化作用的基础上,进一步对茶籽多糖实施羧甲基化修饰,提高了茶籽多糖对油脂的抗氧化作用。

## 2 展望

油茶丰产、提质增效一直是研究者关注的重点,传统的育种方式对产业的促进作用已慢慢进入瓶颈期。分子育种作为一种精细的育种方式,具有定向、精准、快速、高效等特点,能够在短期内为油茶育种找到突破口。因此,构建油茶遗传转化体系,开展基于组学和转基因技术的分子育种,将会是油茶育种研究的重点方向。

植物激素是植物生长发育过程中不可缺少的物质。目前,基于激素或其类似物开发的刺激剂已经应用于安全高效的农业生产,如橡胶刺激剂乙烯利、生长素类除草剂等,这些产品在实际生产

中潜力巨大。因此,进一步研究激素在油茶生长发育和油脂合成过程中的作用,开发安全高效的刺激剂,对油茶的抗病研究、丰产育种也具有重大的意义。

生物菌肥可以改良土壤的理化性质,提高土壤肥力,促进植物生长。在国内,生物菌肥的研究已有较好的基础。生物菌肥正在由单一菌种制剂向复合多菌种制剂发展。开发适合油茶生长发育要求的生物菌肥,也将是促进油茶丰产的又一重要途径。

## 参考文献(References):

- [1] 张立伟,王辽卫.我国油茶产业的发展现状与展望[J].中国油脂(ZHANG Li-wei, WANG Liao-wei. Prospect and development status of oil-tea camellia industry in China[J]. China Oils and Fats), 2021, 46(6): 6-9, 27.
- [2] YUAN J J, TU J L, QIN F, et al. Fatty acid composition and volatiles of *Camellia oleifera* oil by GC and SPME/GC-MS[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 382(2): 022068.
- [3] 于巍巍,杨英杰,颜晓琦,等.油茶果提取物抗肿瘤作用研究进展[J].赣南医学院学报(YU Wei-wei, YANG Ying-Jie, YAN Xiao-qi, et al. Research progress on anti-tumor effects of *Camellia oleifera* extract[J]. Journal of Gannan Medical University), 2020, 40(1): 30-36.
- [4] 周文才,唐山,左继林,等.油茶无性系脂肪酸组成及其与种实性状相关性[J].湖北林业科技(ZHOU Wen-cai, TANG Shan, ZUO Ji-lin, et al. Fatty acid composition of *Camellia oleifera* clones and its correlation with seed and cone traits[J]. Hubei Forestry Science and Technology), 2020, 49(1): 14-17.
- [5] 田潇潇.茶油主要营养成分分析与质量评价[D].长沙:中南林业科技大学(TIAN Xiao-xiao. Determination of Triacylglycerols Compositions and Quality Evaluation in Different Oil-tea *Camellia oil*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology), 2018.
- [6] 王萑莉,陈福,徐德兵,等.5个油茶新品种的选育[J].现代农业科技(WANG Chang-li, CHEN Fu, XU De-bing, et al. Breeding of 5 new *Camellia oleifera* cultivars[J]. Modern Agricultural Science and Technology), 2019(5): 31-37.
- [7] 黎曙光,姚小华,宋红卫,等.油茶新品种“长林53号”[J].湖北林业科技(LI Shu-guang, YAO Xiao-hua, SONG Wei-hong, et al. A new *Camellia oleifera* cultivar of ‘Changlin 53’[J]. Hubei Forestry Science and Technology), 2019, 48(5): 85-86.
- [8] 王晶.河南油茶品种资源选育现状[J].安徽农业科学(WANG Jing. Breeding status of *Camellia oleifera* varieties in Henan Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences), 2012, 40(36): 17652-17653.
- [9] 吴鹏飞,龚洪恩,姚小华,等.普通油茶无性系抗炭疽病评价[J].林业科学研究(WU Peng-fei, GONG Hong-en, YAO Xiao-hua, et al. Evaluating the resistance of *Camellia oleifera* clones to anthracnose[J]. Forest Research), 2018, 31(4): 158-163.
- [10] 陈雅.油茶种间杂交F<sub>1</sub>代18个优良单株主要性状比较分析[D].长沙:中南林业科技大学(CHEN Ya. Comparative Analysis on the Main Characters of 18 Excellent Individual Plants in F<sub>1</sub> Generation of Interspecific Hybridization of *Camellia oleifera*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology), 2020.

- [11] 李晓春, 陈刚, 罗颖, 等. 11个油茶无性系的杂交亲和性[J]. 亚热带农业研究(LI Xiao-chun, CHEN Gang, LUO Ying, *et al.* Cross compatibility among eleven *Camellia oleifera* clones[J]. Subtropical Agriculture Research), 2020, 16(1): 19-23.
- [12] 陈永忠, 王德斌, 彭邵锋, 等. 油茶优良杂交组合选育研究[J]. 中南林业科技大学学报(CHEN Yong-zhong, WANG De-bin, PENG Shao-feng, *et al.* Selective breeding of elite crossbred siblings of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology), 2008, 3(4): 27-35.
- [13] LIN P, WANG K L, ZHOU C F, *et al.* Seed trans-criptomics analysis in *Camellia oleifera* uncovers genes associated with oil content and fatty acid composition[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(1): 118.
- [14] PENG S F, LU J, ZHANG Z, *et al.* Global transcriptome and correlation analysis reveal cultivar-specific molecular signatures associated with fruit development and fatty acid determination in *Camellia oleifera* Abel[J]. International Journal of Genomics, DOI: 10.1155/2020/6162802.
- [15] GONG W F, SONG Q L, JI K, *et al.* Full-length transcriptome from *Camellia oleifera* seed provides insight into the transcript variants involved in oil biosynthesis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(49): 14670-14683.
- [16] 刘凯, 谭晓风, 龙洪旭, 等. 油茶 *DGAT1* 基因的全长 cDNA 序列克隆及分析[J]. 中南林业科技大学学报(LIU Kai, TAN Xiao-feng, LONG Hong-xu, *et al.* Cloning of full-length cDNAs and sequence analysis of *DGAT1* gene from *Camellia oleifera*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology), 2012, 32(4): 148-152.
- [17] 陈潇潇, 罗红艳, 顾真琪, 等. 油茶 *CoFAD2-1* 基因的克隆、亚细胞定位及组织表达[J]. 四川农业大学学报(CHEN Xiaoxiao, LUO Hong-yan, GU Zhen-qi, *et al.* Cloning subcellular localization and tissues expression of *CoFAD2-1* gene from *Camellia oleifera*[J]. Journal of Sichuan Agricultural University), 2019, 37(4): 475-480.
- [18] 王仲伟, 温强, 汤诗杰, 等. 一个油茶 *FAD2* 基因家族新成员的克隆及分析[J]. 分子植物育种(WANG Zhong-wei, WEN Qiang, TANG Shi-jie, *et al.* Cloning and bioinformatics analysis of a novel *FAD2* gene from *Camellia oleifera*[J]. Molecular Plant Breeding), 2017, 15(1): 84-90.
- [19] 赵广, 宋志波, 刘美兰, 等. 油茶 *CoPDAT* 基因的克隆与表达分析[J]. 植物生理学报(ZHAO Guang, SONG Zhi-bo, LIU Meilan, *et al.* Cloning and expression analysis of a phospholipid: diacylglycerol acyltransferase (*PDAT*) gene in *Camellia oleifera*[J]. Plant Physiology Journal), 2017, 53(9): 1619-1628.
- [20] 黄彤, 任燕, 夏榆森, 等. 不同栽培模式对油茶幼林土壤养分和茶油品质的影响[J]. 农业与技术(HUANG Tong, REN Yan, XIA Yu-sen, *et al.* Effects of different cultivation patterns on soil nutrients and tea oil quality of *Camellia oleifera* young forest[J]. Agriculture and Technology), 2020, 40(7): 60-66.
- [21] 白玉娜, 陈辉, 杨志坚, 等. 不同栽培模式对油茶幼林土壤肥力的影响[J]. 森林与环境学报(BAI Yu-na, CHEN Hui, YANG Zhi-jian, *et al.* Effects of different cultivation models on soil fertility in young *Camellia* forest[J]. Journal of Forest and Environment), 2017, 37(1): 67-74.
- [22] 王义勋. 油茶炭疽病病原学、病菌遗传多样性及 *CaCUT1* 基因功能分析[D]. 武汉: 华中农业大学(WANG Yi-xun. Etiology of Tea-oil Tree Anthracnose, Analysis of Genetic Diversity and *CaCUT1* Gene Function in *colletotrichum camelliae*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University), 2019.
- [23] 黄健生. 油茶软腐病的鉴别方法及绿色防控措施[J]. 现代农业科技(HUANG Jian-sheng. Identification methods and green prevention and control measures of soft rot of *Camellia oleifera*[J]. Modern Agricultural Science and Technology), 2020(1): 103, 110.
- [24] 丁少净, 钟秋平, 袁婷婷, 等. 干旱胁迫对油茶花苞生长及产量的影响[J]. 林业科学研究(DING Shao-jing, ZHONG Qiu-ping, YUAN Ting-ting, *et al.* Effects of drought stress on *Camellia oleifera* flower-bud growth and production[J]. Forest Research), 2017, 41(5): 197-202.
- [25] 曹林青, 钟秋平, 罗帅, 等. 干旱胁迫下油茶叶片结构特征的变化[J]. 林业科学研究(CAO Lin-qing, ZHONG Qiu-ping, LUO Shuai, *et al.* Variation in leaf structure of *Camellia oleifera* under drought stress[J]. Forest Research), 2018, 31(3): 136-143.
- [26] 石林盟, 倪天虹, 裴云霞, 等. 湖北省主栽油茶品种苗期抗寒性评价[J]. 经济林研究(SHI Lin-zhao, NI Tian-hong, PEI Yun-xia, *et al.* Evaluation on cold tolerance of main *Camellia oleifera* cultivars at seedling stage in Hubei Province[J]. Non-wood Forest Research), 2019, 37(4): 10-19.
- [27] 王国霞, 刘瑞霞, 田芸芳, 等. 变温低温胁迫下钙调控时间对油茶生理响应机制的影响[J]. 北方园艺(WANG Guo-xia, LIU Rui-xia, TIAN Yun-fang, *et al.* Effects of calcium regulation time on physiological responses of *Camellia oleifera* under variable and low temperature stress[J]. Northern Horticulture), 2018, 42(21): 122-128.
- [28] 张焯, 刘海龙, 韦钰星, 等. Pb胁迫对香花油茶幼苗生长的影响[J]. 热带农业科学(ZHANG Ye, LIU Hai-long, WEI Shuo-xing, *et al.* Effects of Pb stress on the young seedling growth of *Camellia osmantha*[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture), 2019, 39(3): 8-11, 15.
- [29] 于方明, 漆培艺, 刘可慧, 等. 锰污染土壤石灰改良对油茶生长及抗氧化酶系统的影响[J]. 农业环境科学学报(YU Fang-ming, QI Pei-yi, LIU Ke-hui, *et al.* Effects of lime on the growth and antioxidant enzyme system of *Camellia oleifera* in manganese-contaminated soil[J]. Journal of Agro-Environment Science), 2019, 38(8): 1882-1890.
- [30] BINDER B M. Ethylene signaling in plants[J]. The Journal of Biological Chemistry, 2020, 295(22): 1-37.
- [31] WANG L, WANG B, YU H, *et al.* Transcriptional regulation of strigolactone signalling in *Arabidopsis* [J]. Nature, 2020, 583: 277-281.
- [32] 蔡娅, 王东雪, 陈仕昌, 等. 赤霉素对香花油茶花芽分化和春梢生长的影响[J]. 西南林业大学学报(CAI Ya, WANG Dong-xue, CHEN Shi-chang, *et al.* Gibberellin plays effective role on growth of spring shoots and flower bud differentiation in *Camellia osmantha*[J]. Journal of Southwest Forestry University), 2020, 40(4): 1-5.
- [33] 温玥. 外施赤霉素和多效唑对油茶花芽形成和果实品质的影响[D]. 北京: 北京林业大学(WEN Yue. Effects of exogenous gibberellin and paclobutrazol on flower bud formation and fruit quality of *Camellia oleifera*[D]. Beijing: Beijing Forestry University), 2019.
- [34] 葛晓宁. 外源激素对油茶花芽分化及坐果的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院(GE Xiao-ning. Effects of Exogenous Hormones on Flower Bud Differentiation and Fruit Setting of *Camellia oleifera*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry), 2019.
- [35] 宋婷. 攸县油茶根际微生物多样性分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学(SONG Ting. Analysis of *Camellia yuhsienensis* Hu Rhizosphere Soil Microbial[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology), 2020.
- [36] 黄程. 油茶根际微生物群落结构特征及其解磷菌的解磷效应[D]. 南昌: 南昌大学(HUANG Cheng. The Diversity and Composition of Microbial Community in the *Camellia oleifera* Rhizosphere and the Activity of Phosphate-dissolving Rhizobacteria[D]. Nanchang: Nanchang University), 2020.

- [37] 宋雨露. 油茶根际土壤高效功能菌的筛选及拮抗菌肥的研制[D]. 长沙: 中南林业科技大学(SONG Yu-lu. Screening of Highly Effective Functional Bacteria in *Camellia oleifera* Rhizosphere Soil and Research the Microbial Fertilizer[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology), 2020.
- [38] 李正响. 油茶 AM 真菌多样性及其对有机磷吸收的影响[D]. 南昌: 江西农业大学(LI Zheng-yun. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi of *Camellia oleifera* and Its Effect on Absorption of Organic Phosphorus[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University), 2019.
- [39] MATHUR S, SHARMA M, JAJOO A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress[J]. *Journal of Photochemistry & Photobiology B: Biology*, 2018, 180: 149-154.
- [40] 林宇岚, 李正响, 张林平, 等. 有机磷和 AM 真菌对油茶生长、根系形态和光合作用的影响[J]. 经济林研究(LIN Yu-lan, LI Zheng-yun, ZHANG Lin-ping, et al. Effects of organic phosphorus and AM fungi on growth, root morphology and photosynthetic characteristics of *Camellia oleifera*[J]. *Non-wood Forest Research*), 2021, 39(1): 121-128.
- [41] 林宇岚, 李正响, 吴斐, 等. 不同品种油茶根际丛枝菌根真菌群落结构特征[J]. 林业科学研究(LIN Yu-lan, LI Zheng-yun, WU Fei, et al. Community structure characteristics of arbuscular mycorrhizal fungi among *Camellia oleifera* cultivars[J]. *Forest Research*), 2020, 33(5): 163-169.
- [42] 左明雪, 孙杰, 徐如玉, 等. 丛枝菌根真菌与有机肥配施对甜玉米根际土壤氮素转化及氮循环微生物功能基因的影响[J]. 福建农业学报(ZUO Ming-xue, SUN Jie, XU Ru-yu, et al. Effects of AMF and organic fertilizer on N-transformation and microbial N-cycling genes in rhizosphere soil of sweet corn field[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*), 2020, 35(9): 1012-1025.
- [43] 李芳, 徐丽娇, 谢伟, 等. 菌根化育苗对玉米生长和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报(LI Fang, XU Li-jiao, XIE Wei, et al. Effects of seedling mycorrhization on the growth and nutrient uptake of maize[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*), 2020, 26(1): 42-50.
- [44] 蔡开朗, 陈伟玉, 姚海荣, 等. 施用光合菌对 4 种油茶品种生长及养分含量的影响[J]. 热带作物学报(CAI Kai-lang, CHEN Wei-yu, YAO Hai-rong, et al. Effects of application of photosynthetic bacteria and fertilizer on growth and nutrient content in *Camellia vietnamensis*[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*), 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20210226.1543.006.html>.
- [45] 谢益仙, 肖志红, 吴红, 等. 正丁醇同步萃取油茶饼多组分研究[J]. 中国粮油学报(XIE Yi-xian, XIAO Zhi-hong, WU Hong, et al. Research on multi-component synchronous extraction by n-butyl alcohol from pressed *Camellia* cake[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oil Association*), 2020, 35(2): 83-90.
- [46] 王佳佳, 李国琰, 张雁, 等. 茶皂素连续多级逆流水提工艺的建立[J]. 食品科学技术学报(WANG Jia-jia, LI Guo-yan, ZHANG Yan, et al. Establishment of continuous multi-stage counter-current water extraction process of tea saponin from *Camellia* meal[J]. *Journal of Food Science and Technology*), 2021, 39(1): 153-161.
- [47] 陈慧玲, 刘芳, 苏张蕾, 等. 超声波辅助乙醇提取茶皂素工艺研究[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版)(CHEN Hui-ling, LIU Fang, SU Zhang-lei, et al. Study on extraction of tea saponin with ultrasonic assisted ethanol[J]. *Journal of Ningde Normal University (Natural Science)*), 2019, 31(2): 187-191.
- [48] 胡福田, 周红军, 徐华, 等. 微波预处理法制备茶粕基有机药肥工艺研究[J]. 江苏农业科学(HU Fu-tian, ZHOU Hong-jun, XU Hua, et al. Study on preparation of organic pesticide-added fertilizer from *Camellia oleifera* powder by microwave[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*), 2019, 47(19): 295-298.
- [49] 王羚, 方学智, 杜孟浩, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取对油茶饼中油脂品质及茶皂素理化特性影响的研究[J]. 中国油脂(WANG Ling, FANG Xue-zhi, DU Meng-hao, et al. Effects of supercritical CO<sub>2</sub> extraction on the quality of oil and physicochemical properties of tea saponin in oil-tea *Camellia* seed cake[J]. *China Oils and Fats*), 2020, 45(8): 109-114.
- [50] 何玮, 陈健, 赵一夫, 等. 油茶粕蛋白质提取工艺的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版)(HE Wei, CHEN Jian, ZHAO Yi-fu, et al. Study on the extraction process of protein from *Camellia Oleifera* seed cake[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*), 2019, 40(3): 13-19.
- [51] 张善英, 徐鲁平, 郑丽丽, 等. 蒸汽爆破辅助提取油茶籽蛋白及其功能性性质分析[J]. 中国油脂(ZHANG Shan-ying, XU Lu-ping, ZHENG Li-li, et al. Steam explosion-assisted extraction of oil-tea *Camellia* seed protein and its functional properties[J]. *China Oils and Fats*), 2020, 44(9): 47-53.
- [52] CHEN H M, SONG F, CHEN W J, et al. Inhibition of corn oil peroxidation by extracts from defatted seeds of *Camellia oleifera* Abel[J]. *Journal of Food Quality*, 2017(2): 1-7.
- [53] 陈佩云, 湛晔, 周安宁, 等. 比较 6 种油茶花、叶、籽的多酚含量及其抗氧化活性[J]. 现代食品(CHEN Pei-yun, ZHAN Ye, ZHOU An-ning, et al. Comparison of polyphenol content and antioxidant activity of six kinds of *Camellia oleifera* flowers, leaves and seeds[J]. *Modern Food*), 2019(24): 149-153.
- [54] 罗凡, 王龙祥, 郭少海, 等. 榨前微波处理对油茶粕活性成分及抗氧化性的影响[J]. 中国油脂(LUO Fan, WANG Long-xiang, GUO Shao-hai, et al. Influences of prepressing microwave treatment on active ingredients and antioxidant activity of oil-tea *Camellia* seed meal[J]. *China Oils and Fats*), 2020, 45(3): 110-114.
- [55] PANG Y H, AHMED S, XU Y J, et al. Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice[J]. *Food Chemistry*, 2018, 240: 212-221.
- [56] 刘楚岑, 裴小芳, 周文化, 等. 油茶饼粕中主要成分及其综合利用研究进展[J]. 食品与机械(LIU Chu-cen, PEI Xiao-fang, ZHOU Wen-hua, et al. Research progress on the main components and comprehensive utilization of *Camellia oleifera* cake[J]. *Food and machinery*), 2020, 36(7): 227-232.
- [57] 张盟雨, 王静, 张应中, 等. 水提醇法提取油茶饼粕多糖的响应面优化[J]. 林业与环境科学(ZHANG Meng-yu, WANG Jing, ZHANG Ying-zhong, et al. Optimization of water extraction and alcohol precipitation method for preparation of *Camellia oleifera* cake polysaccharides by response surface analysis[J]. *Forestry and Environmental Science*), 2019, 35(5): 5-10.
- [58] ZHANG L X, HE Y F, ZHU Y J, et al. *Camellia oleifera* shell as an alternative feedstock for furfural production using a high surface acidity solid acid catalyst[J]. *Bioresource Technology*, 2018, 249: 536-541.
- [59] 周丽明, 张勇. 茶籽多糖羧甲基化修饰及其对油脂抗氧化作用研究[J]. 中国油脂(ZHOU Ming-li, ZHANG Yong. Carboxymethylation modification of *Camellia oleifera* seed polysaccharides and its antioxidant effect on oils and fats[J]. *China Oils and Fats*), 2020, 45(7): 45-49, 72.