

# 香榧果实生长后期油脂及脂溶性 活性物质的动态变化规律

王玫鹃<sup>1,2</sup>, 莫润宏<sup>1</sup>, 钟冬莲<sup>1</sup>, 汤富彬<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 杭州 311400; 2. 南京林业大学 林学院, 南京 210037)

**摘要:**为探究香榧果实生长后期油脂及脂溶性活性物质的动态变化规律,以20年生香榧为研究对象,分析测定了香榧果实生长后期种仁中油脂含量、香榧籽油中脂肪酸组成及脂溶性活性物质(角鲨烯、菜油甾醇、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇、 $\alpha$ -生育酚、 $\beta$ -生育酚)的动态变化规律,构建了香榧果实生长后期香榧籽油中脂溶性活性物质的动态积累模型。结果表明:在香榧果实生长后期种仁中油脂含量由 $(35.65 \pm 0.02)\%$ 增长为 $(54.50 \pm 0.01)\%$ ,脂肪酸组成比例变化显著,其中油酸增幅最大;角鲨烯和植物甾醇含量呈下降趋势,生育酚呈增长趋势,完熟前变化趋势均变缓;香榧果实生长过程中香榧籽油中角鲨烯、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇含量的动态积累模型符合倒数函数方程,菜油甾醇及生育酚含量的动态积累模型符合多项式函数方程。综上,香榧果实生长后期,种仁中油脂含量增加,脂溶性活性成分均处于动态变化中。

**关键词:**香榧; 油脂; 脂肪酸; 脂溶性活性物质

中图分类号: Q946; TS222

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2023)07-0125-05

## Dynamic changes of oils and liposoluble active substances in *Torreya grandis* at late growth stage

WANG Meijuan<sup>1,2</sup>, MO Runhong<sup>1</sup>, ZHONG Donglian<sup>1</sup>, TANG Fubin<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China; 2. Forestry College, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** In order to investigate the dynamic changes of oils and liposoluble active substances in *Torreya grandis* at late growth stage, the 20-year-old *T. grandis* was taken as the research object, the dynamic changes of oil content of *T. grandis* kernel and fatty acid components and liposoluble active substances (including squalene, campesterol, stigmasterol,  $\beta$ -sitosterol,  $\alpha$ -tocopherol and  $\beta$ -tocopherol) in the oils at late growth stage were analyzed and determined, and the dynamic accumulation model of liposoluble active substances in oil was established. The results showed that the oils content of *T. grandis* kernel increased from  $(35.65 \pm 0.02)\%$  to  $(54.50 \pm 0.01)\%$  at the late growth stage, and the composition and content of fatty acids in the oils changed significantly, in which oleic acid increased the most. The contents of squalene and phytosterol showed a decreasing trend, while tocopherol showed an increasing trend and the change trend slowed down before full maturity. The dynamic accumulation model of squalene, stigmasterol and  $\beta$ -sitosterol contents fit the reciprocal function equation, while the dynamic

accumulation model of campesterol and tocopherol contents fit the polynomial function equation. In summary, all the liposoluble active substances dynamic change with the increase of oil in the late stage of *T. grandis* kernel growth.

**Key words:** *Torreya grandis*; lipids; fatty acid; liposoluble active substances

收稿日期: 2022-03-25; 修回日期: 2023-04-09

基金项目: 浙江省农业新品种选育专项“果品新品种选育”(2021C02066-11-1)

作者简介: 王玫鹃(1996), 女, 硕士研究生, 研究方向为经济林产品质量与安全(E-mail) wmj16816@163.com。

通信作者: 莫润宏, 实验师(E-mail) morunhong@163.com。

香榧(*Torreya grandis* 'Merrillii')属红豆杉科榧树属,是我国特有的珍稀干果树种,盛果期长达百年,在我国有悠久的栽培史,是浙江、安徽、江西等省重点推广的经济林树种<sup>[1-2]</sup>。研究表明,香榧种仁含有丰富的脂肪、蛋白质、碳水化合物、矿物元素等多种营养成分,其中脂肪含量为46.5%~58.2%,蛋白质含量为11.96%~12.50%,碳水化合物含量为8.8%~12.9%<sup>[3]</sup>。香榧籽油中不饱和脂肪酸含量达80%以上,以亚油酸、油酸、金松酸为主<sup>[4]</sup>,挥发性成分以柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯为主<sup>[5-7]</sup>。香榧籽油中还含有多种脂溶性活性物质,包括角鲨烯、植物甾醇、生育酚等,有软化血管、促进血液循环、调节老化的内分泌系统等功效<sup>[8-9]</sup>。

香榧果实生长过程可分为幼果期、膨大期、充实期和成熟期,果实中各成分息息相关,目前研究大多集中于不同香榧种质间脂肪、脂肪酸组成和相关活性成分的含量差异方面<sup>[3,5,9]</sup>,而生长过程中油脂及脂溶性活性物质的积累动态研究报道较少。田荆祥等<sup>[10]</sup>分析了香榧种子油脂及脂肪酸积累情况,但受限于当时的分析技术,仅对硬脂酸、油酸、亚油酸、花生酸等脂肪酸进行了分析,未对香榧特有脂肪酸——金松酸进行分析;张晓兰等<sup>[11]</sup>连续3个月对香榧果实果形指数、干鲜质量及含水率进行观测,分析了其动态变化规律,但未涉及相关脂溶性化合物积累变化的研究;有专家学者对香榧成熟后期种仁的营养成分、脂肪酸组成变化进行了研究,发现随着果实成熟度增加,种仁油脂含量和不饱和脂肪酸(UFA)比例均有所增加<sup>[12-13]</sup>,但近1个月的时间跨度,仅能分析延后采摘对提高果实营养品质的积极意义,对于种仁脂肪酸组分及活性物质的积累变化不明确。因此,需要在更长的时间维度上,研究香榧籽油脂脂肪酸组成以及脂溶性活性物质的积累动态及相关性。本研究以香榧果实为研究对象,深入分析了香榧果实生长后期种仁油脂含量、脂肪酸组成及典型脂溶性活性物质(角鲨烯、菜油甾醇、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇、 $\alpha$ -生育酚、 $\beta$ -生育酚)的积累变化规律,旨在为香榧果实生长后期脂溶性活性物质的积累和代谢提供数据参考,为香榧籽油的开发利用和品质提升提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

香榧果实,采自浙江省杭州市岩石岭香榧基地,20年生榧树,品种均为细榧。采样基地为典型丘陵山地,海拔500 m以上,气候类型为亚热带季风性湿

润气候,土壤pH为4.42~4.72,有机质含量为48.2~64.3 g/kg。

37种脂肪酸甲酯混合标准品(纯度97.8%~99.9%), $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚标准品(纯度99.5%),Supelco公司;角鲨烯、菜油甾醇、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇标准品(纯度99.5%),Sigma公司;异辛烷、甲醇,色谱纯;氢氧化钾,优级纯;氯化钠、正己烷、石油醚、一水合硫酸氢钠、无水硫酸钠、无水乙醇,分析纯;试验用水为一级水。

#### 1.1.2 仪器与设备

Agilent 7890A气相色谱仪(配火焰离子化检测器),美国Agilent公司;Waters 2695高效液相色谱仪(配荧光检测器),美国Waters公司;旋转蒸发器,德国IKA公司;Milli-Q超纯水仪,美国Millipore公司;分析天平,德国Sartorius公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 样品前处理

将香榧果实于105℃杀青30 min后,剥离假种皮及外种皮,选择颗粒饱满的种仁置于烘箱中60℃烘干,控制含水率在5%以下,将种仁放入食品级粉碎机中破碎,混匀备用。

#### 1.2.2 香榧籽油提取

取10~20 g香榧种仁粉于100 mL锥形瓶中,加入50 mL石油醚,120 r/min振荡浸提24 h,抽滤,于旋转蒸发器上40℃蒸发至恒重,得到香榧籽油。

#### 1.2.3 油脂含量测定

参照GB 5009.6—2016测定油脂含量。

#### 1.2.4 脂肪酸组成及含量测定

参照GB 5009.168—2016测定脂肪酸组成及含量,根据标准品出峰时间定性,峰面积归一化法定量。

#### 1.2.5 脂溶性活性物质测定

##### 1.2.5.1 角鲨烯及植物甾醇测定

参照钟冬莲等<sup>[14]</sup>的方法测定角鲨烯和植物甾醇含量。在10 mL比色管中加入25  $\mu$ L角鲨烷和50  $\mu$ L 5 $\alpha$ -胆甾烷醇内标,氮吹至干。在含有内标的比色管中加入0.2 g(精确至0.000 1 g)香榧籽油、2.5 mL KOH-CH<sub>3</sub>OH溶液,加塞漩涡振荡,70℃水浴皂化1 h。趁热取出后用80% CH<sub>3</sub>OH稀释至10 mL,得到皂化样品溶液。将HLB小柱装于固相萃取装置上,分别加5 mL CH<sub>3</sub>OH、5 mL 80% CH<sub>3</sub>OH活化,加入皂化样品溶液,用5 mL 80% CH<sub>3</sub>OH淋洗两次,完全抽干,分两次加入7 mL乙酸乙酯洗脱,收集洗脱液,氮吹至干,用乙酸

乙酯定容至1 mL,过0.45 μm有机滤膜,待气相色谱分析。

气相色谱条件:进样口温度220℃;检测器温度300℃;升温程序为160℃保持1 min,以15℃/min升至280℃,保持5 min,再以5℃/min升至300℃,保持7 min。

### 1.2.5.2 生育酚测定

参照GB 5009.82—2016测定生育酚含量。准确称取0.8 g(精确至0.100 0 g)香榧籽油于10 mL容量瓶中,用正己烷定容,旋涡混匀,过0.45 μm有机滤膜,待高效液相色谱分析。

高效液相色谱条件:Waters Spherisorb Silica Column色谱柱(250 mm×4.6 mm,5 μm);柱温30℃;流动相为正己烷-异丙醇(体积比98:2),流速1.0 mL/min;进样量10 μL;激发波长295 nm,检测波长333 nm;扫描时间7 min。根据标准品出峰时间定性,外标法定量。

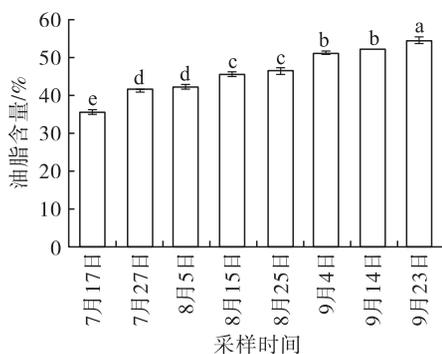
### 1.2.6 数据分析

采用Excel进行数据统计,每组试验重复3次,结果以“平均值±标准差”表示,采用SPSS 20.0进行回归分析及单因素方差分析,差异显著性为 $p < 0.05$ ,采用Origin 2021绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 香榧果实生长后期油脂积累动态变化规律

香榧果实生长后期种仁油脂含量变化如图1所示。



注:不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

图1 香榧果实生长后期种仁油脂含量(干基)变化

由图1可知,香榧种仁油脂含量由7月17日的(35.65±0.02)%持续增长为9月23日的(54.50±0.01)%,呈“阶梯状”增长趋势,这与叶珊等<sup>[12]</sup>的研究结果一致。研究表明,木本油料果实成熟过程中,脂肪含量不断增加,而其他大分子化合物(如碳水化合物、蛋白质等)含量会有所减少,如:油茶果实成熟后期可溶性糖含量呈降低趋势<sup>[15]</sup>,核桃果实成熟后期蛋白质含量有所下降<sup>[16]</sup>;核桃成熟过程中

碳水化合物及蛋白质衍生的碳会向脂肪酸转移<sup>[17]</sup>,间接证实了木本油料果实成熟后期碳水化合物和蛋白质可转化为脂肪。

### 2.2 香榧果实生长后期香榧籽油脂肪酸组分动态变化规律

香榧果实生长后期香榧籽油脂肪酸相对含量变化如图2所示。

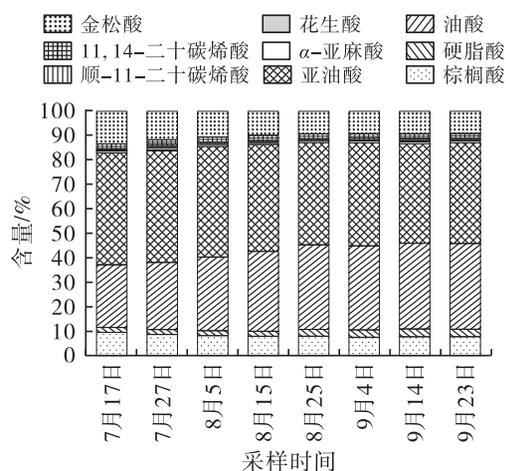


图2 香榧果实生长后期香榧籽油脂肪酸相对含量变化

由图2可知,随着香榧果实生长,香榧籽油脂肪酸相对含量呈动态变化。香榧籽油由棕榈酸、硬脂酸、花生酸、油酸、亚油酸、α-亚麻酸、顺-11-二十碳烯酸、11,14-二十碳烯酸和金松酸组成。其中油酸、亚油酸、棕榈酸、金松酸含量较高。随着香榧果实成熟,香榧籽油中脂肪酸含量降幅由高到低依次为亚油酸、金松酸、棕榈酸、α-亚麻酸、11,14-二十碳烯酸,增幅由高到低依次为油酸、硬脂酸、顺-11-二十碳烯酸、花生酸。其中饱和脂肪酸(SFA)含量由11.53%降为10.95%,单不饱和脂肪酸(MUFA)含量由26.47%增至35.72%,多不饱和脂肪酸(PUFA)含量由62.00%降为53.33%。

UFA含量高的油脂更有利于人体吸收利用,在香榧果实生长过程中,UFA含量与SFA含量之比增加,可见香榧果实成熟后期存在SFA向UFA脂肪酸转化的趋势,且UFA含量与SFA含量之比变化趋势与油橄榄相仿<sup>[18]</sup>。

### 2.3 香榧果实生长后期香榧籽油中脂溶性活性物质动态变化规律

香榧果实生长后期香榧籽油中脂溶性活性物质含量变化如表1所示。

角鲨烯是一种长链状三萜化合物,能提高免疫力、促进胃肠吸收<sup>[19]</sup>。由表1可以看出,香榧果实生长后期香榧籽油中角鲨烯含量处于持续降低趋势,接近完熟时又有所回升,含量由16.31 mg/100 g

逐渐降低至 3.36 mg/100 g, 完熟时升至 4.53 mg/100 g。7月中旬至8月中旬香榧果实处于充实期, 角鲨烯含量呈显著下降趋势, 8月下旬进入成熟期, 角鲨烯含量下降趋势渐缓, 可见, 充实期角鲨烯的转化较为活跃。角鲨烯作为重要的物质合成中间

体, 在果实生长期大量合成, 随后转化为其他物质, 木本油料作物存在相似的规律, 如油茶籽的成熟过程中角鲨烯含量变化呈“双峰”型, 在成熟中期显著降低, 成熟后期变化趋于平缓<sup>[20-21]</sup>。

表1 香榧果实生长后期香榧籽油中脂溶性活性物质含量变化 ( $n=3$ )

活性物质	7月17日	7月27日	8月5日	8月15日	8月25日	9月4日	9月14日	9月23日
角鲨烯	16.31±0.19a	7.38±0.14b	6.27±0.15c	4.42±0.13d	3.66±0.06e	3.70±0.06e	3.36±0.17e	4.53±0.15d
菜油甾醇	9.98±0.28a	6.94±0.05b	5.79±0.15c	4.45±0.24de	4.16±0.10def	3.87±0.04f	4.04±0.03ef	4.66±0.41d
豆甾醇	2.70±0.11a	1.36±0.02b	1.06±0.01c	0.75±0.03de	0.60±0.03e	0.62±0.02e	0.66±0.01e	0.75±0.02cd
$\beta$ -谷甾醇	334.70±12.53a	217.95±1.51b	189.71±3.65c	149.25±0.95d	136.37±2.86e	133.53±1.69e	131.99±1.05e	135.58±1.25e
$\alpha$ -生育酚	ND	ND	9.20±0.19d	13.28±0.26c	13.48±0.07c	19.42±0.45b	22.23±0.60a	22.95±0.37a
$\beta$ -生育酚	50.17±2.37e	64.95±1.27d	100.82±0.81c	108.15±2.56b	115.37±4.88a	105.86±1.22bc	109.20±3.25ab	106.65±1.53bc
总生育酚	50.17±2.90e	64.95±1.56d	110.02±1.17c	121.43±3.44b	128.86±6.88a	125.27±2.04ab	131.43±4.72a	129.60±2.32a

注: ND 表示未检出; 同行不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )

香榧籽油中检测出菜油甾醇、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇 3 种植物甾醇, 香榧果实生长发育过程中这 3 种植物甾醇含量呈下降趋势, 但含量始终为  $\beta$ -谷甾醇 > 菜油甾醇 > 豆甾醇。7月17日菜油甾醇含量为 9.98 mg/100 g, 至9月4日降低为 3.87 mg/100 g, 后又逐渐增加至 4.66 mg/100 g。豆甾醇含量由7月17日的 2.70 mg/100 g 下降到8月25日的 0.60 mg/100 g, 成熟时再次升高至 0.75 mg/100 g。 $\beta$ -谷甾醇含量7月17日最高, 为 334.70 mg/100 g, 至9月14日降低至 131.99 mg/100 g, 9月23日成熟时回升至 135.58 mg/100 g。香榧籽油中植物甾醇变化趋势与角鲨烯相似, 即进入成熟期之前甾醇含量显著下降, 进入成熟期后趋势变缓, 完熟时有所回升。目前, 对果实生长期甾醇类化合物的动态积累报道较少, 但对成熟果实营养成分分析显示  $\beta$ -谷甾醇在甾醇类化合物中占有特殊地位。尹丹丹等<sup>[19]</sup>对我国 6 种主要木本油料油脂的植物甾醇含量分析显示, 星油藤油和核桃油中植物甾醇均以  $\beta$ -谷甾醇为主; 陈振超等<sup>[22]</sup>在 7 种木本油料中均测定出  $\beta$ -谷甾醇, 且含量丰富。本文主要探究了植物甾醇在香榧果实生长后期中的积累动态, 结果显示 3 种植物甾醇均呈降低趋势, 其中  $\beta$ -谷甾醇含量最高。

生育酚是重要的抗氧化剂, 能改善脑缺血, 预防和延缓脑细胞衰老死亡, 具有预防冠心病、癌症及促进生育等作用, 已成为当代药品和营养品研究的热点<sup>[19]</sup>。香榧籽油中含有  $\alpha$ -生育酚和  $\beta$ -生育酚, 且  $\beta$ -生育酚含量远高于  $\alpha$ -生育酚,  $\alpha$ -生育酚于 8 月上旬才有检出。两种生育酚整体上呈增长趋势,  $\alpha$ -生育酚自 8 月上旬开始积累, 含量显著增

长, 至成熟期稍有变缓, 8月5日最低, 为 9.20 mg/100 g, 9月23日最高, 为 22.95 mg/100 g;  $\beta$ -生育酚含量由7月17日的 50.17 mg/100 g 增加至8月25日的 115.37 mg/100 g, 进入9月出现波动趋势, 但变化并不显著。总生育酚含量在7月中旬至9月中旬增加显著, 而9月下旬则有所下降。

香榧籽油中的脂溶性活性物质, 如角鲨烯、植物甾醇、生育酚等, 在抑制脂质过氧化、炎症反应、降低血脂以及免疫调节等过程中发挥作用<sup>[19]</sup>。在香榧果实成熟过程中, 角鲨烯和植物甾醇含量始终处于显著下降趋势, 进入成熟期后趋势变缓且略有回升; 生育酚含量处于增长趋势, 进入成熟期后趋势变缓且略有降低。Wang 等<sup>[13]</sup>研究表明, 延迟采收能增加香榧籽含油率及其油脂中 UFA 含量; 叶珊等<sup>[12]</sup>研究显示, 香榧在假种皮开裂后采摘可明显提高种仁的可溶性蛋白质含量和含油率, 增加 UFA 含量, 同时有助于香榧后续加工。本文对香榧籽油中脂溶性活性成分积累规律的研究显示, 延后采摘能够使香榧果实完全成熟, 不仅油脂含量和 UFA 含量增加, 脂溶性活性成分含量总体也有增加。

#### 2.4 脂溶性活性物质动态积累模型

为了明确果实发育过程中关键活性成分积累规律, 对香榧果实生长过程中香榧籽油中脂溶性活性物质含量与果实发育时间在 SPSS 中进行回归分析曲线拟合, 根据决定系数、显著水平及  $F$  检验值水平选择最优脂溶性活性物质动态积累模型, 结果见表 2。

由表 2 可知, 香榧果实生长过程中香榧籽油中角鲨烯、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇含量的动态积累模型符合倒数曲线, 菜油甾醇及  $\beta$ -生育酚含量变化符合三次函数曲线,  $\alpha$ -生育酚含量变化符合二次函数曲线, 拟合

的回归方程均达到显著水平( $p < 0.05$ ),且 $R^2$ 大于0.9,可见数学模型拟合良好,作为理论生长发育模

型,能够较好地反映各脂溶性活性物质的动态变化规律,可为香榧的栽培与生产管理提供指导。

表2 香榧果实生长过程中香榧籽油中脂溶性活性物质动态模型及参数检验

活性物质	模型	决定系数( $R^2$ )	$F$	$p$
角鲨烯	$Y = 1.2930 + 14.4524/X$	0.9676	179.3674	<0.01
菜油甾醇	$Y = 13.3332 - 4.0016X + 0.5337X^2 - 0.0213X^3$	0.9916	158.3442	<0.01
豆甾醇	$Y = 0.2498 + 2.3872/X$	0.9765	249.0188	<0.01
$\beta$ -谷甾醇	$Y = 97.6205 + 238.4635/X$	0.9889	532.6097	<0.01
$\alpha$ -生育酚	$Y = 5.5484 + 3.6946X - 0.1134X^2$	0.9514	29.3617	<0.05
$\beta$ -生育酚	$Y = 4.6827 + 47.8015X - 6.7683X^2 + 0.2960X^3$	0.9458	23.2532	<0.01

### 3 结论

香榧果实发育后期油脂含量呈显著上升趋势,是油脂积累关键时期;亚油酸、金松酸、棕榈酸、 $\alpha$ -亚麻酸、11,14-二十碳烯酸含量有所下降,油酸、硬脂酸、顺-11-二十碳烯酸、花生酸含量有所上升。角鲨烯、植物甾醇、生育酚是香榧籽油中重要的脂溶性物质,在果实发育后期,角鲨烯、植物甾醇含量均呈下降趋势,而生育酚含量呈增长趋势。进入成熟期后,脂溶性活性物质含量变化幅度均减缓,并在果实完熟时略有回升,由此可见,香榧不宜提前采收。对香榧果实生长过程中香榧籽油中脂溶性物质含量与果实发育时间进行拟合,选择拟合度最佳的方程作为理论生长方程,较好地反映了脂溶性活性物质的动态规律,能够为香榧的栽培、生产管理提供指导。

### 参考文献:

- [1] 程晓建,黎章矩,戴文圣,等.香榧的生态习性及其适生条件[J].林业科技开发,2009,23(1):39-42.
- [2] 胡绍泉,张益锋.香榧的生态生物学特征及其播种培育技术[J].绍兴文理学院学报,2015,35(1):28-31.
- [3] 孙小红,周瑾,胡绍泉,等.香榧籽的品质分级与综合评价[J].果树学报,2018,35(10):1286-1296.
- [4] 毛家辉,赵晨伟,王建峰,等.榧籽油的金松酸结构鉴定及成分分析[J].中国油脂,2017,42(7):135-139.
- [5] 王蕤,王玫鹃,汤富彬,等.浙江省不同地区香榧生籽营养品质差异性分析与评价[J].核农学报,2021,35(11):2578-2588.
- [6] 田鑫,穆文碧,张建永.香榧不同部位的化学成分和药理活性研究进展[J].天然产物研究与开发,2021,33(4):691-715,637.
- [7] CAO Y Q, DONG H, REN X H, et al. Nutrients determination in nuts from different *Torreya grandis* cultivars[J]. Agric Biotechnol, 2020, 9(4): 23-25,40.
- [8] ENDO Y, OSADA Y, FUMIKO K, et al. Effects of Japanese *Torreya (Torreya nucifera)* seed oil on the activities and mRNA expression of lipid metabolism-related enzymes in rats[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2007, 71:231-233.
- [9] 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.
- [10] 田荆祥,吴美春,仲山民,等.香榧种子油脂形成过程的理化性质及脂肪酸分析[J].浙江林学院学报,1989(1):16-22.
- [11] 张晓兰,肖龙洋.香榧果实生长发育规律观测[J].湖南林业科技,2011,38(3):36-38.
- [12] 叶珊,王为宇,周敏樱,等.不同采收成熟度和堆沤方式对香榧种子堆沤后熟品质的影响[J].林业科学,2017,53(11):43-51.
- [13] WANG Y P, YAO X H, LIU Y, et al. Effects of harvest time on the yield, quality and active substance of *Torreya grandis* nut and its oil: oils and fats[J]. J Oleo Sci, 2021, 70(2): 175-184.
- [14] 钟冬莲,莫润宏,王蕤,等.反相聚合物固相萃取-气相色谱-质谱法测定植物油中角鲨烯和四种植物甾醇[J].食品与发酵工业,2021,47(4):231-236.
- [15] 汤佳.油茶果实发育及成熟期间主要生理生化指标变化的研究[D].福州:福建农林大学,2015.
- [16] 惠文斌.核桃果实养分积累动态研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [17] RAO G D, SUI J K, ZHANG J G. Metabolomics reveals significant variations in metabolites and correlations regarding the maturation of walnuts (*Juglans regia* L.) [J]. Biol Open, 2016, 5(6): 829-836.
- [18] 后春静,闫辉强,马君义,等.陇南油橄榄“贺吉”果实中主要功能成分的动态变化规律[J].中国油脂,2019,44(2):30-36.
- [19] 尹丹丹,李珊珊,吴倩,等.我国6种主要木本油料作物的研究进展[J].植物学报,2018,53(1):110-125.
- [20] 凌宏有,郑德勇.油茶籽成熟过程中功能成分的变化规律[J].福建林学院学报,2012,32(1):89-92.
- [21] 郑德勇,常玉玺,叶乃兴,等.茶籽成熟过程中主要功能成分变化规律研究[J].茶叶科学,2013,33(3):253-260.
- [22] 陈振超,倪张林,莫润宏,等.7种木本油料油脂品质综合评价[J].中国油脂,2018,43(11):80-85.