

## 白花树种子成熟期含油率和脂肪酸变化规律

石从广<sup>1</sup>, 李因刚<sup>1</sup>, 朱光权<sup>1</sup>, 柳新红<sup>1</sup>, 杨柳<sup>2</sup>, 盛卫星<sup>3</sup>

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江省林产品质量检测站, 浙江 杭州 310023; 3. 浙江省建德市林业局, 浙江 建德 311600)

**摘要:** 通过对白花树 *Styrax tonkinensis* 多年的观察, 其果实成熟期一般在 9–10 月。为了探索白花树果实成熟期内脂肪酸和含油率的累积变化规律, 自 2011 年 8 月中旬(10 日)起至 2011 年 10 月下旬(21 日), 对标记的白花树果实定期取样(12 d·次<sup>-1</sup>), 共取 7 个批次。经过一系列处理后测定百粒质量、含油率和脂肪酸组成。结果表明: 9 月下旬(27 日)至 10 月上旬(9 日)是白花树果实和种子成熟的拐点时期, 这段时期果壳开始干燥脱水, 果实内含物迅速累积; 随着果实和种子的成熟, 饱和脂肪酸的相对含量逐渐下降, 而不饱和脂肪酸除了亚油酸显著下降, 其他脂肪酸相对含量均缓慢上升。这些结论对果实的采收时间和储藏方式有一定的理论指导意义。图 3 表 2 参 14

**关键词:** 植物学; 白花树; 百粒质量; 含油率; 脂肪酸; 成熟拐点期

**中图分类号:** S718.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2013)03-0372-07

## Seed oil production rate and fatty acid content of *Styrax tonkinensis* during seed maturation

SHI Congguang<sup>1</sup>, LI Yingang<sup>1</sup>, ZHU Guangquan<sup>1</sup>, LIU Xinhong<sup>1</sup>, YANG Liu<sup>2</sup>, SHENG Weixing<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Forest Product Quality Testing Station, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Jiande City, Jiande 311600, Zhejiang, China)

**Abstract:** To determine variation in oil production rate and fatty acid content during the nut maturation period (between September and October) of *Styrax tonkinensis*, seven batches of nuts were collected from samples taken every 12 d from mid-August to late October. After a series of airing and peeling treatments, seeds obtained as a result of threshing were measured for seed hundred-grain weight, oil production rate, and fatty acid content. Results showed that the stage from September 27th to October 9th was the inflection point for nut and seed maturation due to strong variation in nut and seed characteristics. During this stage, nut shells began to dehydrate and dry matter accumulated rapidly. As nuts and seeds matured, saturated fatty acid content declined with content of most unsaturated fatty acids rising gradually. However, linoleic acid content declined sharply. These results have theoretical importance for determining harvest time and appropriate storage techniques for *S. tonkinensis* nuts. [Ch, 3 fig. 2 tab. 14 ref.]

**Key words:** botany; *Styrax tonkinensis*; hundred-grain weight; oil production rate; fatty acid content; inflection point of maturing

白花树 *Styrax tonkinensis* 又名越南安息香, 也称东京野茉莉, 属安息香科 Styracaceae 安息香属 *Styrax* 落叶乔木, 为热带、亚热带树种, 是优良的速生材用、油用和药用多用树种<sup>[1-3]</sup>, 其材质轻软, 木

收稿日期: 2012-04-28; 修回日期: 2012-06-13

基金项目: 浙江省科学技术重大专项重点项目(2008C12019); 浙江省创新团队建设与人才培养项目(2010F20014); 浙江省省院合作林业科技项目(2010SY05)

作者简介: 石从广, 助理研究员, 博士, 从事白花树遗传改良和种子油脂开发利用研究。E-mail: scgstone988@yahoo.com.cn。通信作者: 柳新红, 研究员, 博士, 从事白花树等林木培育和森林资源开发利用研究。E-mail: lsliuxinhong@163.com

材纤维长,种子富含油脂,树脂是名贵中药材安息香<sup>[4-5]</sup>。近年来,白花树作为新兴的木本油料植物受到广泛关注。目前,对白花树的相关研究集中在苗木繁育、栽培与生产<sup>[6]</sup>、木材材性分析<sup>[7-8]</sup>、油脂分析<sup>[5,9-10]</sup>以及利用其种子油脂制备生物柴油<sup>[11-12]</sup>等方面,但对其种子成熟期内表型性状以及脂肪酸等内含物的累积变化规律还未有相关报道。本试验定期采集白花树种子,并及时通过一系列处理,然后测定种子的表型性状(如鲜质量、干质量、百粒质量等)和理化指标(如含油率和脂肪酸组成等),旨在探讨种子成熟期表型性状和内含物的累积变化趋势,有助于探明白花树种子生长习性,为果实(种子)的采集时间和储藏方式提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样地概况

采样地位于杭州市西湖区浙江省林业科学研究院试验苗圃内,属亚热带季风性气候,四季分明,温暖湿润。土壤类型为山地红壤,砾石含量较高,土壤较贫瘠,酸碱度 pH 6.0 左右,呈弱酸性。

### 1.2 采样母树

观察采样的白花树于 2008 年 3 月播种育苗,2009 年裸根苗造林,行间距为 2 m×2 m,并于地上部分 50 cm 处截干。采样母树均为 3 年生白花树,管理一般,施肥 1 次·a<sup>-1</sup>,除草 3 次·a<sup>-1</sup>。

### 1.3 样品采集和称量

自 8 月上旬(8 月 10 日)起至 10 月下旬(21 日)止,隔 12 d 左右采集试验苗圃内 10 株标记的白花树果实 500~750 g 左右,每株白花树采集的果实质量大致相等,采集后的果实混在一起,放入大号牛皮纸信封中,称鲜质量,接着放入烘箱中 105 ℃杀青处理 20 min,然后 65 ℃烘干 26 h 后自然冷却,称取果实质量,进而除去果皮,得到种子,并计算种子得率;得到的种子同时测定百粒质量,每批种子测定 3 次,称量后的种子用塑料袋密封,并置于 4 ℃冰箱低温保存,为下一步试验做预备。自 8 月中旬到 10 月下旬,共采集 7 批次的种子,各批次的种子经过相同处理,然后进行含油率和油脂成分测定。

### 1.4 种子油的提取

粗脂肪测定参照 GB/T 5512-1985《粮食、油料检验:粗脂肪测定法》。称量后的种子进一步烘干,至 1 h 内质量不再减轻为止,称取每批次完全烘干后的种子 6 g 左右,各批称取 3 次,做 3 个重复,每个重复种子敲碎后包在定性滤纸中,置于索氏提取器内,石油醚(petroleum ether)提取 8 h 以上(提取温度 60 ℃)。取下后将接受瓶置于旋转蒸发仪上将石油醚蒸发殆尽,余下油样备用。

### 1.5 脂肪酸的测定

样品前处理:称取 60.0 mg 油样于 25.0 mL 试管中,加 40.0 mL 异辛烷[2,2,4-(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>]溶解,再加入 0.2 mL 氢氧化钠甲醇(KOH-CH<sub>3</sub>OH)溶液(2.0 mol·L<sup>-1</sup>),充分混匀,10 min 后加入 1.0 g 硫酸氢钠(NaHSO<sub>4</sub>),混匀,静置 5 min 钟后吸取上清液测定。

使用 Agilent 7890A 气相色谱测定种子油的脂肪酸,FFAP(游离脂肪酸相)毛细管色谱柱型号:HP-INNOWax Polyethylene Glycol#1, 30.00 m×320.00 μm×0.25 μm(涂层);前检测器为 FID(火焰离子化检测仪)。进样口温度为 250 ℃,检测器温度 250 ℃,柱流量 1.0 mL·min<sup>-1</sup>,采用不分流进样;柱温采取程序升温:进样初始温度为 50 ℃,以 5 ℃·min<sup>-1</sup>升至 250 ℃,保持 10 min,尾吹流量为 25.0 mL·min<sup>-1</sup>,载气为氮气,柱头压为 60 kPa,氢气流量为 40.0 mL·min<sup>-1</sup>,空气流量为 400.0 mL·min<sup>-1</sup>,进样量为 1.0 μL·次<sup>-1</sup>。

判断不同类型的脂肪酸,用标准脂肪酸(色谱纯)在同样条件下进样,然后在气相色谱图上进行对比和判断。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实与种子的质量指标随采样时间的变化

采集 10 株标记的白花树的果实,每株采集的果实质量大致相等。表 1 中的半干质量指的是在烘箱下 65 ℃连续烘 26 h 后的质量,烘干后的果实脱壳后得到种子,种子称量后继续称量百粒质量(hundred grain weight, HGW),各批次样品称量 3 次,果实半干质量除以果实鲜质量即果实干鲜比(ratio of dry to fresh, RDF),是衡量果实饱满程度和含水率高低的指标,脱壳后得到的种子质量除以果实鲜质量即种

子得率(seed yield, SY), 是衡量果实饱满度的指标。

表 1 果实称量及脱壳后种子的百粒质量

Table 1 Nuts weighing and hundred-grain weight of <i>S. tonkinensis</i> seeds after decladding				
采种日期/(月-日)	果实鲜质量/g	果实半干质量/g	脱壳后种子质量/g	种子百粒质量/g
08-10	637.40	199.01	57.04	11.61 ± 0.29
08-22	565.57	208.25	60.27	12.88 ± 0.18
09-03	551.64	202.13	54.35	14.16 ± 0.33
09-15	689.70	271.52	82.64	15.45 ± 0.48
09-27	503.61	240.16	51.23	16.89 ± 0.43
10-09	743.70	493.47	139.12	17.52 ± 0.24
10-21	503.77	303.80	127.45	17.82 ± 0.22

图 1A 是果实干鲜比和种子得率随采样日期的变化曲线, 从折线图中可以看出: 果实干鲜比在 9 月 15 日之前呈缓慢上升的趋势, 之后陡然上升, 随后出现回落, 而种子得率在 9 月 27 日前保持平稳趋势, 之后呈快速上升趋势, 并一直维持这种趋势。而从表 1 和图 1B 可知, 种子百粒质量在 9 月 27 日前呈较快增加趋势, 之后增加趋势有所减缓。结合表 1 与图 1, 可以推断 9 月中下旬种子已趋于饱满(百粒质量缓慢增加), 但种子得率和果实干鲜比显著提高, 说明果壳开始脱水干燥, 是成熟的拐点时期。

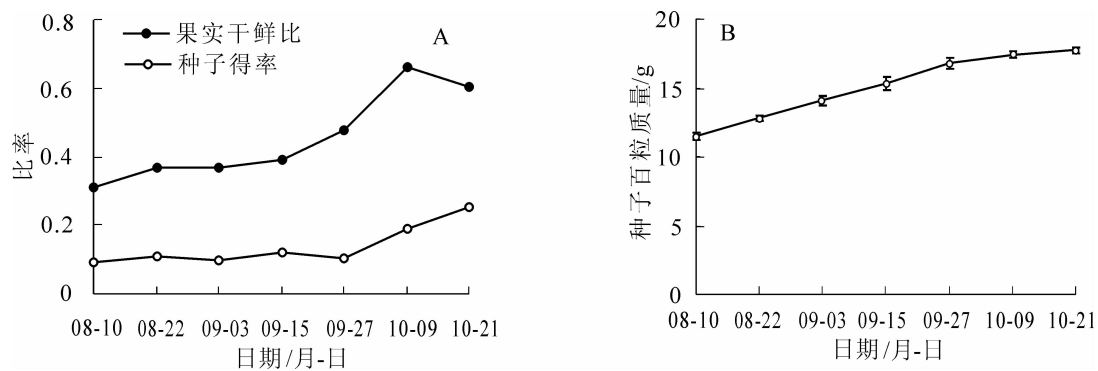


图 1 果实和种子的质量指标随采样时间的变化

Figure 1 Variation tendency of nuts and seeds weight indexes with sampling date changing

## 2.2 白花树种子油中脂肪酸组成和相对含量

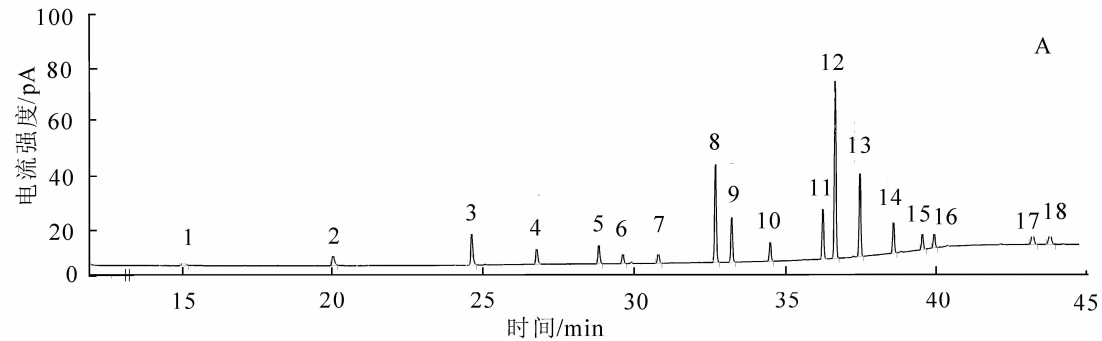
从表 2 可知: 白花树种子油中共检测出 10 种脂肪酸, 其中亚油酸 (linoleic acid) 质量分数最高, 在 7 次采样的样品中相对含量范围为 50.40%~65.19%。其次是油酸 (oleic acid), 相对含量范围为 17.73%~32.80%, 2 种脂肪酸相对含量占据总脂肪酸组分的 82% 以上, 说明白花树种子油以  $C_{18}$  不饱和脂肪酸为主, 同时也检测出一些不常见的脂肪酸, 如十七烷酸 (heptadecanoic acid), 顺-11-二十碳烯酸 (cis-11-dodecenoic acid) 和榆树酸 (behenic acid)。这些脂肪酸在白花树种子油中相对含量极低, 范围为 0~0.4%。另外, 2 种脂肪酸, 如棕榈油酸 (palmitoleic acid) 和花生酸 (arachic acid) 相对含量也很低, 最大不超过 0.25%。

图 2A 是标准品的气相色谱电泳迁移图, 图 2B 是其中 1 个样品 (10 月 21 日所取) 的电泳迁移图, 两

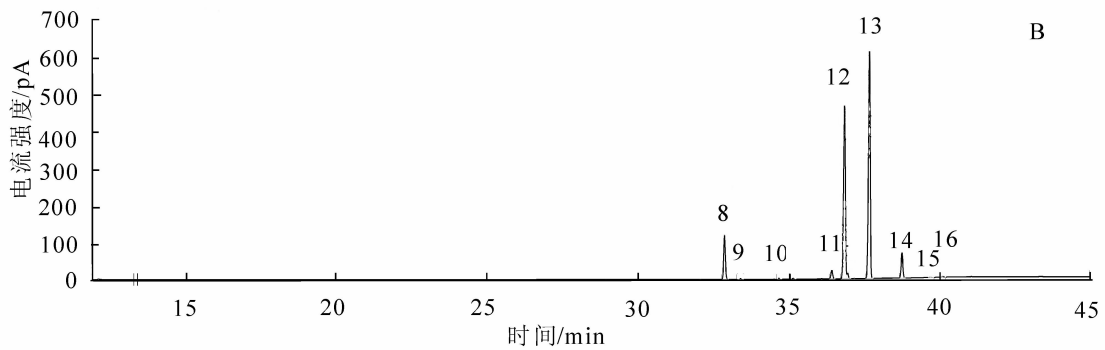
表 2 白花树种子油中检测到的脂肪酸成分及相对含量范围

Table 2 Fatty acid and its relative content range that detected in <i>S. tonkinensis</i> seeds oil					
脂肪酸	相对含量/%	脂肪酸	相对含量/%	脂肪酸	相对含量/%
软脂酸	7.49~9.73	油酸	17.73~32.8	顺-11-二十碳烯酸	0~0.17
棕榈油酸	0.08~0.13	亚油酸	50.4~65.1	榆树酸	0.10~0.14
十七烷酸	0.24~0.42	亚麻酸	2.63~6.24		
硬脂酸	1.76~2.21	花生酸	0.17~0.24		

者的对比可以看出样品含有 11 种脂肪酸, 可以判定的有 10 种, 其中波峰高度越高, 代表相对含量越高, 从图 2B 中可知白花树种子油脂中以亚油酸含量最高, 油酸次之, 然后是软脂酸(*palmitic acid*)、硬脂酸(*stearic acid*)和亚麻酸(*linolenic acid*), 其他脂肪酸相对含量都很低, 其对应的波峰高度也很低。



1: 15.342 辛酸甲酯; 2: 20.300 癸酸甲酯; 3: 24.878 月桂酸甲酯; 4: 27.024 十三烷酸甲酯; 5: 29.074 十四烷酸甲酯; 6: 29.866 肉豆蔻甲酯; 7: 31.039 十五烷酸甲酯; 8: 32.923 软脂酸甲酯; 9: 33.460 棕榈油酸甲酯; 10: 34.731 十七烷酸甲酯; 11: 36.470 硬脂酸甲酯; 12: 36.874 油酸甲酯; 13: 37.692 亚油酸甲酯; 14: 38.798 亚麻酸甲酯; 15: 39.752 花生酸甲酯; 16: 40.142 顺-11-二十碳烯酸甲酯; 17: 43.383 榆树酸甲酯; 18: 43.955 顺芥子酸甲酯



8: 32.924 软脂酸甲酯; 9: 33.460 棕榈油酸甲酯; 10: 34.728 十七烷酸甲酯; 11: 36.476 硬脂酸甲酯; 12: 36.898 油酸甲酯; 13: 37.726 亚油酸甲酯; 14: 38.800 亚麻酸甲酯; 15: 39.749 花生酸甲酯; 16: 40.138 顺-11-二十碳烯酸甲酯

图 2 样品与标准品的气相色谱图对照

Figure 2 Contrast of gas chromatogram generated by the sample and the standard

### 2.3 种子含油率和脂肪酸相对含量随采样时间的变化

**2.3.1 含油率的变化趋势** 1.4 节中石油醚提取前后种子质量的差值除以提取前称取的种子质量即是种子的含油率。从图 3A 可看出: 含油率在 8 月上旬至 9 月初先有一个缓慢上升的过程, 随后缓慢下降, 至 10 月上旬降至最低点, 然后再次上升, 稳定在 17.8% 左右(带壳种子的含量)。但整个过程含油率变化幅度(每次取样的值与平均值的差再除以平均值)并不大, 最高幅度仅为 13% 左右, 而且每次取样的样品重复之间的标准差比较大, 表明标记的树与树之间种子的含油率差异较大, 测定含油率的方法存在一定的误差, 影响含油率测定的因素较多。

**2.3.2 脂肪酸的变化趋势** 图 3B 是微量脂肪酸随采样时间的变化趋势。从中可看出花生酸和十七烷酸先呈缓慢下降趋势, 至 9 月下旬逐渐保持平稳, 而顺 11-廿碳烯酸在 8 月中下旬并未检出, 自 9 月初到 10 月下旬呈平稳的趋势。图 3C 是中等含量脂肪酸随采样时间的变化趋势。可以看出: 饱和脂肪酸软脂酸在 9 月上旬之前先呈缓慢下降趋势, 至 9 月下旬之后保持平稳, 这与十七烷酸的变化趋势基本一致, 另一饱和脂肪酸硬脂酸则一直保持平稳, 无明显上升或下降趋势; 而多不饱和脂肪酸亚麻酸却呈逐渐上升趋势, 至 10 月中下旬上升趋势有所缓和。图 3D 是 2 种主要脂肪酸油酸和亚油酸随采样时间的变化趋势, 可以直观看出亚油酸呈缓慢下降趋势, 而油酸却呈缓慢上升趋势。



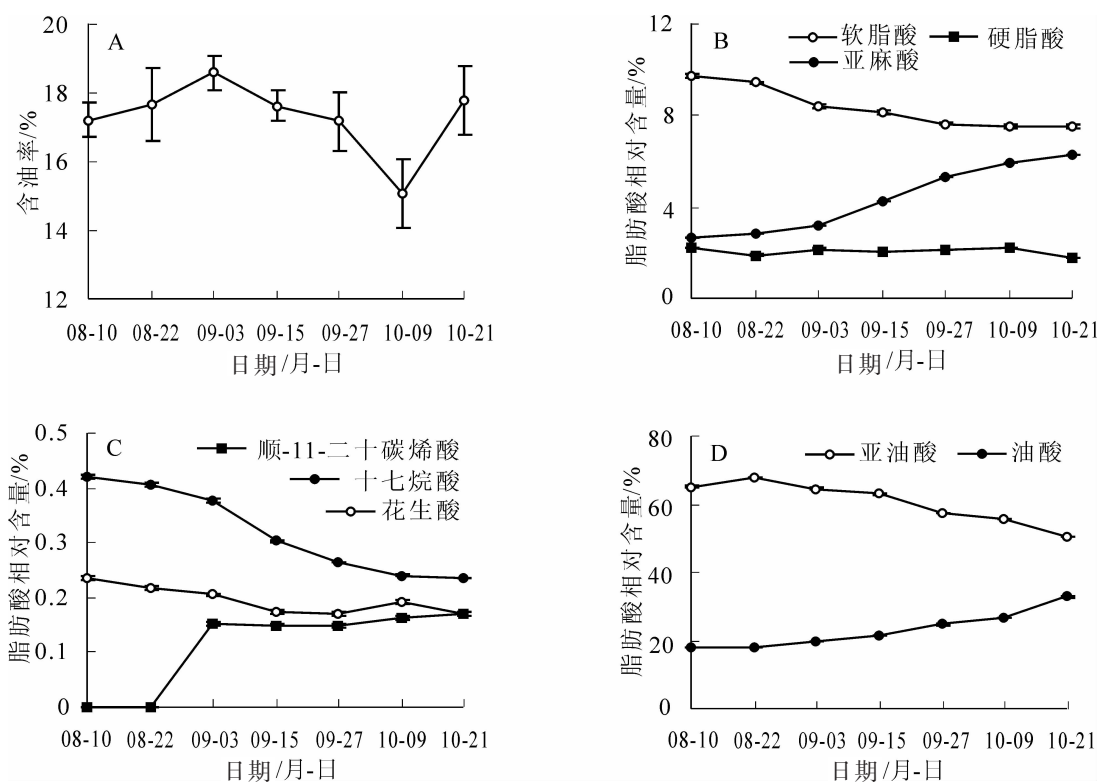


图3 种子含油率和各脂肪酸含量随取样时间的变化

Figure 3 Variation tendency of seed oil and fatty acids content with sampling date changing

从图 3C 与图 3D 可知油酸与亚麻酸相对含量逐渐上升而亚油酸相对含量却在逐渐下降,说明随着白花树种子的成熟,里面的脂肪代谢呈以下规律:油酸氧化脱氢形成亚油酸的速率在下降,而亚油酸氧化脱氢形成亚麻酸的速率在上升,这一下降和上升导致油酸与亚麻酸的积累和亚油酸的消耗。

### 3 讨论

#### 3.1 种子质量指标变化趋势

本试验隔 12 d 取标记的白花树果实(定期取样),果实称鲜质量后烘干,再称量后脱粒,得到种子百粒质量,然后再测定含油率和脂肪酸。烘干前后的果实质量比称为果实干鲜比,得到的种子质量除以果实鲜质量即为种子得率。结果发现:果实干鲜比在 9 月中旬(15 日)之前呈缓慢增长趋势,之后迅速增加,并在 10 月上旬(9 日)之后有所回落,说明果实饱满度在增加而相对含水量在减少。种子得率的变化趋势基本类似于果实干鲜比的趋势,差别是前期基本保持平稳趋势,而且拐点出现时间稍后(9 月 27 日),这进一步说明 9 月下旬后果实内含物开始迅速积累,从而使果实变得饱满而充实。种子百粒质量在 9 月下旬(27 日)之前一直呈稳步增加的趋势,但之后增加趋势有所减缓,这与果实干鲜比和种子得率的变化趋势并不一致,表明 9 月下旬之前果壳与种子在同步变得饱满而充实,外在表现就是种子得率保持平稳的趋势;但之后果壳便不再充实,开始缓慢脱水干燥,而种子却仍然保持充实的趋势,体现在果实干鲜比和种子得率方面,就是 2 个指标均在迅速增加。以上结果表明 9 月下旬是果实成熟的拐点时期。

#### 3.2 含油率变化趋势

含油率是衡量种子应用价值的重要指标之一。本次试验的种子都是带壳测定含油率,而且受测定方法的影响,比如没有排除空壳的种子可能会导致含油率偏低。顾艳蕾等<sup>[18]</sup>曾利用索式提取法对白花树种仁粗脂肪进行提取,结果发现:种仁含油率为 58.6%。本试验带壳种子的含油率最高为 18.6%,2 个数值并不矛盾,考虑到种壳与种仁的质量比大致为 1:1,而且不同溶剂(2 个试验的溶剂分别为乙醚与石油醚)提取效率的差异,因此,2 个数值都有其合理性。本试验的目的是观察含油率随种子成熟时间的变化趋势,只要保持测定方法的一致性,那么测定的值的变化趋势就具有相当的可靠性。

图 3A 折线表明含油率无明显的单一变化趋势,说明影响含油率测定的因素很多,同一取样时期不同标记的白花树种子之间含油率的差异也较大,这体现在每个取样点的值的误差线上。从图 3A 可看出:9 月上旬和 10 月下旬,种子的含油率相对较高,考虑到 9 月上旬种子得率和百粒质量较小,相对而言 10 月下旬是采摘种子的最佳时机。但生产实际中,在 10 月初大规模采收果实的时候发现白花树的落果现象较为严重,因此,提前(9 月底或 10 月初)采收然后阴干果实,让种子留在果壳里保持一段后熟的过程,然后脱果壳取种,是兼顾种子含油率高低和落果现象的较好办法。

### 3.3 脂肪酸营养价值及其变化趋势

脂肪酸组成是衡量油脂品质的主要指标。一般来说,植物油脂中以不饱和脂肪酸为主,白花树种子油也不例外,其不饱和脂肪酸主要有油酸、亚油酸和亚麻酸(总含量 88%以上),其中以亚油酸含量最高,相对含量为 50%~65%;而饱和脂肪酸主要有软脂酸、硬脂酸(总含量小于 12%)。

白花树种子油中所含的亚油酸及亚麻酸,是人体不能合成而必需靠外界摄取的脂肪酸,也是人体合成前列腺素的前驱物质,具有调节人体血压,促进新陈代谢的作用<sup>[9]</sup>;白花树种子油中的  $\alpha$ -亚麻酸( $\omega$ 3 脂肪酸)还具有减少炎症的发生和血小板凝聚的作用,对人体的健康具有重要的意义。白花树种子油中的微量脂肪酸,如花生酸,其学名为正构廿(烷)酸,分子式  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ ,相对含量约为 0.2%或更低,是人体合成前列腺素的前驱物质之一。天然油脂的脂肪酸组成中,绝大多数都是偶数碳的脂肪酸,奇数碳的脂肪酸则较少见,本研究发现白花树种子油中含有微量的奇数碳脂肪酸——十七烷酸,在一些文献当中奇数碳链脂肪酸被报道有特殊的治疗功效。吴时敏等<sup>[13]</sup>在研究抗癌药物中发现,奇数碳脂肪酸具有抗癌活性,Donald 等<sup>[14]</sup>研究发现在血浆和红细胞中的奇数碳脂肪酸是有效的生物素缺乏症的边际指标。因此,白花树种子油可能具有独特的生理功能,具有较高的营养价值和广阔的开发利用前景。

主要脂肪酸的动态变化中,亚油酸的相对含量随着种子的不断成熟呈缓慢下降趋势,9 月下旬之后趋于平稳;油酸和亚麻酸的相对含量呈缓慢上升趋势。而饱和脂肪酸,如软脂酸、硬脂酸以及含量极低的十七烷酸和花生酸等,除了硬脂酸的相对含量保持相对平稳,其他的均呈缓慢下降趋势,至 9 月下旬或 10 月初之后保持平稳。硬脂酸保持相对平稳的趋势说明此  $\text{C}_{18}$  脂肪酸,也是合成油酸,亚油酸和亚麻酸的前驱物质,其生成和消耗(氧化脱氢变成油酸)的速率大致保持平衡,故其动态含量保持了平稳的状态;微量不饱和脂肪酸,如顺 11-廿碳烯酸和棕榈油酸(数据未在本研究中显示),其含量均随着种子的成熟而缓慢上升,9 月下旬或 10 月初之后趋于平稳,这些结果都说明 9 月下旬至 10 月初是白花树种子成熟的拐点时期。这个时期之前,饱和脂肪酸含量缓慢下降,而不饱和脂肪酸相对含量除亚油酸外均缓慢上升,事实上即使亚油酸含量在下降,但不饱和脂肪酸的总量仍呈上升趋势。这个时期之后,除了油酸含量仍在缓慢增加,亚油酸含量仍在缓慢下降,其他脂肪酸相对含量都趋于稳定。

### 3.4 白花树研究方向的发展

白花树是一种野生木本油料植物,分布广泛,种子含油率高,是一种前景非常广阔的食用药用油料,其油脂以不饱和脂肪酸为主,营养价值高<sup>[5]</sup>;目前,白花树种苗繁育和引种栽培技术已趋成熟,木材综合利用研究也取得一定进展,但良种选育等方面的工作尚未系统开展。未来应开展优良种源的优树选择、子代测定等遗传改良工作,选育白花树良种,尤其要加强药用林、油料林和工艺用材林的定向选育和高效栽培管理模式研究。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴: 第 3 册[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 338.
- [2] 郑万钧. 中国树木志: 第 2 卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 1602 - 1604.
- [3] 傅立国, 陈潭清. 中国高等植物: 第 6 卷[M]. 青岛: 青岛出版社, 2003: 10 - 29.
- [4] KASHIO M, JOHNSON D V. *Monograph on Benzoic* [M]. Bangkok: RAP Publication, 2001: 49.
- [5] 肖复明, 曾志光, 杨桦, 等. 东京野茉莉种子油营养成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2005, 17 (3): 344 - 345.
- XIAO Fuming, ZENG Zhiguang, YANG Hua, *et al.* Studies on the nutrient composition of *Styrax tonkinensis* seed [J]. *Nat Prod Res & Develop*, 2005, 17 (3): 344 - 345.

- [6] SATOSHI Y. Forest, ethnicity and settlement in the mountainous area of northern Laos [J]. *Southeast Asian Stud*, 2004, **42** (2): 132 – 156.
- [7] PHUONG L X, SHIDA S, SAITO Y, *et al.* Effects of heat treatment on bending strength and decay resistance of *Styrax tonkinensis* wood [J]. *Wood Preserv*, 2006, **32** (1): 7 – 12.
- [8] PHUONG L X, SHIDA S, SAITO Y. Effects of heat treatment on brittleness of *Styrax tonkinensis* wood [J]. *Wood Sci*, 2007, **53** (3): 181 – 186.
- [9] 欧乞钺, 李代芳, 喻长惠, 等. 中国植物油脂的研究 (I) 100 种植物种子油的脂肪酸成分 [J]. 云南植物研究, 1980, **2** (3): 275 – 295.
- OU Qizhen, LI Daifang, YU Changhui, *et al.* A study on the seed oils of Chinese plants (I) component acids of seed oils of 100 species [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1980, **2** (3): 275 – 295.
- [10] 顾雁蕾, 叶兴乾, 柳新红. 野茉莉种仁与种子油的营养成分及理化特性研究 [J]. 食品工业科技, 2010, **12** (31): 328 – 329.
- GU Yanlei, YE Xingqian, LIU Xinhong. Composition and some characteristics of the seeds and the seed-oil of *Styrax tonkinesis* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, **12** (31): 328 – 329.
- [11] 刘光斌, 黄长干, 刘苑秋, 等. 东京野茉莉油的提取及其制备生物柴油的初步研究 [J]. 江西农业大学学报, 2007, **29** (4): 685 – 689.
- LIU Guangbin, HUANG Changgan, LIU Yuanqiu, *et al.* Extraction of fruit oil from *Styrax tonkinensis* and preparation of bio-diesel [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2007, **29** (4): 685 – 689.
- [12] 柳新红, 李因刚, 何小勇. 白花树研究进展 [J]. 浙江林业科技, 2008, **28** (5): 61 – 65.
- LIU Xinhong, LI Yingang, HE Xiaoyong. Research development on *Styrax tonkinensis* [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2008, **28** (5): 61 – 65.
- [13] 吴时敏. 功能性油脂 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [14] DONALD M M, CINDY L H, NADINE C, *et al.* Lymphocy tepropionyl-CoA carboxylase and accumulation of odd-chain fatty acid in plasma and erythrocytes are useful indicators of marginal biotin deficiency [J]. *J Nutr Biochem*, 2002, **36** (13): 462 – 470.