

采后晾晒对油茶种仁油脂产量及组分的影响

曾艳玲*, 颜亚丹, 谭晓风, 何超银, 杨睿

中南林业科技大学, 经济林培育与保护教育部重点实验室, 经济林育种与栽培国家林业局重点实验室, 经济林培育与利用湖南省协同创新中心, 长沙410004

摘要: 油茶(*Camellia oleifera*)是我国大力推广的优质油料树种。本研究分别取花后150和170 d油茶果实, 比较新鲜提取、自然晾晒及不同光质晾晒后种仁含油率及脂肪酸含量, 旨在为合理采收处理提供科学依据。结果表明, 晾晒能够显著提高花后150 d油茶种仁出油率, 其中‘华鑫’种仁出油率的增加达5.35%。覆盖蓝色膜晾晒最有利于花后150 d的‘华硕’油茶油脂采后合成, 种仁出油率高达52.42%。晾晒对花后170 d油茶种仁出油率影响不大。无论晾晒与否, 脂肪酸成分不变, 花后170 d较花后150 d油茶种仁中硬脂酸和油酸含量均有增加, 但是品种间差异不显著。

关键词: 油茶; 晾晒; 光质; 油脂含量; 脂肪酸

油茶(*Camellia oleifera*)是我国南方特色木本食用油料树种, 其茶油的品质优良, 且长期以来供不应求, 因此如何提高茶油产量的研究成为热点。季志平(1991)研究发现将鲜果堆沤6~7 d, 可以完成油茶果的后熟, 从而提高种子含油率。但胡春水等(1999)的研究表明采后油茶果经堆沤处理, 油脂含量低于不堆沤的果实。宋倩倩等(2017)研究则发现25.10°C条件下对采后油茶果喷施浓度为403.64 mg·L⁻¹的赤霉素, 能使油茶种仁含油率高于对照5.69%。通常情况下, 为了采收方便, 无论油茶品种, 林农会统一在10月中下旬(即花后150~180 d)采收油茶果实; 此外, 为了节约成本, 也鲜有对采后油茶果实进行药剂处理。但是有的油茶品种在此时期尚未完全成熟, 油脂含量还有较大提升空间, 且过早采收和采后不当处理会导致油脂酸值和过氧化值升高等问题(王亚萍等2017)。李来庚等(1988)研究结果表明, 在摊晒过程中, 油茶油脂含量明显增高, 而在堆沤处理中, 油脂含量降低, 堆沤与摊晒处理间脂肪含量相差高达15%, 在不同实验条件下酸值、碘值、皂化值以及脂肪酸相对含量没有明显差异。石铁铮(1992)发现收获未完全成熟油籽在适宜温度下干燥处理能产生后熟作用, 使油籽的加工工艺品质提高。罗凡等(2015)则认为油茶果采后通过长时间晾晒进行“后熟处理”来提高油茶籽品质存在误区, 烘干处理相对晾晒处理更能保留天然营养成分, 但10月中旬前采收的油茶果晾晒处理较烘干处理种仁含油率高。因此, 在现有油茶产量基础上, 通过适时采收和采后合理日晒以提高出

油率, 确保油品质量, 是在不增加种植面积和营林投资的条件下增产增收的新途径。

绿色果皮含有叶绿体, 能像植物叶片一样通过光合作用为果实积累干物质提供能量并影响果实品质(Robert等1999)。赵泽等(2015)的研究表明, 小麦籽粒果皮的绿色层具有较强的光合能力, 对籽粒最终淀粉含量的贡献约为2%。植物的生长发育不仅受光量或光强的制约, 而且受光质即不同波长的光与辐射及其不同组成比例的影响(许大全等2015)。可见, 光波长的光谱调节光合色素、叶绿体结构、叶片生长、气孔张合、光合碳同化及相关蛋白和基因的表达(郑洁等2008; Wang等2009)。尹继龙等(2014)的研究表明, 在蓝光下培养的小球藻生物量和油脂含量均比白光、绿光、黄光和红光的高, 而红光下培养的为最低, 油脂含量相差13.24%。Zhang等(2012)深入研究后发现高温下中波紫外线照射处理采后砂梨能上调关键调控基因*PyMYB10*表达量, 从而加深果皮红色着色。油茶果糖-1,6-二磷酸醛缩酶(*Camellia oleifera* fructose-1,6-bisphosphate aldolase, CoFBA)是糖酵解代谢途径中的关键酶, 但其代谢产物直接或间接地影响着油茶出油率(Zeng等2014)。油茶硬脂酰基载体蛋白脱饱和酶(*Camellia oleifera* stearoyl-acyl carrier protein desaturase, CoSAD)是饱和脂肪酸转化为不

收稿 2017-10-18 修定 2018-01-22

资助 国家自然科学基金(31500556)、湖南省教育厅项目(16C1669)、湖南省林业厅项目(XKL201743)。

* 通讯作者(zengyanling110@126.com)。

饱和脂肪酸的关键调控酶,直接关系到茶油组分含量(陈鸿鹏等2015)。油茶脂酰辅酶A脱氢酶(*Camellia oleifera* acyl-CoA dehydrogenase, CoACAD)是一种线粒体黄素酶,在黄素腺嘌呤二核苷酸辅助因子的作用下,通过催化酰基辅酶A酯类中的 α 、 β 位的脱氢反应来参与脂肪酸与氨基酸的 β 氧化分解代谢(王建勇等2015)。本研究拟根据不同品种油茶果采后自然晾晒和不同光质晾晒过程中油脂变化特点及关键基因表达差异,分析油茶果采后晾晒对其油脂变化的影响,为采后合理处理以提高茶油产量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为国家审定油茶(*Camellia oleifera* Abel.)优良品种‘华硕’、‘华金’、‘华鑫’和‘湘林210’,采样地点为湖南省长沙市望城县东城镇油茶基地。试验材料分别为花后150 d和花后170 d的鲜样和晾晒样,每组3个生物学重复。取样时,选取盛果期同龄油茶树各3棵,每次各取同花期油茶果16~20颗,其中8~10颗作鲜样处理,另外8~10颗作晾晒处理。另外,选取盛果期同龄‘华硕’油茶树3棵,分别采花后150 d果实50~60颗进行不同光质下的晾晒处理。

ChamQ™ SYBR qPCR Master Mix和HiScript II Q RT SuperMix for qPCR (+gDNA wiper)均购自南京诺维赞生物科技有限公司。EZ-10 DNAaway RNA Mini-prep Kit购自生工生物工程(上海)股份有限公司。常规试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。引物由北京华大生物技术有限公司合成。

1.2 晾晒处理

1.2.1 自然晾晒

采用四周有多个透气孔的无盖纸盒存放油茶果实,在自然光下晾晒2、5和20 d,即为晾晒样;以鲜样(将新鲜种仁直接烘干)为对照。

1.2.2 不同光质晾晒

采用四周有多个透气孔的无盖纸盒存放花后150 d的‘华硕’油茶果实,采用单层(厚度为0.01 mm,透光率80%)紫色、黄色、红色、黑色、蓝色塑料袋覆盖顶部,晾晒20 d;以不覆盖色膜晾晒为对照。

1.3 指标测定

将经处理后的油茶果实去壳,取种仁烘干至

恒重,用高速多功能粉碎机粉碎后取各试样6~8 g,参照国标GB/T14772-2008索氏提取法提取油脂。种仁含油率=(油脂重/烘干的种仁重) \times 100%。采用碱式甲酯化气相色谱法测定脂肪酸组分及含量(曾艳玲等2014)。色谱条件为:30 m \times 0.25 μ m \times 0.25 mm FFAP毛细管柱;色谱柱温度从60 $^{\circ}$ C升温至180 $^{\circ}$ C(25 $^{\circ}$ C \cdot min $^{-1}$,停留1 min),继续升温至210 $^{\circ}$ C(3 $^{\circ}$ C \cdot min $^{-1}$,停留1 min),再升温至212 $^{\circ}$ C(0.3 $^{\circ}$ C \cdot min $^{-1}$,停留1 min),然后升温至240 $^{\circ}$ C(8 $^{\circ}$ C \cdot min $^{-1}$,停留2 min);进样口温度240 $^{\circ}$ C,检测器温度240 $^{\circ}$ C;分流比为1:50,载气流速为N₂ 1.23 mL \cdot min $^{-1}$,压缩空气400 mL \cdot min $^{-1}$,H₂ 40 mL \cdot min $^{-1}$;进样量1 μ L。

1.4 实时荧光定量PCR检测

分别取鲜样及晾晒2和5 d后油茶种仁提取RNA,逆转录为cDNA,采用实时荧光定量PCR确定*CoFBA4*、*CoSAD*和*CoACAD*基因的相对表达量,*CoEF1 α* 作为内参基因。每个样品进行3个平行重复检测。PCR引物分别为:qCoFBA4F,5'-GAGATTCTTCTTGATGGGGAT-3',qCoFBA4R,5'-CATAGTGAGCGTGTATTTGGC-3';qSADF,5'-GTTCAAGTAACGCACTCCAT-3',qSADR,5'-TTGCCAACATTTCTCCACAG-3';CoACADF,5'-AAAAAATGGTGGACGAGTGGAG-3',CoACADR,5'-TTGATTGTTGCTTATGCTTAGG-3';CoEF1 α F,5'-CAAAGAAGGGTGCCAAGTGA-3',CoEF1 α R,5'-ACCAAACAACCGACCTACGA-3'。PCR反应体系为:2 \times ChamQ SYBR qPCR Master Mix 10.0 μ L、正反向引物(10 μ mol \cdot L $^{-1}$)各0.4 μ L、50 \times ROX Reference Dye1 0.4 μ L、cDNA 0.5 μ L、超纯水8.3 μ L。PCR扩增条件为:95 $^{\circ}$ C预变性30 s;95 $^{\circ}$ C变性10 s,60 $^{\circ}$ C退火30 s,共40个循环;溶解曲线95 $^{\circ}$ C变性15 s,60 $^{\circ}$ C退火60 s,95 $^{\circ}$ C变性15 s。

1.5 数据分析

数据来源于3次平行重复实验结果。采用SPSS软件进行统计分析和*t*检验,图中数据为平均值 \pm 标准误。统计结果用Excel 2007作图。

2 实验结果

2.1 不同品种油茶采后晾晒种仁的油脂含量特征

采后进行合理的日晒可以提高油茶脂肪酸含量,但是不同成熟期采收的油茶果实后熟能力有差异。从图1-A可以看出,4个油茶品种花后150 d

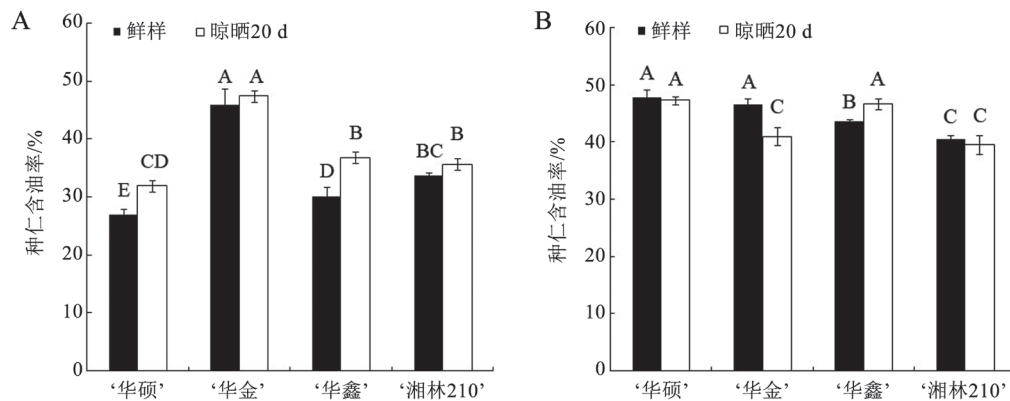


图1 油茶鲜样和晾晒样的种仁含油率

Fig.1 Kernel oil content in fresh and air-dried fruits of *C. oleifera*A: 花后150 d; B: 花后170 d。同一子图中不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

采收的果实, 鲜样油脂含量差异显著, 晾晒后‘华鑫’和‘湘林210’油脂含量差异不显著; ‘华鑫’采后鲜样和晾晒样中提取获得的油脂含量为最高, 均达到45%以上。4个油茶品种晾晒样种仁含油率均较鲜样中的高; ‘华硕’、‘华鑫’和‘湘林210’差异显著($P < 0.01$), 其中‘华鑫’差异最大, 高达5.35%。比较花后170 d采收的鲜样和晾晒样提取的油脂获得率, 仅‘华鑫’晾晒样含油率增加3.32%, 其他3个品种均为减少, ‘华鑫’差异显著($P < 0.01$) (图1-b)。另外, 将花后150和170 d油茶种仁含油率进行比较, 除‘华鑫’花后170 d晾晒样, 其余品种均为后者比前者含油率高, 其中‘华鑫’增幅高达12%。表明成熟期油茶种仁含油率明显高于近成熟期, 近成熟期油茶果实可以通过采后晾晒提高种仁含油率, 但是成熟期油茶果实采后晾晒对提高种仁含油率作用不大。

2.2 不同品种油茶采后晾晒的种仁脂肪酸组分特征

油茶种仁脂肪酸主要由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸等成分组成, 其中油酸占脂肪酸成分的绝大部分(图2)。花后150 d的油茶种仁中油酸含量占脂肪酸成分的80%左右, 棕榈酸和亚油酸含量相当, 均占8%左右, 硬脂酸含量约5%, 亚麻酸含量小于1%; 4个品种鲜样和晾晒样的脂肪酸中各成分差异不显著且无规律性(表1)。无论鲜样还是晾晒样, 花后170 d种仁中硬脂酸和油酸含量均比花后150 d的有所增加, 棕榈酸、亚油酸和亚麻酸含量相对减少, 且花后170 d品种间差异更小(表1)。

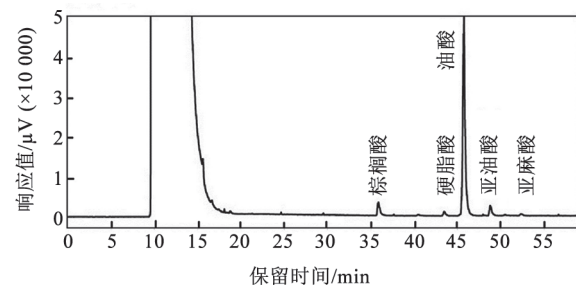


图2 ‘华硕’茶油脂肪酸组分的气相色谱图

Fig.2 The chromatogram of fatty acids from *C. oleifera* cv. ‘Huashuo’

2.3 晾晒过程中油茶种仁油脂合成关键酶基因的表达变化

油茶果在采后晾晒过程中仍然继续着一系列生理变化, 采摘时成熟度的差异直接影响采后产物的不同。生理变化直接或间接受相关基因表达调控。从图3-A可以看出, 花后150 d的油茶果成熟度较低, 各品种鲜样和晾晒样中 $CoFBA4$ 表达量差异显著($P < 0.05$), 且均为晾晒样比鲜样中的高, 这与花后150 d鲜样和晾晒样种仁含油率的差异比较结果一致(图1-A), 但是‘华鑫’和‘湘林210’晾晒5 d的样品中 $CoFBA4$ 表达量比晾晒2 d的低。将花后170 d油茶鲜样和晾晒样进行比较, ‘华鑫’和‘湘林210’的 $CoFBA4$ 表达量呈先上调后下调的趋势, 且‘华鑫’晾晒5 d后 $CoFBA4$ 表达量低于鲜样; ‘华硕’和‘华鑫’的 $CoFBA4$ 表达量则呈先下调后上调的趋势, 但晾晒2 d与鲜样中 $CoFBA4$ 表达量差异不显著($P < 0.05$) (图3-B)。

表1 茶油中脂肪酸成分及含量
Table 1 Fatty acid composition and content in tea oil

品种	处理方式	花后150 d				
		棕榈酸/%	硬脂酸/%	油酸/%	亚油酸/%	亚麻酸/%
‘华硕’	鲜样	8.30±0.12 ^b	1.47±0.41 ^c	81.95±1.73 ^a	7.28±0.12 ^b	1.00±0.58 ^c
	晾晒20 d	7.88±0.58 ^b	1.32±0.01 ^c	81.85±1.15 ^a	8.05±0.32 ^b	0.93±0.06 ^c
‘华金’	鲜样	10.76±0.27 ^c	1.58±0.30 ^e	78.39±1.51 ^b	8.74±0.22 ^d	0.53±0.17 ⁱ
	晾晒20 d	8.57±0.10 ^e	1.53±0.01 ^e	81.16±1.16 ^a	8.04±0.04 ^f	0.71±0.02 ^h
‘华鑫’	鲜样	8.61±0.02 ^d	1.34±0.03 ^f	80.68±0.08 ^a	8.70±0.03 ^d	0.66±0.03 ^g
	晾晒20 d	8.10±0.15 ^e	1.38±0.00 ^f	80.13±0.12 ^b	9.80±0.12 ^c	0.59±0.12 ^g
‘湘林210’	鲜样	7.69±0.04 ^b	1.93±0.05 ^c	84.57±0.13 ^a	4.98±0.13 ^d	0.83±0.46 ^f
	晾晒20 d	7.69±0.27 ^b	1.83±0.06 ^c	84.56±0.28 ^a	6.85±0.14 ^c	0.87±0.04 ^f

品种	处理方式	花后170 d				
		棕榈酸/%	硬脂酸/%	油酸/%	亚油酸/%	亚麻酸/%
‘华硕’	鲜样	7.34±0.14 ^b	2.15±0.23 ^c	83.76±2.62 ^a	6.11±0.12 ^b	0.64±0.04 ^c
	晾晒20 d	6.96±0.09 ^b	1.86±0.07 ^c	84.66±2.17 ^a	5.70±0.35 ^b	0.82±0.04 ^c
‘华金’	鲜样	9.01±0.18 ^b	1.83±0.04 ^c	81.29±1.83 ^a	7.35±0.17 ^b	0.52±0.07 ^c
	晾晒20 d	7.64±0.32 ^b	2.07±0.13 ^c	83.01±1.68 ^a	6.54±0.09 ^b	0.73±0.57 ^c
‘华鑫’	鲜样	7.25±0.14 ^b	2.42±0.50 ^c	83.38±2.07 ^a	6.51±0.21 ^b	0.44±0.07 ^c
	晾晒20 d	6.73±0.33 ^b	2.24±0.19 ^c	83.66±2.79 ^a	6.79±0.21 ^b	0.58±0.09 ^c
‘湘林210’	鲜样	7.44±0.14 ^b	2.80±0.36 ^c	84.98±2.38 ^a	4.18±0.10 ^{bc}	0.59±0.20 ^c
	晾晒20 d	6.94±0.24 ^b	2.75±0.31 ^c	85.32±2.53 ^a	4.27±0.23 ^{bc}	0.72±0.02 ^c

相同采摘时期同一品种中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

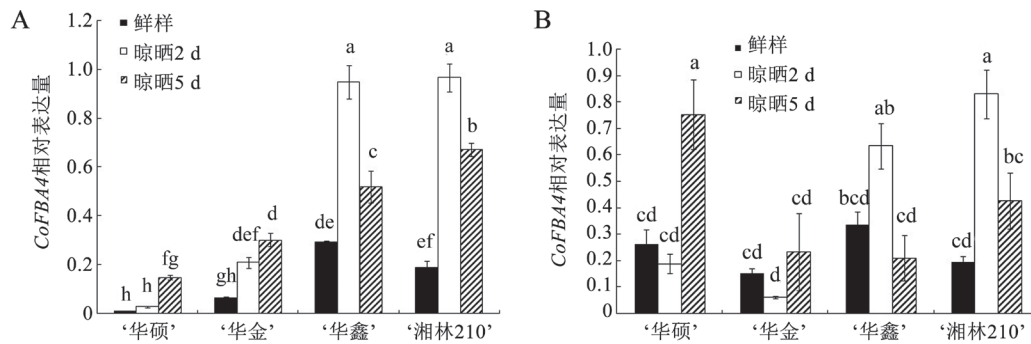


图3 油茶鲜样和晾晒样中*CoFBA4*基因的相对表达量

Fig.3 *CoFBA4* expression levels in fresh and air-dried fruits of *C. oleifera*

A: 花后150 d; B: 花后170 d。同一子图中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由图4可见, 花后150 d的‘华金’、‘华鑫’和‘湘林210’鲜样和晾晒样中*CoSAD*表达量呈先上调后下调的趋势, 晾晒5 d后‘华金’和‘华鑫’的*CoSAD*表达量显著低于鲜样, ‘华硕’和‘湘林210’的*CoSAD*表达量仍然略高于鲜样(图4-A); 而花后170 d的各品种鲜样和晾晒样中*CoSAD*表达量均差异不显著(图4-B)。这与脂肪酸成分和含量的分析结果基本一致(表1)。

图5-A显示, 花后150 d的‘华金’、‘华鑫’和‘湘林210’鲜样和晾晒样中*CoACAD*表达量呈先上调后下调的趋势, 晾晒5 d后‘华鑫’和‘湘林210’的*CoACAD*表达量低于鲜样; ‘华硕’鲜样和晾晒样的*CoACAD*表达量虽然没有显著差异, 但是呈现先下调后恢复上调的趋势。图5-B显示, 花后170 d的‘华金’和‘华鑫’晾晒样的*CoACAD*表达量均较鲜样的低, 且呈逐渐下调趋势, 但‘华硕’和‘湘林210’的

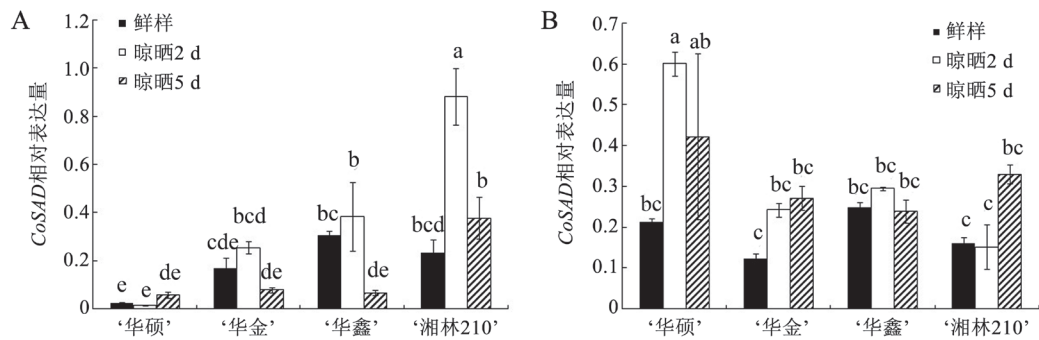


图4 油茶鲜样和晾晒样中CoSAD基因的相对表达量

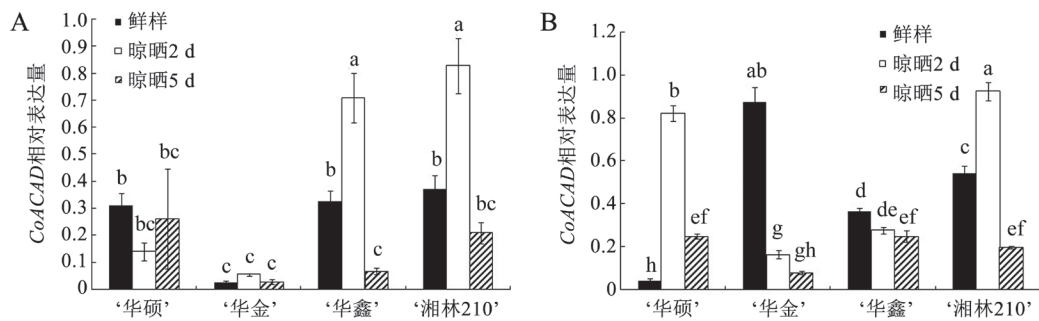
Fig.4 *CoSAD* expression levels in fresh and air-dried fruits of *C. oleifera*A: 花后150 d; B: 花后170 d。同一子图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图5 油茶鲜样和晾晒样中CoACAD基因的相对表达量

Fig.5 *CoACAD* expression levels in fresh and air-dried fruits of *C. oleifera*A: 花后150 d; B: 花后170 d。同一子图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

*CoSAD*表达量呈先上调后下调的趋势, 其中‘湘林210’晾晒5 d的样品中*CoACAD*表达量低于鲜样。这可能与果实晾晒过程中活力逐渐下降相关。

2.4 不同光质晾晒对油茶种仁含油率的影响

光质影响植物生长发育过程中的生理生化活动。绿色果皮含有叶绿素, 能进行光合作用, 促进果实发育(陈俊伟等2001)。“华硕”油茶属于大果晚熟型品种(谭晓风等2011), 在花后150~170 d果皮仍呈绿色或褐绿色, 因此本研究选择花后150 d的‘华硕’果实进行采后不同光质晾晒处理。覆盖不同色膜晾晒后的‘华硕’种仁含油率存在差异, 紫、黄、蓝色膜处理的油茶种仁含油率显著高于红、黑色膜处理及未覆膜晾晒的对照($P < 0.05$), 其中蓝色膜处理的油脂含量最高, 种仁含油率高达52.42%, 而红、黑色膜处理与对照种仁含油率相当(图6)。红色膜内以620~740 nm红光透光率最大, 黄色膜内以580~680 nm黄、橙、红光透光率最大, 蓝色膜内以460~480 nm蓝光透光率最大, 紫色膜内以460~480

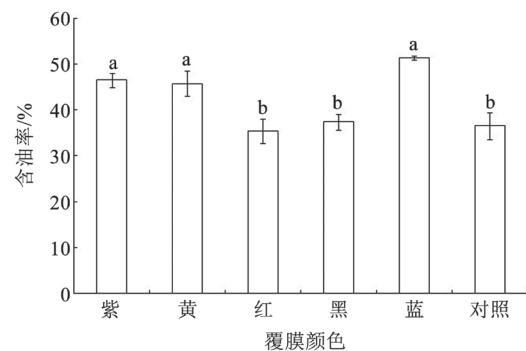


图6 不同光质晾晒后‘华硕’油茶种仁含油率

Fig.6 Kernel oil content in *C. oleifera* cv. ‘Huashuo’ fruits after selective light air-drying不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

nm蓝光和680~740 nm红光透光率最大(张巧琴等1987), 将不同光质波长量化后与种仁含油率进行双变量相关性分析, 结果显示Pearson相关性为 -0.953^* , 显著性为0.047, 说明两者呈显著负相关。

2.5 不同光质晾晒对油茶脂肪酸成分的影响

光质影响油茶种仁的油脂含量, 但是对于脂肪酸成分及各成分的相对含量影响较小。由表2可见, 无论用哪种色膜处理的‘华硕’油茶种仁油酸含量均在85%左右, 饱和脂肪酸(棕榈酸+硬脂酸)含量约10%。相对而言, 黑、红、紫色膜处理的棕榈酸含量增加, 黄、蓝色膜处理的减少; 黄、蓝、紫色膜处理的硬脂酸含量增加, 黑、红色膜处理的减少; 红、蓝色膜处理的油酸含量增加, 黑、黄、紫色膜处理的减少; 黑、红、黄、紫色膜处理的亚油酸含量增加, 蓝色膜处理的减少; 黄、蓝色膜处理的亚麻酸含量增加, 黑、红、紫色膜处理的减少。将不同光质波长量化后与脂肪酸各成分含量进行双变量相关性分析, 结果显示显著性均大于0.1, 说明不同光质晾晒对脂肪酸各成分含量影响不大。

3 讨论

当植物负载量足够时, 果实中的干物质可以占到叶片中光合作用生产总量的50% (Pavel和De-Jong 1993)。王连伏等(2017)研究发现西兰花采后贮藏前期, 光合作用的有机底物尚充足的情况下, LED红蓝光照射能促进采后西兰花光合作用的继续进行。本研究表明, 花后150 d采收的油茶果实经过日光晾晒后油脂含量均得到了提高, 这可能与此阶段油茶果皮尚含有较多叶绿素, 采后晾晒初期果皮绿色层仍在继续光合作用, 有助于油脂后合成相关。而花后170 d采收的油茶, 经过日光晾晒后大部分品种油脂含量差异不大, 这可能是因为随着果实的发育成熟, 果皮光合放氧速率逐渐下降(孙山等2011), 且离体果实“源”仅来自于果

皮, 花后170 d的品种大部分果皮褐化, 果皮光合能力近乎为零, 因此油脂后合成能力明显下降。从关键基因表达变化也可以看出, 油茶近成熟期调控油脂产量的关键基因表达量均表现为晾晒样高于鲜样, 成熟期相关基因表达量差异没有近成熟期的显著。但是晾晒样和鲜样种仁含油率比较显示, 花后170 d鲜样均比花后150 d晾晒样的高, 这可能是因为离体果实“源”少于树体挂果, 所以油脂合成的能力相对较弱。油茶果采后无论晾晒与否, 脂肪酸成分及其在油脂含量中所占比例变化不显著, 这与油茶果在晾晒过程脂肪酸组分代谢关键基因表达量同比增减的结果相一致。晾晒过程中油茶油脂降解关键酶基因表达量下调速率明显高于调控油脂产量和脂肪酸组分代谢关键酶基因表达量下调速率, 这间接说明晾晒过程中油茶果实分解代谢能力比合成代谢能力丧失快, 晾晒可以延缓油茶脂肪酸变质。

张巧琴等(1987)在研究色膜棚覆盖栽培对油茶生长的影响中发现油茶幼苗较喜红光和蓝紫光, 忌黄绿光; 红、黄、蓝、紫色膜处理过的油茶座果率和收果率都比未处理的大, 这与红光和蓝光能影响叶片叶绿素的形成及含量, 远红光可以使叶绿素a/b降低(Heraut-Bron等1999)理论一致; 姚小华等(2015)在研究光质对油茶嫁接苗生长的影响中发现不同光质照射下的油茶嫁接苗高和地径的生长量也分别存在显著和极显著性差异。但油茶果实的不同光质处理研究尚未见报道。崔晓辉等(2017)在研究LED补光对甜瓜果实品质的影响中发现红光处理下甜瓜果实糖含量较蓝光更高, 究其原因可能是光质的改变诱导了光敏色素对蔗糖代谢酶的调控, 抑或光质影响碳水化合物合成

表2 不同光质晾晒处理后的‘华硕’油茶中脂肪酸成分及含量

Table 2 Fatty acid composition and content in *C. oleifera* cv. ‘Huashuo’ fruits after selective light air-drying

塑料膜颜色	棕榈酸/%	硬脂酸/%	油酸/%	亚油酸/%	亚麻酸/%
紫	7.30±0.12 ^a	2.97±0.14 ^a	84.74±0.35 ^{bc}	4.34±0.22 ^{abc}	0.64±0.03 ^b
黄	6.81±0.08 ^{ab}	3.02±0.07 ^a	84.67±0.35 ^{bc}	4.77±0.26 ^{ab}	0.73±0.03 ^{ab}
红	7.23±0.10 ^a	2.30±0.10 ^b	85.49±0.26 ^{ab}	4.28±0.21 ^{bc}	0.70±0.04 ^{ab}
黑	7.32±0.13 ^a	2.58±0.25 ^{ab}	84.44±0.23 ^c	5.00±0.06 ^a	0.66±0.03 ^{ab}
蓝	6.58±0.28 ^b	3.22±0.17 ^a	85.75±0.22 ^a	3.68±0.24 ^c	0.75±0.04 ^a
对照	6.94±0.14 ^{ab}	2.75±0.34 ^{ab}	85.32±0.33 ^{abc}	4.27±0.20 ^{bc}	0.72±0.03 ^{ab}

同一成分中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

与转运(Yamazaki 2010); 李亚华等(2015)在研究LED光质对茄子果实品质的影响中发现蓝光处理茄子, 其果肉可溶性蛋白质含量显著高于其他处理, 原因可能是蓝光条件下呼吸作用增强, 为氨基酸合成、碳同化及蛋白质合成提供能量。本研究结果显示, 虽然无论晾晒或不同光质晾晒, 受试品种种仁脂肪酸主要组分相同且含量差异不显著, 但不同光质晾晒对采后油茶种仁含油率有一定的影响, 覆蓝、紫、黄色膜滤光有助于油茶油脂后合成, 其中覆蓝膜最有利于油脂合成, 覆红膜对采后油茶籽油后合成作用不大, 这可能是由于油脂同蛋白质一样为大分子物质, 合成需要更多的能量, 而蓝光区光量子能量较高(李韶山和潘瑞炽1995)。而覆黑膜组出油率低可能与果皮叶绿素接受的光强不够相关(胡阳等2009)。王美霞等(2017)研究表明LED红蓝光照射采后西兰花能够保证其在贮藏前期仍正常进行光合作用, 从而促进己糖在内的糖类物质积累, 利于Vc含量的保持。尚未完全成熟的油茶采后绿色果皮短时间内也可能作为离体“源”提供能量, 虽然有限但适当光质调控能辅助未完全成熟的油茶果实后熟, 从而提高种仁含油率, 但是这一推测还需更多实验数据佐证。本研究结果可为合理采收处理油茶果实提供科学依据, 但油茶果皮光合效应及后熟作用机理有待进一步深入研究。

参考文献(References)

- Chen HP, Tan XF, Xie YJ, et al (2015). Construction, identification and function analysis on vectors of *CoSAD* gene from *Camellia oleifera*. *Bull Bot Res*, 24 (2): 11–18 (in Chinese with English abstract) [陈鸿鹏, 谭晓风, 谢耀坚等(2015). 油茶*CoSAD*基因载体的构建、鉴定及功能分析. *植物资源与环境学报*, 24 (2): 11–18]
- Chen JW, Zhang SL, Zhang LC, et al (2001). Effects of fruit shading on photosynthate partitioning, sugar metabolism and accumulation in developing satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. *Plant Physiol J*, 27 (6): 499–504 (in Chinese with English abstract) [陈俊伟, 张上隆, 张良诚等(2001). 柑橘果实遮光处理对发育中的果实光合产物分配、糖代谢与积累的影响. *植物生理学报*, 27 (6): 499–504]
- Cui XH, Guo XO, Sun TY, et al (2017). Effects of LED supplementary lighting on seedling growth and fruit quality of oriental melon. *Plant Physiol J*, 53 (4): 657–667 (in Chinese with English abstract) [崔晓辉, 郭小欧, 孙天宇等(2017). LED补光对薄皮甜瓜幼苗生长及果实品质的影响. *植物生理学报*, 53 (4): 657–667]
- Heraut-Bron V, Robin C, Varlet-Grancher C, et al (1999). Light quality (red:far-red ratio): does it affect photosynthetic activity, net CO₂ assimilation, and morphology of young white clover leaves? *Can J Bot*, 77 (10): 1425–1431
- Hu CS, Wang JY, Xiong FF (1999). Study on improving oil-yielding rate of harvested oil *Camellia* fruits. *J Zhejiang For Coll*, 16 (4): 392–396 (in Chinese with English abstract) [胡春水, 王金元, 熊芳芳(1999). 提高采后油茶果出油率的研究. *浙江林学院学报*, 16 (4): 392–396]
- Hu Y, Jiang S, Li J, et al (2009). Effects of the light intensity and quality on plant growth and development. *J Inner Mongolia Agric Univ*, 30 (4): 296–303 (in Chinese with English abstract) [胡阳, 江莎, 李洁等(2009). 光强和光质对植物生长发育的影响. *内蒙古农业大学学报*, 30 (4): 296–303]
- Ji ZP (1991). The conversion and accumulation of matter in the soaked fruit of oiltea *Camellia*. *Econ Forest Res*, 9 (2): 53–56 (in Chinese with English abstract) [季志平(1991). 沤置后油茶果实内物质的转化和积累. *经济林研究*, 9 (2): 53–56]
- Li LG, She XW, Peng YF (1988). Studies of the harvested-cones from tea-oil trees. *Econ Forest Res*, 6 (1): 10–15 (in Chinese with English abstract) [李来庚, 余祥威, 彭幼芬(1988). 油茶果采后的研究I. 油茶果采后种子内生理生化变化. *经济林研究*, 6 (1): 10–15]
- Li SS, Pan RC (1995). Effect of blue light on the metabolism of carbohydrate and protein in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol J*, 21 (1): 22–28 (in Chinese with English abstract) [李韶山, 潘瑞炽(1995). 蓝光对水稻幼苗碳水化合物和蛋白质代谢的调节. *植物生理学报*, 21 (1): 22–28]
- Li YH, Chen L, Gao RG, et al (2015). Effects of LED qualities and antioxidation capacity of eggplant fruits. *Chin J App Ecol*, 26 (9): 2728–2734 (in Chinese with English abstract) [李亚华, 陈龙, 高荣广等(2015). LED光质对茄子果实品质及抗氧化能力的影响. *应用生态学报*, 26 (9): 2728–2734]
- Luo F, Fei XQ, Guo SH, et al (2015). Effects of harvest time and drying methods on quality of oil-tea camellia seed oil. *Chin Oil Fat*, 40 (11): 69–73 (in Chinese with English abstract) [罗凡, 费学谦, 郭少海等(2015). 油茶果采后及干燥方式对油茶籽油品质的影响. *中国油脂*, 40 (11): 69–73]
- Pavel EW, DeJong TM (1993). Source- and sink-limited growth periods of developing peach fruits indicated by relative growth rate analysis. *J Amer Soc Hortic Sci*, 118 (6): 820–824
- Robert MS, Suzan EH, Davies WJ (1999). Photosynthetic activity of the calyx, green shoulder, pericarp and locular parenchyma of tomato fruit. *J Exp Bot*, 50 (344): 707–

- 718
- Shi TZ (1992). Effect of post-ripening oil-seeds on quality of processing technology. *Chin Oil Fat*, 5: 55–57 (in Chinese) [石铁铮(1992). 油籽后熟作用对其加工工艺品质的影响. *中国油脂*, 5: 55–57]
- Song QQ, Bai WW, Chen H, et al (2017). Optimization of response surface for postharvest treatment on oil content in *Camellia oleifera* ‘Min43’ fruits. *J Anhui Agric Univ*, 44 (1): 65–70 (in Chinese with English abstract) [宋倩倩, 白玮玮, 陈辉等(2017). 采后处理对普通油茶‘闽43’果实含油率影响的响应面优化. *安徽农业大学学报*, 44 (1): 65–70]
- Sun S, Zhang LT, Gao HY, et al (2011). Photosynthetic characteristics of green apple fruits. *Sci Silvae Sin*, 47 (4): 33–37 (in Chinese with English abstract) [孙山, 张立涛, 高辉远等(2011). 苹果绿色果实的光合生理特性. *林业科学*, 47 (4): 33–37]
- Tan XF, Yuan DY, Yuan J, et al (2011). An elite variety: *Camellia oleifera* ‘Huashuo’. *Sci Silvae Sin*, 47 (12): 184, 209 (in Chinese with English abstract) [谭晓风, 袁德义, 袁军等(2011). 大果油茶良种‘华硕’. *林业科学*, 47 (12): 184, 209]
- Wang H, Gu M, Cui J, et al (2009). Effects of light quality on CO₂ assimilation chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *J Photochem Photobiol*, 96: 30–37
- Wang JY, Tan XF, Mei FF, et al (2015). Cloning and expression analysis of an acyl-CoA dehydrogenase gene from *Camellia oleifera*. *J Plant Gen Res*, 16 (5): 1080–1087 (in Chinese with English abstract) [王建勇, 谭晓风, 梅芳芳等(2015). 油茶脂酰辅酶A脱氢酶基因的克隆与表达分析. *植物遗传资源学报*, 16 (5): 1080–1087]
- Wang LF, Wang MX, Liu B, et al (2017). Effects of red and blue LED irradiation on postharvest preservation of broccoli. *Stor Proc*, 17 (3): 47–52 (in Chinese with English abstract) [王连伏, 王美霞, 刘斌等(2017). LED红蓝光照射对西兰花保鲜效果的影响. *保鲜与加工*, 17 (3): 47–52]
- Wang MX, Liu B, Guan WQ, et al (2017). Effects of red and blue LED irradiation intensity on postharvest preservation of broccoli. *Food Sci Tech*, 42 (6): 42–46 (in Chinese with English abstract) [王美霞, 刘斌, 关文强等(2017). LED红蓝光照射强度对采后西兰花保鲜品质的影响. *食品科技*, 42 (6): 42–46]
- Wang YP, Fei XQ, Shi XL, et al (2017). Effects of harvest time and treatment methods on nutrient accumulation of oil-tea camellia seed and its oil. *Chin Oil Fat*, 42 (4): 20–23, 46 (in Chinese with English abstract) [王亚萍, 费学谦, 石晓丽等(2017). 采收期和处理方法对油茶籽及其油脂营养物质积累的影响. *中国油脂*, 42 (4): 20–23, 46]
- Xu DQ, Gao W, Ruan J (2015). Effects of light quality on plant growth and development. *Plant Physiol J*, 51 (8): 1217–1234 (in Chinese with English abstract) [许大全, 高伟, 阮军(2015). 光质对植物生长发育的影响. *植物生理学报*, 51 (8): 1217–1234]
- Yamazaki J (2010). Is light quality involved in the regulation of the photosynthetic apparatus in attached rice leaves? *Photosynth Res*, 105: 63–71
- Yao XH, Long W, Chen F, et al (2015). Effect of light quality on the growth of grafted seedlings in *Camellia oleifera* L. *Chin Agric Sci Bull*, 31 (34): 33–36 (in Chinese with English abstract) [姚小华, 龙伟, 陈芬等(2015). 光质对油茶嫁接苗生长的影响. *中国农学通报*, 31 (34): 33–36]
- Yin JL, Tang XH, Zheng HL, et al (2014). Effect of light wavelengths on lipid accumulation of *Chlorella vulgaris* in photoautotrophic culture. *Chin J Bioprocess Eng*, 12 (5): 62–68 (in Chinese with English abstract) [尹继龙, 唐小红, 郑洪立等(2014). 不同光质对小球藻光自养培养积累油脂的影响. *生物加工过程*, 12 (5): 62–68]
- Zeng YL, Tan XF, Zhang DQ, et al (2014). Regulation about control oil synthesis by key genes in fatty acid metabolic pathway of *Camellia oleifera*. *J Chin Cereal Oil Assoc*, 29 (2): 26–29 (in Chinese with English abstract) [曾艳玲, 谭晓风, 张党权等(2014). 油茶脂肪酸代谢途径中关键酶基因调控油脂合成的规律研究. *中国粮油学报*, 29 (2): 26–29]
- Zeng YL, Tan XF, Zhang L, et al (2014). Identification and expression of fructose-1,6-bisphosphate aldolase genes and their relations to oil content in developing seeds of tea oil tree (*Camellia oleifera*). *PLoS ONE*, 9 (9): e107422
- Zhang D, Yu B, Bai J, et al (2012). Effects of high temperatures on UV-B/visible irradiation induced postharvest anthocyanin accumulation in ‘Yunhongli No.1’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai) pears. *Sci Hortic*, 134: 53–59
- Zhang QQ, Chen YM, Deng JH, et al (1987). Effect of the coloured plastic film shed on the growth of the oil-tea trees. *J Central South For Coll*, 7: 1–8 (in Chinese with English abstract) [张巧琴, 陈永密, 邓军辉等(1987). 色膜棚复盖栽培对油茶生长的影响. *中南林学院学报*, 7: 1–8]
- Zhao Z, Wang PY, Zheng YF, et al (2015). Effects of long-term ozone exposure on the photosynthesis capacity of grain pericarp and grain-filling of winter-wheat. *Acta Ecol Sin*, 35 (3): 796–804 (in Chinese with English abstract) [赵泽, 王鹏云, 郑有飞等(2015). O₃胁迫对冬小麦籽粒果皮光合能力及灌浆的影响. *生态学报*, 35 (3): 796–804]
- Zheng J, Hu MJ, Guo Y (2008). Regulation of photosynthesis by light quality and its mechanism in plant. *Chin J App Ecol*, 19 (7): 1619–1624 (in Chinese with English abstract) [郑洁, 胡美君, 郭延(2008). 光质对植物光合作用的调控及其机理. *应用生态学报*, 19 (7): 1619–1624]

Effect of air-drying on seed oil yield and component of *Camellia oleifera* after harvest

ZENG Yan-Ling*, YAN Yan-Dan, TAN Xiao-Feng, HE Chao-Yin, YANG Rui

The Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-wood Forest Trees of Education Ministry, The Key Laboratory of Non-wood Forest Products of State Forestry Administration, Collaborative Innovation Center of Cultivation and Utilization for Non-wood Forest Tree, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

Abstract: *Camellia oleifera* is a high-quality oil tree of China. In this study, *C. oleifera* fruits were collected 150 and 170 d after flowering (DAF). Kernel oil was extracted from fresh fruits, fruits after natural air-drying, and fruits after selective light air-drying, separately. Oil yield and fatty acid composition were analyzed, providing a scientific basis for selecting the optimal harvest time and postharvest processing technique. The results showed that the oil yield of 150-DAF fruits could be increased significantly by air-drying, and ‘Huaxin’ oil yield increased by 5.35%. Air-drying with blue film covering was considered the best postharvest processing technique for fatty acid synthesis in 150-DAF ‘Huashuo’ fruits, whose oil yield could reach 52.42%. The oil yield of 170-DAF fruits changed little with air-drying. Regardless of drying, the fatty acid composition of *C. oleifera* oil remained unchanged. Comparison of fatty acid composition showed that stearic and oleic acid levels in the 170-DAF fruits were higher than those in the 15-DAF fruits; however, there was no significant difference between the analyzed cultivars.

Key words: *Camellia oleifera*; air-drying; light quality; oil content; fatty acid

Received 2017-10-18 Accepted 2018-01-22

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31500556), Funds of Education Department of Hunan Province (16C1669), and Funds of Hunan Forestry Department (XKL201743).

*Corresponding author (zengyanling110@126.com).