

不同种源黄连木种子形态特征 及脂肪油品质的差异性分析

陈隆升, 彭方仁^①, 梁有旺, 张春霞

(南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 对 10 个种源黄连木 (*Pistacia chinensis* Bunge) 种子的形态特征、果实含油率、籽油的理化性质和脂肪酸成分及其相对含量进行了测定分析。结果表明, 不同种源黄连木种子的形态特征有显著差异 ($P < 0.05$), 黄连木种子的千粒重 29.22 ~ 39.90 g, 种子长度 4.47 ~ 5.17 mm, 种子宽度 4.15 ~ 4.92 mm, 长宽比为 1.02 ~ 1.13。不同种源黄连木果实各部分的含油率均有极显著差异 ($P < 0.01$), 果实、果肉和种仁的平均含油率分别为 29.61% ~ 38.61%、40.38% ~ 64.54% 和 44.81% ~ 55.97%, 以江西彭泽、陕西商洛和云南石林种源的黄连木果实含油率较高。不同种源黄连木籽油的理化性质差异极显著 ($P < 0.01$), 各种源黄连木籽油的折射率为 1.469 6 ~ 1.475 1、碘值为 748 ~ 924 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、酸值为 9.7 ~ 79.7 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、水分含量为 0.12% ~ 1.40%。从黄连木籽油中共检测出棕榈油酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸和花生酸等 7 种脂肪酸成分, 其中不饱和脂肪酸的总相对含量高达 73.97% ~ 87.41%。综合分析结果显示, 江西彭泽的黄连木种子大而饱满且含油率高, 可作为生物柴油油料资源的优良种源; 云南石林、安徽滁州和陕西商洛的黄连木籽油的不饱和脂肪酸含量较高, 可作为食用油原料资源的适合种源。

关键词: 黄连木; 种子形态; 籽油品质; 脂肪酸成分; 种源

中图分类号: Q946.81; S794.9.01 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)01-0016-06

Difference analysis of seed morphological characters and oil quality of *Pistacia chinensis* from different provenances CHEN Long-sheng, PENG Fang-ren^①, LIANG You-wang, ZHANG Chun-xia (College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(1): 16-21

Abstract: Seed morphological characters, oil content in fruit, physical and chemical properties and fatty acid composition and relative content of seed oil of *Pistacia chinensis* Bunge from ten provenances were studied. The results show that there are significant differences in seed morphological characters among different provenances ($P < 0.05$). The 1 000-seed weight is 29.22 - 39.90 g. The length and width of seed are 4.47 - 5.17 mm and 4.15 - 4.92 mm with a length-width ratio of 1.02 - 1.13. There are extremely significant differences in oil content of different parts of fruit among the ten provenances ($P < 0.01$), and average oil content of fruit, flesh and kernel is 29.61% - 38.61%, 40.38% - 64.54% and 44.81% - 55.97%, respectively. Oil content in fruit from Pengze of Jiangxi, Shangluo of Shaanxi and Shilin of Yunnan is higher. The physical and chemical properties of seed oil have extremely significant differences ($P < 0.01$) among different provenances, and the refractive index is 1.469 6 - 1.475 1, iodine value 748 - 924 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, acid value 9.7 - 79.7 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and water content 0.12% - 1.40%. Seven fatty acids are detected from the seed oil of *P. chinensis*, including palmitoleic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, palmitic acid, stearic acid and arachidic acid, in which the total relative content of unsaturated fatty acids is up to 73.97% - 87.41%. The result of comprehensive

收稿日期: 2008-06-02

基金项目: 国家林业局中国石油林油一体化“安徽省黄连木生物柴油原料林示范基地建设科技支撑”项目; 江苏省农业科技攻关项目 (BE2005368)

作者简介: 陈隆升 (1983-), 男, 福建泉州人, 硕士研究生, 主要从事生物质能源林培育技术研究。

^①通讯作者 E-mail: frpeng@njfu.edu.cn

analysis indicates that *P. chinensis* seeds from Pengze of Jiangxi are big and plump and can be used as good seed resources of biofuel materials. Otherwise, with high unsaturated fatty acid content, seeds from Shilin of Yunnan, Chuzhou of Anhui and Shangluo of Shaanxi are suitable seed resources of edible oil materials.

Key words: *Pistacia chinensis* Bunge; seed morphology; seed oil quality; fatty acid composition; provenance

黄连木 (*Pistacia chinensis* Bunge) 为漆树科 (Anacardiaceae) 黄连木属 (*Pistacia* L.) 落叶树种, 雌雄异株, 喜光, 较耐干旱、耐瘠薄, 在各类土壤上均能生长^[1]。黄连木原产中国, 在华东、中南和西南各省区以及陕西和甘肃等省均有分布, 以陕西、河北和河南三省分布量最多。黄连木种子的含油率较高, 一般约为 40%, 主要成分为棕榈酸、硬脂酸、十六碳烯酸、油酸和亚油酸, 其脂肪酸组成与菜籽油非常相似, 可作为食用油使用。更重要的是, 黄连木的种仁和果肉的含油率均高约 50%, 其籽油可以作为柴油的替代品^[2]。

迄今为止, 众多学者与研究人员对生物柴油的燃烧性能进行了研究, 发现生物柴油的动力性能与常规质燃料油无明显差别, 且生物柴油排放的 CO、HC 浓度均较常规质燃料油低, 微粒和烟度排放也有明显改善^[2-5]。而以黄连木种子作原料生产的生物柴油同样具有清洁、环保等优点, 是良好的生物柴油来源, 因此, 在不可再生的石化能源日益消耗的今天, 作为可再生生物柴油原料的黄连木具有巨大的发展前景。目前, 国内已有关于黄连木籽油理化性质及脂肪酸组成方面的研究报道^[6-7], 但是由于黄连木分布较广, 不同种源间籽油的理化性质和脂肪酸组成存在一定的差异, 给黄连木的深度开发利用带来一定的困难。

作者以黄连木主要分布区内 10 个不同种源地的种子为材料, 研究了不同种源黄连木种子和籽油的品质差异, 以期为黄连木种质资源的改良和遗传育种提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2007 年 10 月份至 11 月份, 分别采集江西彭泽、湖北十堰、河南三门峡、陕西商洛、云南石林、河北保定、四川攀枝花、江苏南京、安徽滁州和安徽金

寨 10 个种源地的黄连木蒴果。蒴果采集后阴干, 将一部分蒴果置于阴凉干燥处保存, 用于果实中脂肪油的提取; 其余蒴果均用质量体积分数 10% ~ 15% 的草木灰水或质量体积分数 5% 的石灰水浸泡 2 ~ 3 d, 将果肉、蜡质和种子分开^[8], 分别置于通风阴凉处晾干后于阴凉干燥处保存、备用。

实验中使用的各种试剂均为分析纯, 脂肪酸标准品由江苏省农业科学院提供; 测试用气相色谱仪为日本岛津 GC-14B 型气相色谱仪。

1.2 方法

1.2.1 种子形态指标的测定 用游标卡尺分别测定黄连木种子的长度(种子纵轴的长度)和宽度(垂直种脐的种面横向的最大宽度), 每个种源每次测量 30 粒种子, 各 3 次重复, 每个种源共测量 90 粒种子。采用百粒法测定各种源黄连木种子的千粒重, 各重复 8 次。

1.2.2 脂肪油的提取和测定 分别称取各种源黄连木的干燥果实 2 g、果肉 0.5 g 和种仁 0.5 g, 采用索氏提取法^[9]分别提取果实、果肉和种仁中的脂肪油并进行含油率测定。实验设 3 次重复。

1.2.3 果实脂肪油理化性质的分析 分别称取各种源黄连木果实 100 g, 以石油醚为溶剂, 采用索氏提取法提取脂肪油。参照 GB5532—1995 的方法测定脂肪油的碘值, 每次油样用量 0.3 g, 重复 2 次; 参照 GB5530—1985 的方法测定脂肪油的酸值, 每次油样用量 0.5 g, 重复 2 次; 参照 GB5530—1985 的方法进行脂肪油的折光指数测定, 重复 3 次; 参照 GB 5528—1995 的方法测定脂肪油的含水量, 每次油样用量 3 g, 重复 2 次。

1.2.4 脂肪酸组成的测定 称取约 100 mg 油样, 置于具塞试管中, 加入 2 mL 石油醚(30 °C ~ 60 °C) 与苯的等体积混合溶液, 振荡使油脂溶解后, 加入 2 mL 0.4 mol · L⁻¹ 的 KOH-甲醇溶液, 混匀后在室温下静置 10 min, 再加入 12 mL 水, 振荡后静置, 取上层溶液进行色谱分析^[10]。

气相色谱条件:色谱柱为 CP-Sil 88 for Fame (50 mm × 0.32 mm × 0.20 μm) 弹性石英毛细管柱。采用程序升温,起始温度 140 ℃,保持 2 min 后,再以 5 ℃ · min⁻¹ 的速率升温至 220 ℃,并保持 16 min。汽化室和检测室(FID)温度都为 280 ℃,载气为高纯氮气,进样量 1 μL。

1.3 数据处理

根据保留时间对脂肪酸组成进行定性分析,并采用峰面积归一化法计算各成分的相对含量。采用 Excl 和 SAS 9.0 统计软件对实验数据进行数据处理、方差分析和多重比较。

2 结果和分析

2.1 不同种源黄连木种子的形态特征分析

种子形态指标是树木较稳定的性状之一,是树木分类及遗传研究的重要指标。不同种源黄连木种

子的形态指标见表 1。由表 1 可以看出,不同种源黄连木种子的千粒重为 29.22 ~ 39.90 g,种子长度为 4.47 ~ 5.17 mm,种子宽度为 4.15 ~ 4.92 mm,长宽比为 1.02 ~ 1.13。不同种源的黄连木种子除长宽比差异显著($P < 0.05$)外,不同种源间黄连木种子的千粒重、种子长度和宽度等指标均有极显著差异($P < 0.01$)。

由表 1 还可以看出,产于江苏南京、江西彭泽以及安徽金寨的黄连木种子普遍较大,而产于云南石林、四川攀枝花和陕西商洛的黄连木种子则相对较小。不同种源黄连木种子的千粒重差异极显著($P < 0.01$),其中,产于江西彭泽的种子千粒重最大,达 39.90 g;而产于四川攀枝花的种子千粒重最小,仅 29.22 g。总的来看,来源于云南石林、河南三门峡和河北保定的黄连木种子的长宽比较大,略呈椭圆形;其他种源地的黄连木种子的长宽比较小,偏向圆形。

表 1 不同种源黄连木种子的形态特征¹⁾

Table 1 Morphological characters of *Pistacia chinensis* Bunge seed from different provenances¹⁾

种源 Provenance	千粒重/g 1 000-seed weight	长度/mm Length	宽度/mm Width	长宽比 Length-width ratio
云南石林 Shilin of Yunnan	34.52 ± 0.32 f	5.06 ± 0.08 ab	4.59 ± 0.04 cd	1.10 ± 0.01 ab
江西彭泽 Pengze of Jiangxi	39.90 ± 1.18 a	5.04 ± 0.14 ab	4.79 ± 0.14 abc	1.05 ± 0.05 bed
湖北十堰 Shiyan of Hubei	38.87 ± 0.85 b	5.12 ± 0.27 a	4.82 ± 0.24 ab	1.06 ± 0.05 bcd
江苏南京 Nanjing of Jiangsu	37.18 ± 0.75 cd	5.08 ± 0.14 a	4.92 ± 0.21 a	1.03 ± 0.04 cd
安徽滁州 Chuzhou of Anhui	37.68 ± 0.59 c	5.17 ± 0.77 a	4.79 ± 0.30 abc	1.08 ± 0.11 abed
安徽金寨 Jinzhai of Anhui	39.44 ± 0.66 ab	4.99 ± 0.07 ab	4.66 ± 0.09 bcd	1.07 ± 0.02 abcd
四川攀枝花 Panzhihua of Sichuan	29.22 ± 0.17 g	4.47 ± 0.08 c	4.15 ± 0.09 e	1.08 ± 0.02 abc
河南三门峡 Sanmenxia of He'nan	36.32 ± 0.52 e	5.10 ± 0.18 a	4.66 ± 0.25 bcd	1.10 ± 0.06 ab
河北保定 Baoding of Hebei	36.78 ± 0.56 de	5.09 ± 0.16 a	4.51 ± 0.14 d	1.13 ± 0.03 a
陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	34.98 ± 0.32 f	4.70 ± 0.05 bc	4.63 ± 0.07 bcd	1.02 ± 0.02 d
F ²⁾	190.44 **	3.08 **	7.40 **	2.37 *

¹⁾ 同列不同的字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$). ²⁾ *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.2 不同种源黄连木果实的含油率分析

不同种源黄连木果实、果肉及种子中的含油率见表 2。由表 2 可见,各种源黄连木果实的含油率为 29.61% ~ 38.61%;果肉中含油率的波动范围较大,为 40.38% ~ 64.54%;种子中含油率的变化范围为 44.81% ~ 55.97%。在供试的 10 个种源中,采自陕西商洛和云南石林的黄连木果实各部分的含油率均较高,其中,云南石林种源的黄连木果实和种仁的含油率分别达到 38.21% 和 52.76%,果肉含油率则高

达 64.54%。采自河北保定和河南三门峡的果实各部分的含油率则较低,其中河北保定种源的果实含油率只有 29.61%,与果实含油率最高的陕西商洛种源相差 9.00%;河北保定种源果肉含油率为 40.38%,比陕西商洛种源低 22.45%;河南三门峡种源的种仁含油率只有 44.81%,比陕西商洛种源低 11.16%。

方差分析结果表明,不同种源黄连木果实各部分的含油率均存在极显著差异($P < 0.01$)。根据果

实含油率的差异显著性, 可将 10 个种源分为 4 类, 其中, 陕西商洛、云南石林、江西彭泽和安徽金寨 4 个种源的果实含油率差异不显著, 可归为一类; 江苏南京、河南三门峡、四川攀枝花和安徽滁州 4 个种源为一类; 湖北十堰种源和河北保定种源各为一类。综合分析认为, 不同种源黄连木果实各部分含油率的总体变化趋势为: 南方种源大于北方种源, 西部地区种源大于东部地区种源。这种差异可能是树木本身的遗传特性、生长地气候及土壤条件等共同作用的结果。

2.3 不同种源黄连木籽油的理化性质比较

不同种源黄连木籽油的理化性质见表 3。由表 3 可见, 黄连木各种源籽油的折射率为 1.469 6 ~

1.475 1, 不同种源间差异极显著 ($P < 0.01$); 各种源籽油的碘值差异极显著 ($P < 0.01$), 但碘值均较低, 属于半干性油, 以陕西商洛和云南石林种源籽油的碘值最低, 分别为 748 和 791 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。碘值能够反映出油脂中混合脂肪酸平均双键 (即不饱和键) 的数量, 碘值越高混合脂肪酸的不饱和键数量越多, 而不饱和键的多少又与生物柴油的燃烧性能、运动黏度、冷滤点等有关, 因此, 在一定条件下, 可以根据碘值判断生物柴油的性质^[11]。

目前, 工厂在制备生物柴油多采用碱式甲酯化法, 将植物油转化为植物油甲酯以增加燃料的流动性^[12]。一般认为, 原油酸值大于 0.5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 就会在储存、运输和加工过程中造成设备腐蚀, 从而影响

表 2 不同种源黄连木果实各部分含油率的比较¹⁾

Table 2 Comparison of oil content in different parts of fruit of *Pistacia chinensis* Bunge from different provenances¹⁾

种源 Provenance	果实不同部分的含油率/% Oil content in different parts of fruit		
	果实 Fruit	果肉 Flesh	种仁 Kernel
云南石林 Shilin of Yunnan	38.21 ± 0.70 a	64.54 ± 1.88 a	52.76 ± 0.85 ab
江西彭泽 Pengze of Jiangxi	37.23 ± 2.16 a	56.93 ± 0.68 b	54.70 ± 4.62 a
湖北十堰 Shiyan of Hubei	35.15 ± 1.20 b	58.57 ± 2.02 b	55.08 ± 0.63 a
江苏南京 Nanjing of Jiangsu	32.88 ± 1.18 c	53.44 ± 2.96 c	51.96 ± 2.55 ab
安徽滁州 Chuzhou of Anhui	31.69 ± 0.96 c	43.11 ± 0.38 e	49.54 ± 1.33 ab
安徽金寨 Jinzhai of Anhui	38.01 ± 0.42 a	48.28 ± 2.10 d	50.87 ± 1.70 ab
四川攀枝花 Panzhihua of Sichuan	32.13 ± 1.30 c	49.13 ± 1.77 d	52.27 ± 2.76 ab
河南三门峡 Sanmenxia of He'nan	32.67 ± 0.74 c	49.10 ± 1.64 d	44.81 ± 2.34 c
河北保定 Baoding of Hebei	29.61 ± 1.07 d	40.38 ± 0.18 f	51.85 ± 1.29 ab
陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	38.61 ± 0.97 a	62.83 ± 1.15 a	55.97 ± 0.64 a
F ²⁾	27.63 **	98.92 **	7.69 **

¹⁾ 同列不同的字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$). ²⁾ **: $P < 0.01$.

表 3 不同种源黄连木籽油的理化性质指标

Table 3 Indexes of physical and chemical properties of seed oil of *Pistacia chinensis* Bunge from different provenances

种源 Provenance	折射率 Refractive index	碘值/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Iodine value	酸值/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Acid value	水分含量/% Water content
云南石林 Shilin of Yunnan	1.470 9	791	27.9	0.24
江西彭泽 Pengze of Jiangxi	1.471 7	880	15.5	0.33
湖北十堰 Shiyan of Hubei	1.473 5	874	14.6	0.12
河北保定 Baoding of Hebei	1.472 8	890	10.7	0.55
安徽滁州 Chuzhou of Anhui	1.475 1	924	9.7	1.40
安徽金寨 Jinzhai of Anhui	1.470 9	803	19.8	0.22
陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	1.469 6	748	79.7	0.74
四川攀枝花 Panzhihua of Sichuan	1.473 4	886	13.2	0.66
河南三门峡 Sanmenxia of He'nan	1.471 6	922	15.9	0.46
江苏南京 Nanjing of Jiangsu	1.474 2	840	10.2	0.36
F ¹⁾	864.14 **	79.62 **	7 116.09 **	120.69 **

¹⁾ **: $P < 0.01$.

原油的加工和产品的质量^[13-14]。表3结果表明,各种源黄连木籽油的酸值较高,且差异极显著($P < 0.01$)。其中,陕西商洛种源籽油的酸值最高,达 $79.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;云南石林种源籽油的酸值次之,为 $27.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。相比较而言,陕西商洛和云南石林种源的酸值水平与碘值对应,这可能与籽油本身发生氧化酸败有关,也可能是不同种源的黄连木种质不同或脂肪提取工艺的影响所致,具体原因尚待进一步研究。

含水量的高低对生物柴油的燃烧性能有很大影响,还会对柴油机产生腐蚀作用,此外,水分还会提高生物柴油的化学活性,使其容易变质,降低其存储的稳定性^[15]。由表3数据可见,黄连木各种源籽油中的水分含量较低($0.12\% \sim 1.40\%$),且不同种源间差异极显著($P < 0.01$)。其中,湖北十堰种源籽油的水分含量最低,仅为 0.12% ;安徽滁州种源籽油的水分含量最高,达到 1.40% 。

2.4 不同种源黄连木籽油的脂肪酸组成和相对含量分析

不同种源黄连木籽油中的脂肪酸组成和相对含量的测定结果见表4。由表4可见,从黄连木籽油中共检测出7种脂肪酸成分,包括4种不饱和脂肪酸(棕榈油酸、油酸、亚油酸和亚麻酸)和3种饱和脂肪酸(棕榈酸、硬脂酸和花生酸),这些成分都是二十碳链以下的直链脂肪酸,主要是十六碳的棕榈酸以及十八碳的油酸和亚油酸,脂肪酸组成简单而且高度集中,有利于黄连木籽油的加工利用,是理想的生物

柴油原料。

黄连木籽油不饱和脂肪酸的总相对含量很高($73.97\% \sim 87.41\%$),且不同种源间黄连木籽油不饱和脂肪酸的总相对含量差异达到极显著水平($F = 19.13, P < 0.01$)。其中,安徽滁州种源籽油中不饱和脂肪酸的总相对含量最高,达 87.41% ;云南石林和陕西商洛2个种源籽油不饱和脂肪酸的总相对含量较低;江苏南京种源籽油不饱和脂肪酸的总相对含量最低,仅为 73.97% 。江西彭泽、湖北十堰、安徽金寨、四川攀枝花和江苏南京种源籽油中的不饱和脂肪酸总相对含量低于纬度相对较高的河南三门峡、河北保定和陕西商洛种源以及海拔较高的云南石林种源,这主要是由于在纬度和海拔较高的地区气候比较寒冷,较高含量的不饱和脂肪酸可以增强植物体的抗冻性。黄连木籽油中不饱和脂肪酸的这种变化趋势与李化等^[16]的分析结果一致。

从表4的测定结果中还可以看出,黄连木籽油富含亚油酸和油酸等不饱和脂肪酸,可将其作为良好的食用油资源进行开发利用。然而,脂肪酸碳链的长短和不饱和键的多少都能够直接影响生物柴油的闪点和十六烷值等指标,较多的不饱和脂肪酸容易被空气氧化,将对生物柴油的稳定性带来一定的影响^[17-18]。从脂肪酸组成来看,不饱和脂肪酸中的亚油酸含有2个双键,在空气中更易氧化发生酸败;亚麻酸虽然含有3个双键,但是由于其在黄连木各种源籽油中的含量较低($0.79\% \sim 1.47\%$),因而对黄连木籽油的稳定性影响较小。所以,亚油酸含量

表4 不同种源黄连木籽油中脂肪酸的组成及相对含量¹⁾

Table 4 Composition and relative content of fatty acids in seed oil of *Pistacia chinensis* Bunge from different provenances¹⁾

种源 Provenance	不饱和脂肪酸的相对含量/% Relative content of unsaturated fatty acids					饱和脂肪酸的相对含量/% Relative content of saturated fatty acids		
	POA	OA	LOA	LA	Total	PA	SA	AA
云南石林 Shilin of Yunnan	0.71	33.06	51.66	1.20	86.63	11.32	2.04	Tr
江西彭泽 Pengze of Jiangxi	1.08	46.67	29.58	0.89	78.22	20.39	1.40	Tr
湖北十堰 Shiyan of Hubei	0.68	47.71	31.01	0.91	80.31	17.95	1.57	0.15
河北保定 Baoding of Hebei	1.06	46.43	32.85	1.33	81.67	16.39	1.39	Tr
安徽滁州 Chuzhou of Anhui	0.69	37.27	48.42	1.03	87.41	10.94	1.67	Tr
安徽金寨 Jinzhai of Anhui	1.97	48.24	23.52	1.03	74.76	23.53	1.56	0.14
陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	1.06	43.04	41.74	0.79	86.63	11.96	1.30	0.12
四川攀枝花 Panzhihua of Sichuan	0.84	41.39	32.38	1.47	76.08	22.65	1.27	Tr
河南三门峡 Sanmenxia of He'nan	0.68	47.71	31.05	0.89	80.33	17.95	1.57	0.14
江苏南京 Nanjing of Jiangsu	0.76	41.39	30.84	0.98	73.97	24.21	1.59	0.15

¹⁾ POA: 棕榈油酸 Palmitoleic acid; OA: 油酸 Oleic acid; LOA: 亚油酸 Linoleic acid; LA: 亚麻酸 Linolenic acid; PA: 棕榈酸 Palmitic acid; SA: 硬脂酸 Stearic acid; AA: 花生酸 Arachidic acid; Tr: 微量 Trace.

较高的云南石林(51.66%)、安徽滁州(48.42%)和陕西商洛(41.74%)种源的籽油在保存和运输过程中应更加注意防止发生氧化酸败。

由于亚油酸是人体的必需脂肪酸,具有防治心血管疾病和炎症发生、预防和改善动脉硬化、减少心脏病发生、提高机体免疫力以及防治糖尿病等作用^[19],因此,产自云南石林、陕西商洛和安徽滁州的黄连木籽油更适合作为食用油原料。

3 结论和讨论

黄连木果实不仅含油率较高(果实 29.61% ~ 38.61%、果肉 40.38% ~ 64.54%、种仁 44.81% ~ 55.97%),而且籽油中的脂肪酸组成主要为二十碳链以下的直链脂肪酸,主要是十六碳和十八碳的脂肪酸,组成成分简单而且高度集中,非常适合作为生物柴油的原料。另外,由于黄连木籽油的酸值(9.7 ~ 79.6 mg · g⁻¹)较高,对其后续的生产加工将造成一定的影响,因此,培育含有低酸值籽油的品种对于黄连木的良种选育具有重要意义。

不同种源黄连木的种子特征和籽油品质有较大差异,种子的千粒重、种子长度、种子宽度、果实含油率、籽油的理化性质以及籽油中不饱和脂肪酸的含量都存在极显著差异,说明产地的不同对黄连木种子及籽油的品质有显著影响。可能是因为不同分布区的土壤和气候条件等的差异对黄连木的生长及繁殖产生了影响,并使黄连木自身的遗传特性发生改变,分化出不同的优良品质。因此,在深入开发黄连木资源的过程中,应该认真选择黄连木的产地,在适宜栽培的地区将黄连木作为经济植物进行推广栽培,达到优质高产的目的,并且对当地环境起到绿化和水土保持的作用。

本实验结果表明,云南石林、陕西商洛和安徽滁州黄连木种源的籽油不饱和脂肪酸含量都较高,作为食用油原料具有很高的开发价值;而江西彭泽黄连木种源则更适合作为生物柴油的原料。因此,可以将上述黄连木种源作为育种材料,通过杂交或基因重组等方法选育出品质优良、产量较高的黄连木新品种。此外,种子产量也是衡量品种好坏的重要指标之一,由于目前黄连木的种子产量普遍较低,因此,如何提高黄连木种子的产量也是今后有待深入探索的问题之一。

参考文献:

- [1] 火树华. 树木学[M]. 北京:中国林业出版社,1992.
- [2] 王涛. 中国主要生物质燃料油木本能源植物资源概况与展望[J]. 科技导报,2005,23(5):12-14.
- [3] Bünger J, Krahl J, Franke H U, et al. Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel[J]. Mutation Research, 1998, 415(1/2):13-23.
- [4] Bünger J, Müller M M, Krahl J, et al. Mutagenicity of diesel exhaust particles from two fossil and two plant oil fuels[J]. Mutagenesis, 2000, 15(5):391-397.
- [5] Cardone M, Prati M V, Rocco V, et al. *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: engine performance and regulated and unregulated exhaust emissions[J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(21):4656-4662.
- [6] 胡小泓,倪武松,周艺,等. 黄连木籽油的理化特性及其脂肪酸组成分析[J]. 武汉工业学院学报,2007,26(3):4-5,20.
- [7] 钱建军,张存芳,姚亚利,等. 黄连木油料资源的开发与利用[J]. 中国油脂,2000,25(3):49.
- [8] 邢世岩,宋新芳,李士美,等. 黄连木不同优株种子发芽特性研究[J]. 种子,2006,25(8):32-34,45.
- [9] 王晶英. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003.
- [10] 邓红,何玲,孙俊. 文冠果油的冷榨提取及理化性质研究[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2006,28(6):1027-1031.
- [11] 刘伟伟,张无敌. 生物柴油的理化性质及质量标准[J]. 能源工程,2006(1):27-31.
- [12] 施肖峰,张晶,童惠英,等. 生物柴油生产技术及其产品质量标准[J]. 粮食与食品工业,2006,13(4):46-48.
- [13] 窦立荣,侯读杰,程顶胜,等. 高酸值原油的成因与分布[J]. 石油学报,2007,28(1):8-13.
- [14] 周慧,鲁厚芳,唐盛伟,等. 麻疯树油制备生物柴油的酯交换工艺研究[J]. 应用化工,2006,35(4):284-287.
- [15] 吕鹏梅,袁振宏,廖翠萍,等. 生物柴油标准分析与制定研究[J]. 现代化工,2006,26(12):8-12,14.
- [16] 李化,陈丽,唐琳,等. 西南部分地区麻疯树种子油的理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 应用与环境生物学报,2006,12(5):643-646.
- [17] Mohibbe A M, Waris A, Nahar N M. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India[J]. Biomass and Bioenergy, 2005, 29(4):293-302.
- [18] 陈鹏,蒋卫东,刘颖颖,等. 三种植物油及其生物柴油中脂肪酸组成的比较研究[J]. 广西植物,2007,27(3):448-452,419.
- [19] Ennouri M, Fetoui H, Bourret E, et al. Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus-indica*. I. Influence of a seed oil supplemented diet on rats[J]. Bioresource Technology, 2006, 97(12):1382-1386.