

基于灰色系统的陕西与甘肃非粮柴油植物资源评价与筛选

秦烁¹ 薛帅^{1,2} 梁振兴¹ 李桂英³ 谢光辉^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院/国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100193;

2. 德国霍恩海姆大学 作物科学学院,斯图加特 70599;

3. 中国农业科学院 作物科学研究所,北京 100081)

摘要 现阶段原料短缺仍制约着我国生物柴油产业的发展,筛选并规模化种植有潜力的非粮柴油植物将是产业发展的出路。本研究对陕西与甘肃两省的野生油料植物资源进行初步调查,并对采集的40份植物种子的油脂及其甲酯性质进行分析。结果表明:40份样品反映油脂特性的含油率、皂化值、酸值和碘值指标变幅分别为10.43%~51.42%、112.52~312.11 mg/g、1.76~56.03 mg/g和19.47~160.25 g/100g,反映油脂甲酯特性的运动粘度、十六烷值、冷滤点、高热值和密度变幅分别为1.89~3.70 mm²/s、28.77~68.34、-15.82~6.65 °C、33.85~42.79 kJ/g和808.04~867.96 kg/m³。基于含油率、酸值、碘值、运动粘度、十六烷值、冷滤点、高热值、密度和产量等9项评价指标,利用等权灰色关联度分析法对40份样品的综合性状给予评价与筛选。综合分析表明:40份样品中有潜力作为生物柴油原料的前3名优势物种分别为榆叶梅(*Amygdalus triloba* (Lindl.) Ricker)、贴梗海棠(*Chaenomeles speciosa* (sweet) Nakai)及桃(*Amygdalus persica* Linn.),它们与研究中构建的理想物种相似度(以灰色关联度表示)分别为0.688、0.674和0.628。

关键词 能源植物; 植物资源; 油脂特性; 灰色关联度

中图分类号 Q 949.93; TQ 642

文章编号 1007-4333(2013)06-0006-12

文献标志码 A

Assessment and screening of non-food biodiesel plant resources in Shaanxi and Gansu Provinces based on grey relation analysis

QIN Shuo¹, XUE Shuai^{1,2}, LIANG Zhen-xing¹, LI Gui-ying³, XIE Guang-hui^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology/National Energy R&D Center for Biomass,

China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart 70599, Germany;

3. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Nowadays feedstock shortage still restricts the development of Chinese biodiesel industry and planting large-scale optimal oil species can break the bottleneck. Via the investigation of plant resources in Shaanxi and Gansu provinces, forty non-food biodiesel plant (NFBP) species were collected and the physicochemical properties of the seed oil and their methyl esters (MEs) were chemically analyzed and calculated. The results showed that the values of vegetable oil characters, including oil content, saponification number (SN), acid value (AV) and iodine value (IV), varied between 10.43% and 51.42%, 112.52 and 312.11 mg/g, 1.76 and 56.03 mg/g, 19.47 and 160.25 g/100g, respectively; values of their MEs characters, such as kinematic viscosity (KV), cetane number (CN), cold filter plugging point (CFPP), high heating values (HHV) and density (ρ), respectively, varied between 1.89 and 3.70 mm²/s, 28.77 and 68.34, -15.82 and 6.65 °C, 33.85 and 42.79 kJ/g, 808.04 and 867.96 kg/m³. In the optimum-species screening process, grey relation analysis method was applied and nine main characteristics of NFBP, including oil content, AV, IV,

收稿日期: 2013-06-04

基金项目: 国家能源局能源节约和科技装备司项目(科技司函[2012]32号)

第一作者: 秦烁, 硕士研究生, E-mail: qs0102@163.com

通讯作者: 谢光辉, 教授, 主要从事非粮能源植物和生物质原料研究, E-mail: xiegh@cau.edu.cn

KV, CN, CFPP, HHV, ρ and yield, were used for comprehensive evaluation. The results indicated that the top three prospective species in the 40 species were *Amygdalus triloba* (Lindl.) Ricker, *Chaenomeles speciosa* (sweet) Nakai, *Amygdalus persica* Linn. with the correlation coefficients between the individual species and the artificial designed ideal species (the best biodiesel plant type in this paper) varying from 0.688, 0.674 and 0.628, respectively.

Key words energy plant; plant resource; oil character; grey relation analysis

面对当今世界能源匮乏和环境污染的双重挑战,开发清洁、可持续替代能源有着十分重要的战略意义。基于谢光辉提出的广义非粮生物质定义^[1],非粮柴油植物资源为有潜力用于生产生物柴油的非食用的植物资源。目前,生物柴油作为一种以多种油脂为原料,经与低碳醇(如甲醇、乙醇)酯化或转酯化处理而制成的液体燃料^[2],具有原料来源广泛且可再生、储运安全性能高、可直接用于现有压缩式内燃机等多种优点,而被誉为最具发展潜力的石化柴油替代品。然而,现阶段我国生物柴油产业发展极为缓慢,瓶颈在于缺少稳定、优质的油脂原料供应渠道^[3]。国外一些国家及地区已经筛选出适合本国国情的生物柴油原料类型并直接用于生产:高产转基因大豆,油菜及油棕榈已分别在美洲、欧洲和东南亚地区广泛种植和利用。在我国油脂产量尚不能满足食用油市场需求的前提下,不宜盲目效仿以上地区以食用油原料生产生物柴油的做法。我国的野生油脂植物资源丰富,仅已查明的木本能源油料植物种类就达1553种,分属于151科697属,占全国种子植物种类的5%;其中种子含油量在40%以上的植物就有154种^[4]。因此,通过充分挖掘我国野生高油植物资源,筛选出性状卓越、适宜生产生物柴油的非粮原料,才是产业健康、可持续发展的出路。

面对多样的野生植物资源及复杂的评价指标,如何客观、系统、有效地筛选也是现阶段亟待解决的问题。以往我国对非粮柴油植物资源评价标准主要是基于我国及欧美生物柴油评价标准的主观评价法,缺乏系统性和科学性。薛帅等^[5]首次将灰色系统理论应用到柴油植物资源评价与筛选中,对影响植物油脂生产生物柴油的9项主要指标给予综合描述和量化评估,初步建立了现阶段非粮柴油植物资源的评价体系。基于此,本研究利用灰色关联分析法对在陕西和甘肃两省采集的40份野生植物资源进行分析,以期筛选出具有开发潜力的非粮柴油植物类型。

1 陕西与甘肃两省自然概况

陕西与甘肃两省属于中国西部地区,位于 $92^{\circ}13' \sim$

$111^{\circ}15'E, 31^{\circ}42' \sim 42^{\circ}57'N$ 之间。陕西省南北狭长,境内气候差异较大,气候带由南向北渐次过度为北亚热带、暖温带和中温带,全省年均降水量834.9 mm,年均气温 $12.0^{\circ}C$,年日照时数1802 h^[6]。甘肃省不受海洋温湿气流影响,属大陆性很强的温带季风气候,年均降水量419.6 mm,年均气温 $8.3^{\circ}C$,年日照时数2316.5 h^[7]。两省生态条件复杂多样,孕育了丰富的植物资源。其中,陕南秦巴山区,被誉为“生物基因库”。

另外,两省边际性土地资源丰富,是西北地区退耕还林重点区域,在种植非粮柴油植物方面具有得天独厚的优势。据统计,陕西省未利用土地面积占省总土地面积的6.2%(128.51万 hm^2)^[8];甘肃省尚未利用地1947.29万 hm^2 ,占42.82%,包括沙漠、戈壁、高寒石山、裸岩、低洼盐碱、沼泽等^[9]。截止到2009年底,陕西省退耕还林面积达233.97万 hm^2 ^[10],甘肃省退耕还林面积为89.51万 hm^2 ^[11]。筛选出适宜在这些非耕地上种植的油料植物,不仅可以为生物柴油产业提供丰富的可再生原料,还有利于生态环境改善。

2 材料与方 法

2.1 材 料

2011年7—11月,调查小组分4次对陕西和甘肃共计14个样点县进行野外考察与样品采集,共收集到野生植物资源169份,其中种子含油率大于10%的植物资源40份。85%的物种采集时间在其成熟时间段内,其含油量和脂肪酸组分能够反映各物种群体的基本特性。将采集到的果实处理后得到种子,磨碎用于测定其含油量、酸值、碘值和皂化值等。

2.2 油脂化学性质测定及组分分析

样品含油量、酸值、碘值和皂化值的测定分别参照国标GB/T 5512—2008、GB/T 5530—2005、GB/T 5532—2008和GB/T 5534—2008中的标准方法进行。各指标每个样品平行测定3次取平均值。

样品油脂脂肪酸组成采用国标GB/T 17377—2008给予确定。仪器设备:岛津GC-2010气相色谱

仪;实验条件:进样口温度 250 °C,进样体积 1 μL ;升温程序:以 120 °C 开始,保持 1 min,以 10 °C/min 升至 175 °C,保持 10 min,然后以 5 °C/min 升至 210 °C,保持 5 min,再以 5 °C/min 升至 230 °C,保持 5 min。最后用面积归一法分析得到的结果,以确定脂肪酸的相对百分含量。

2.3 灰色系统中部分评价指标的预测及关联系数的计算

薛帅等^[4]的研究确定了用灰色关联系统分析法筛选非粮柴油植物资源的 9 项主要评价指标,包括含油率、酸值、碘值、运动粘度、十六烷值、密度、高热值、冷滤点及含油器官产量。本研究中 40 份采集样品油脂甲酯的运动粘度、十六烷值、高热值、密度、冷滤点采用模拟模型法予以估计。

运动粘度由公式(1)^[12]求得。

$$\ln\mu = \sum Z_i \cdot \ln\mu_i \quad (1)$$

式中: μ 为油脂甲酯的运动粘度; Z_i 为各纯脂肪酸甲酯在油脂甲酯中的质量分数; μ_i 为各纯脂肪酸甲酯的运动粘度。

十六烷值和高热值利用油脂理化性质分别采用公式(2)^[13]和公式(3)^[14]模拟求得。

$$\text{CN} = 46.300 + 5.458.000/\text{SN} - 0.225 \times \text{IV} \quad (2)$$

$$\text{HHV} = 49.430 - (0.041 \times \text{SN} + 0.015 \times \text{IV}) \quad (3)$$

式中:CN 和 HHV 分别为油脂甲酯的十六烷值和高热值;SN 和 IV 分别为油脂的皂化值和碘值。

油脂甲酯密度由公式(1)中的运动粘度,依据公式(4)^[15]获得。

$$\rho = 33.107 \times \mu + 745.390 \quad (4)$$

式中: ρ 和 μ 分别为油脂甲酯的密度和运动粘度。

而油脂甲酯冷滤点则通过公式(5)^[16]和公式(6)^[16]获得。

$$\text{LCSF} = 0.100 \times Z_{\text{C}_{16,0}} + 0.500 \times Z_{\text{C}_{18,0}} + Z_{\text{C}_{20,0}} + 1.500 \times Z_{\text{C}_{22,0}} + 2.000 \times Z_{\text{C}_{24,0}} \quad (5)$$

$$\text{CFPP} = 3.142 \times \text{LCSF} - 16.477 \quad (6)$$

式中:CFPP 和 LCSF 分别为油脂甲酯的冷滤点和长碳链不饱和指数; $Z_{\text{C}_{16,0}}$ 、 $Z_{\text{C}_{18,0}}$ 、 $Z_{\text{C}_{20,0}}$ 、 $Z_{\text{C}_{22,0}}$ 和 $Z_{\text{C}_{24,0}}$ 分别为油脂中棕榈酸、硬脂酸、花生酸、山萘酸和木质素酸的质量分数。

产量指标是指含油器官的产量,其值通过估算获得。在野外调查过程中,根据调查、估算单株鲜重

产量和单位面积株数,进而计算出单位面积产量(t/hm^2)并取平均值。

灰色系统中理想物种的构建、等权关联度的分析过程与薛帅等^[5]的研究一致。

3 结果与分析

3.1 采集植物分布特征与应用状况分析

3.1.1 种属分析

40 份选出的野生植物资源采集自甘肃(瓜州、兰州、徽县、天水、平凉、庆阳、卓尼),陕南山区(眉县、凤县、青木川、汉中)及关中平原地区(杨凌、长安、陇县)(表 1)。这些植物资源分属于 28 个科,其中蔷薇科 5 种,忍冬科 3 种,漆树科、十字花科、卫矛科、茄科、亚麻科以及榆科各 2 种,其余 20 科各仅 1 种分布,占总资源的 71%,具有广泛的多样性。从资源的地理分布来看,有 2 种属于荒漠地区(瓜州)物种,其余 38 种分布于物种丰富的秦巴山区。由此可见,采集的 40 份样品具有多样性。

3.1.2 适应性及应用状况

据中国植物志^[16]记载及调研,得到 40 份野生植物的成熟日期、主要分布地区和利用状况(表 1 和表 2)。采集物种中成熟期不少于 3 个月的植物达 16 种,而在 1 个月内的植物 4 种,说明物种结果期长,且 39 种物种(除诸葛菜外)成熟日期集中在夏秋季,利于物种的采摘工作。除 2 种荒漠地区物种(毛果群心菜、小果白刺)外,84%的采集物种分布范围广,说明植物样品具有广泛的适应性。采集植物中已有 16 种开发应用,其中 9 种(榆叶梅、红瑞木、牡丹、毛叶木姜子、海桐、武当玉兰、黄栌、金银木、贴梗海棠)用于绿化,2 种(大麻、大豆)种子用于榨油食用,3 种(杏、西瓜、桃)果实用于食用,还有亚麻,1 种油用,1 种茎皮纤维用。95%的采集样品在非粮原料范围内,符合产业发展的政策。

3.2 植物种子油脂及其甲酯性质分析与初步筛选

对 40 份样品的含油率和脂肪酸组成的测定结果表明,样品含油率的变幅为 10.43%~51.42%,其中樟科的毛叶木姜子(No. 40)含油率最高,而蔷薇科的贴梗海棠(No. 21)含油率最低(表 2)。脂肪酸组成中,样品油脂 C12-C20 脂肪酸累计含量均在 80%以上,可保证生物柴油优越的燃烧性能^[18]。

对样品油脂理化性质的测定值分析表明,样品油脂特性指标(皂化值、酸值、碘值)变幅分别为 112.52~312.11 mg/g、1.76~56.03 mg/g 和

表1 40份野生植物资源的植物学特征及分布状况

Table 1 Botanical characters and distribution of 40 collected plant materials

序号 Order	名称 Name	科名 Family	采集点 Site	成熟期 ^a /采集期 Maturity ^a /collected date	主要分布区 ^b Main distribution ^b
1	益母草 <i>Leonurus artemisia</i> (Lour.) S. Y. Hu	唇形科 Lamiaceae	徽县	9—10月/10月初	全国各地
2	蓖麻 <i>Ricinus communis</i> Linn.	大戟科 Euphorbiaceae	汉中	6—9月/9月初	华南和西南
3	大麻 <i>Cannabis sativa</i> Linn.	大麻科 Cannabaceae	庆阳	7月/10月初	全国各地
4	大豆 <i>Glycine max</i> (Linn.) Merr.	豆科 Fabaceae	徽县	7—9月/10月初	全国各地
5	海桐 <i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) Ait.	海桐花科 Pittosporaceae	汉中	10月/9月初	长江以南滨海各省
6	木半夏 <i>Elaeagnus multiflora</i> Thunb.	胡颓子科 Elaeagnaceae	陇县	6—7月/10月中	河北、华中、东南及西南
7	西瓜 <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. et Nakai	葫芦科 Cucurbitaceae	杨凌	6—8月/7月初	全国各地
8	小果白刺 <i>Nitraria Sibirica</i> Pall. Fl. Ross.	藜藜科 Zygophyllaceae	瓜州	7—8月/7月初	各沙漠地区、华北及东北沿海
9	日本风毛菊 <i>Saussurea japonica</i> (Thunb.) DC.	菊科 Asteraceae	徽县	8—9月/10月初	东北、华北、西北、华东及华南
10	蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i> (L.) Link.	蜡梅科 Calycanthaceae	杨凌	4—11月/10月中	陕西、华东、华中及西南
11	臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i> Steud. Nomencl. Bot. ed.	马鞭草科 Verbenaceae	青木川	5—11月/9月初	华北、西北、西南、华东及华中
12	武当玉兰 <i>Magnolia sprengeri</i> Pampan.	木兰科 Magnoliaceae	天水	8—9月/10月初	陕西、甘肃、河南、两湖及四川
13	三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i> (Thunb.) Koidz.	木通科 Lardizabalaceae	眉县	7—8月/8月底	陕西、甘肃、华北及长江流域

续表

序号 Order	名称 Name	科名 Family	采集点 Site	成熟期/采集期 Maturity ^a /collected date	主要分布区 ^a Main distribution ^a
14	山葡萄 <i>Vitis amurensis</i> Rupr.	葡萄科 Vitaceae	陇县	7—9月/10月中	东北、山西、河北、山东、安徽及浙江
15	黄枹 <i>Cotinus coggygia</i> Scop. Fl. Carn. ed.	漆树科 Anacardiaceae	长安	6—7月/10月中	山东、湖北、两河及四川
16	红麸杨 <i>Rhus chinensis</i> var. <i>sinica</i> Rehd. Et Wils.	漆树科 Anacardiaceae	陇县	9—10月/10月中	西南、两湖、陕西及甘肃
17	榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i> (Lindl.) Ricker	蔷薇科 Rosaceae	瓜州	7月/7月初	东北、西北及华东
18	杏 <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. Encycl. Meth. Bot.	蔷薇科 Rosaceae	兰州	6—7月/7月初	全国各地
19	桃 <i>Amygdalus persica</i> Linn.	蔷薇科 Rosaceae	凤县	6—9月/8月底	全国各地
20	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> Linn.	蔷薇科 Rosaceae	徽县	7—10月/10月初	全国各地
21	贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i> (sweet) Nakai	蔷薇科 Rosaceae	兰州	9—10月/10月初	陕西、甘肃、广东及西南
22	酸浆 <i>Physalis alkekengi</i> Linn.	茄科 Solanaceae	徽县	6—10月/10月初	西南、西北及湖北
23	天仙子 <i>Hyoscyamus niger</i> Linn.	茄科 Solanaceae	卓尼	6—8月/10月初	华北、西北及西南
24	鸡树条荚蒾 <i>Viburnum sargentii</i> Koehne	忍冬科 Caprifoliaceae	平凉	8—9月/10月中	东北、华北及西北
25	葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i> Franch.	忍冬科 Caprifoliaceae	平凉	9—10月/10月中	辽宁、西北、两河及四川
26	金银木 <i>Lonicera maackii</i> (Rupr.) Maxim.	忍冬科 Caprifoliaceae	兰州	8—10月/10月初	东北、华东、华中及西南
27	律草 <i>Humulus Scandens</i> (Lour.) Merr.	桑科 Moraceae	陇县	9—10月/10月中	南北各省区

续表

序号 Order	名称 Name	科名 Family	采集点 Site	成熟期/采集期 Maturity ^a /collected date	主要分布区 ^a Main distribution ^a
28	白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	山矾科 symplocaceae	凤县	10月/8月底	东北、华北、华中、华南及西南
29	红瑞木 <i>Swida alba</i> Opiz	山茱萸科 Cornaceae	兰州	7—8月/7月初	东北、西北及华北
30	牡丹 <i>Paeonia suffruticosa</i> Andr.	芍药科 Paeoniaceae	兰州	6—7月/8月初	全国各地
31	毛果群心菜 <i>Cardaria pubescens</i> (C. A. Mey.) Jarm.	十字花科 Brassicaceae	瓜州	7—8月/7月初	西北
32	诸葛菜 <i>Orychophragmus violaceus</i> (L.) O. E. Schulz	十字花科 Brassicaceae	杨凌	5—6月/7月初	辽宁、西北、华东及华中
33	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb. Fl. Jap.	卫矛科 Celastraceae	凤县	9—10月/8月底	东北、西北、华北及华中
34	卫矛 <i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb.	卫矛科 Celastraceae	陇县	7—10月/10月中	除东北、新疆、青藏、广东及海南以外的各省
35	总木 <i>Aralia chinensis</i> Linn.	五加科 Araliaceae	陇县	9—12月/10月中	全国各地
36	亚麻 <i>Linum usitatissimum</i> Linn.	亚麻科 Linaceae	杨凌	7—10月/7月初	全国各地
37	亚麻 <i>Linum usitatissimum</i> Linn.	亚麻科 Linaceae	徽县	7—10月/10月初	全国各地
38	小叶朴 <i>Celtis bungeana</i> Bl.	榆科 Ulmaceae	长安	9—10月/10月中	华北、西北、西南及华中
39	朴树 <i>Celtis sinensis</i> Pers. Syn.	榆科 Ulmaceae	陇县	9—10月/10月中	华东、华中、西南及两广
40	毛叶木姜子 <i>Litsea mollis</i> Hemsl.	樟科 Lauraceae	汉中	9—10月/9月初	西南、两广及两湖

注：a 资料来源于《中国植物志》^[17]。Note: a Data from *flora of China* ^[17].

表 2 40 份样品的含油率、脂肪酸组成及利用状况
Table 2 Oil content, fatty acid composition and utilization of 40 collected plant samples

编号 Item	名称 Name	含油率/% Oil content	脂肪酸组成 Fatty acid composition										利用状况 ^a Utilization ^a
			12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	
1	益母草 <i>Leonurus artemisia</i> (Lour.) S. Y. Hu	22.67	0.00	0.00	5.21	0.18	2.36	21.58	50.25	16.01	0.81	0.46	N/A
2	蓖麻 <i>Ricinus communis</i> Linn.	39.69	0.43	0.08	11.49	0.17	10.17	26.80	37.68	4.24	0.46	2.19	N/A
3	大麻 <i>Cannabis sativa</i> Linn.	17.81	0.00	0.00	8.75	0.14	3.45	19.23	50.74	10.36	0.94	0.90	种子榨油 Seed for oil
4	大豆 <i>Glycine max</i> (Linn.) Merr.	13.00	0.00	0.00	9.43	0.00	2.81	16.84	55.73	11.91	0.26	0.13	种子榨油 Seed for oil
5	海桐 <i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) Ait.	13.98	0.24	0.55	19.51	0.07	1.16	52.11	6.16	0.33	0.21	8.89	绿化 Ornamental species
6	木半夏 <i>Elaeagnus multiflora</i> Thunb.	13.45	0.07	0.13	9.68	1.12	2.50	26.34	32.50	16.56	0.43	0.13	N/A
7	西瓜 <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. et Nakai	20.12	0.00	0.08	9.24	0.17	4.76	17.58	48.35	1.99	0.39	0.16	果实食用 Fruit for eat
8	小果白刺 <i>Nitraria Sibirica</i> Pall. Fl. Ross.	13.07	0.00	0.09	4.81	0.41	1.43	15.15	22.24	32.32	0.93	6.39	N/A
9	日本风毛菊 <i>Saussurea japonica</i> (Thunb.) DC.	13.69	0.09	0.26	13.40	0.90	4.23	19.86	42.16	2.60	3.91	0.22	N/A
10	蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i> (L.) Link.	17.61	0.00	0.00	14.99	0.00	2.52	25.70	51.34	0.30	0.43	2.32	绿化 Ornamental species
11	臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i> Steud. Nomencl. Bot. ed.	13.95	0.00	0.00	7.57	0.56	2.55	74.63	11.78	0.35	0.49	0.48	N/A
12	武当玉兰 <i>Magnolia sprengeri</i> Pampan.	20.84	0.19	0.76	12.93	1.07	1.87	21.54	51.97	1.53	0.36	0.15	绿化 Ornamental species
13	三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i> (Thunb.) Koidz.	26.42	0.40	0.55	30.51	0.34	3.58	43.61	13.30	0.27	0.17	0.14	N/A ^b
14	山葡萄 <i>Vitis amurensis</i> Rupr.	10.49	0.00	0.00	6.39	0.00	4.60	15.52	71.15	0.37	0.19	0.12	N/A
15	黄枹 <i>Cotinus coggygia</i> Scop. Fl. Carn. ed.	11.31	0.00	0.00	9.17	0.11	2.57	19.08	64.50	2.07	0.33	0.23	绿化 Ornamental species
16	红麸杨 <i>Rhus chinensis</i> var. <i>sinica</i> Rehd. Et Wils.	14.35	0.00	0.07	15.15	0.70	1.49	40.53	37.66	1.26	0.16	0.27	N/A
17	榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i> (Lindl.) Ricker	32.68	0.00	0.00	1.51	0.11	0.66	81.35	15.33	0.22	0.07	0.20	绿化 Ornamental species
18	杏 <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. Encycl. Meth. Bot.	35.54	0.00	0.00	5.47	0.72	1.19	57.07	34.74	0.17	0.15	0.08	果实食用 Fruit for eat
19	桃 <i>Amygdalus persica</i> Linn.	39.88	0.00	0.06	6.07	0.27	1.36	59.91	29.92	0.13	0.12	0.08	果实食用 Fruit for eat
20	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> Linn.	18.54	0.00	0.00	4.97	0.00	2.40	14.98	39.77	35.89	0.78	0.15	N/A

续表

编号 Item	名称 Name	含油率/% Oil content	脂肪酸组成 Fatty acid composition										利用状况 ^a Utilization ^a
			12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	
21	贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i> (sweet) Nakai	10.43	0.00	0.00	8.13	0.10	0.65	43.21	45.09	0.39	0.69	0.53	绿化 Ornamental species
22	酸浆 <i>Physalis alkekengi</i> Linn.	18.16	0.00	0.00	6.36	0.31	1.60	20.16	67.27	0.85	0.16	0.11	N/A
23	天仙子 <i>Hyoscyamus niger</i> Linn.	16.58	0.05	0.06	4.36	0.08	2.61	16.33	67.63	0.77	0.46	0.10	N/A
24	鸡树条菜 <i>Viburnum sargentii</i> Koehne	15.90	0.00	0.00	1.73	0.00	0.73	50.94	44.99	0.51	0.00	0.16	N/A
25	葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i> Franch.	12.06	0.00	3.36	0.06	2.26	13.89	20.44	42.18	0.29	0.00	0.00	N/A
26	金银木 <i>Lonicera maackii</i> (Rupr.) Maxim.	13.37	0.00	0.11	9.85	0.09	5.35	47.40	21.55	0.31	0.50	0.39	绿化 Ornamental species
27	葎草 <i>Humulus Scandens</i> (Lour.) Merr.	18.58	0.00	0.00	10.55	0.11	3.06	13.28	52.89	16.72	0.66	0.43	N/A
28	白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	17.66	0.19	0.75	12.93	0.90	1.91	21.68	52.05	1.52	0.37	0.19	N/A
29	红瑞木 <i>Swida alba</i> Opiz	14.25	0.18	0.73	12.66	0.96	1.87	21.48	51.70	1.51	0.41	0.18	绿化 Ornamental species
30	牡丹 <i>Paeonia suffruticosa</i> Andr.	15.82	0.00	0.00	5.60	0.15	1.17	21.83	27.84	39.31	0.00	0.22	绿化 Ornamental species
31	毛果群心菜 <i>Cardaria pubescens</i> (C. A. Mey.) Jarm.	12.67	0.00	0.07	11.50	0.92	2.41	14.64	67.44	0.60	0.63	0.13	N/A
32	诸葛菜 <i>Orychophragmus violaceus</i> (L.) O. E. Schulz	24.00	0.39	0.09	6.79	0.13	1.98	14.03	72.50	0.92	0.12	0.06	N/A
33	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb. Fl. Jap.	28.64	0.00	0.49	15.27	0.06	3.47	11.85	31.52	33.21	0.14	0.06	N/A
34	卫矛 <i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb.	17.08	0.06	0.33	33.67	0.15	6.15	26.22	17.45	1.24	0.32	0.12	N/A
35	楝木 <i>Aralia chinensis</i> Linn.	16.22	0.19	0.76	12.90	0.97	1.90	21.53	51.74	1.52	0.38	0.16	N/A
36	亚麻 <i>Linum usitatissimum</i> Linn.	36.30	0.89	0.18	9.17	0.12	0.26	3.23	15.66	63.93	1.73	0.29	油用 Seed for oil
37	亚麻 <i>Linum usitatissimum</i> Linn.	27.12	0.00	0.08	6.33	0.17	5.29	40.76	13.05	32.75	0.26	0.19	茎皮纤维用 Bark for fiber
38	小叶朴 <i>Celtis bungeana</i> Bl.	19.58	0.19	0.80	12.89	0.98	1.91	21.46	51.63	1.51	0.39	0.15	N/A
39	朴树 <i>Celtis sinensis</i> Pers., Syn.	32.08	0.14	0.07	7.47	0.07	2.88	9.82	73.06	1.61	0.42	0.47	N/A
40	毛叶木姜子 <i>Litsea mollis</i> Hemsl.	51.42	74.58	1.89	0.77	0.00	0.26	4.48	2.84	0.16	0.00	0.15	绿化 Ornamental species

注: a 资料通过调查当地用户获得; b 未被利用。Note: a Data from our own investigation; b No usage.

表3 欧洲及中国生物柴油标准和部分采集物种油脂及其甲酯的理化性质与产量指标

编号 Item	名称 Species	油脂的理化性质 Oil character				油脂甲酯的理化性质 MEs character				产量/ (t/hm ²) Yield	
		皂化值/ (mg/g) SN	酸值/ (mg/g) AV	碘值/ (g/100g) IV	运动粘度/ (mm ² /s) KV	十六烷值 CN	冷滤点/°C CFPP	高热值/ (kJ/g) HHV	密度/ (kg/m ³) Density		
											— a
标准 1	欧盟 (EN 14214)	European specification for biodiesel	— a	≤0.50	≤120	3.5~5.0	≥51	≤0	—	860~900	—
标准 2	中国 (GB/T 20828)	Chinese specification for biodiesel	—	≤0.80	—	1.9~6.0	≥49	≤0	—	820~900	—
1	益母草 <i>Leonurus artemisia</i> (Lour.) S. Y. Hu		198.82	6.90	79.62	3.20	55.84	-8.60	40.08	851.36	2.00
2	大豆 <i>Glycine max</i> (Linn.) Merr.		193.61	1.76	90.34	3.21	54.16	-8.27	40.14	851.76	4.00
3	海桐 <i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) Ait.		173.79	20.03	65.71	3.27	62.92	-7.86	41.32	853.72	10.00
4	西瓜 <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. et Nakai		203.69	10.17	100.87	2.78	50.40	-4.86	39.57	837.48	2.50
5	蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i> (L.) Link.		148.43	10.17	105.92	3.38	59.24	-6.46	41.76	857.15	3.33
6	臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i> Steud. Nomencl. Bot. ed.		182.75	45.48	78.17	3.70	58.58	-8.57	40.76	867.96	1.00
7	武当玉兰 <i>Magnolia sprengeri</i> Pamp.		189.44	32.67	107.30	3.11	50.97	-8.34	40.05	848.52	2.00
8	三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i> (Thunb.) Koidz.		271.81	4.94	41.23	3.39	57.10	-0.75	37.67	857.72	4.00
9	黄栌 <i>Cotinus cogggyria</i> Scop. Fl. Carn. ed.		180.75	22.22	118.35	3.30	49.87	-8.54	40.24	854.49	1.00
10	红麸杨 <i>Rhus chinensis</i> var. <i>sinica</i> Rehd. Et Wils.		167.08	39.81	99.72	3.43	56.53	-8.87	41.08	859.05	10.00
11	榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i> (Lindl.) Ricker		195.55	4.98	101.46	3.67	51.38	-15.08	39.90	867.06	16.67
12	杏 <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. Encycl. Meth. Bot.		185.84	5.30	107.51	3.58	51.48	-12.41	40.20	864.00	5.00
13	桃 <i>Amygdalus persica</i> Linn.		154.61	6.76	90.97	3.54	61.13	-12.06	41.73	862.48	7.50
14	贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i> (sweet) Nakai		189.69	7.32	104.43	3.47	51.58	-10.73	40.09	860.15	20.00
15	酸浆 <i>Physalis alkekengi</i> Linn.		190.73	2.92	83.19	3.23	56.20	-11.48	40.36	852.28	2.00
16	鸡树条菜 <i>Viburnum sargentii</i> Koehne		193.39	5.63	78.27	3.48	56.91	-14.78	40.33	860.60	4.00
17	金银木 <i>Lonicera maackii</i> (Rupr.) Maxim.		189.31	15.10	114.37	3.07	49.40	-3.40	39.95	847.02	5.00
18	白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.		216.53	42.04	47.17	3.12	60.89	-8.25	39.84	848.66	3.33
19	红瑞木 <i>Swida alba</i> Opiz		219.03	44.52	93.80	3.09	50.11	-8.27	39.04	847.66	15.00
20	诸葛菜 <i>Orychophragmus violaceus</i> (L.) O. E. Schulz		142.37	6.89	99.57	3.20	62.23	-10.85	42.10	851.21	5.00
21	椴木 <i>Aralia chinensis</i> Linn.		191.73	16.86	94.12	3.10	53.59	-8.25	40.16	848.13	10.00
22	亚麻 <i>Linum usitatissimum</i> Linn.		164.93	1.83	91.75	2.87	58.75	-7.74	41.29	840.45	3.00
23	小叶朴 <i>Celtis bungeana</i> Bl.		230.20	56.03	56.42	3.10	57.31	-8.21	39.15	847.97	7.50

注:a没有报道。Note:a Not report.

19.47~160.25 g/100 g。碘值作为反映油脂中不饱和脂肪酸含量的指标,对油脂甲酯的十六烷值及氧化安定性均有直接影响。为了保证生物柴油的综合质量,欧洲生物柴油标准 EN 14214 限定碘值不超过 120 g/100 g,而国标 GB/T 20828 对此没有要求。但为了严格筛选,本研究采用欧洲标准,结果 40 份采集物种中大麻、木半夏、小果白刺、山葡萄、天仙子、葱皮忍冬、葎草、毛果群心菜、亚麻、朴树等 10 种植物油脂碘值超标。两种标准对皂化值和高热值均未有报道,而要求酸值较低,40 份采集物种均超标,但酸值可以通过改变催化剂类型等理化方法削弱其负面影响。运动粘度(1.9~6.0 mm²/s)、十六烷值(49~65)、冷滤点(小于 0 °C)、密度(820~900 kg/m³)等指标按国标 GB/T 20828 筛选。分析发现 40 种样品油脂甲酯理化性质有 24 种符合该标准。

综合上述分析,初步认为益母草、大豆、海桐、西

瓜、蜡梅、臭牡丹、武当玉兰、三叶木通、黄栌、红麸杨、榆叶梅、杏、桃、贴梗海棠、酸浆、鸡树条荚蒾、金银木、白檀、红瑞木、诸葛菜、槲木、亚麻(油用)和小叶朴等 23 种(占 57.5%)物种可进一步研究其作为生物柴油原料的潜力(表 3)。

3.3 灰色系统评价结果分析

本研究采用等权灰色关联度分析法,综合分析含油率、酸值、碘值、运动粘度、十六烷值、冷滤点、高热值、密度和产量等 9 项评价指标,得到 40 份参评物种与构建理想物种相似程度(以灰色关联度表示)并排序,其总体变幅为 0.447~0.731,以灰色关联度排序前 10 位的物种见表 4。根据灰色系统理论,关联度越高说明该物种综合性状越优异。因此,本研究中毛叶木姜子($\gamma_1=0.731$)的综合性状表现最好,其次为榆叶梅($\gamma_2=0.688$)、贴梗海棠($\gamma_3=0.674$)与桃($\gamma_4=0.628$);表现最差的物种为日本风毛菊($\gamma_{40}=0.447$)。

表 4 部分采集样品的灰色关联度(γ)及排序

Table 4 The results of calculated grey relational grade (γ) and ranks of some plant samples

编号 Order	名称 Species	关联度 Degree	表 1 中的编号 No. in Table 1
1	毛叶木姜子 <i>Litsea mollis</i> Hemsl.	0.731	40
2	榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i> (Lindl.) Ricker	0.688	17
3	贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i> (sweet) Nakai	0.674	21
4	桃 <i>Amygdalus persica</i> Linn.	0.628	19
5	胡麻 <i>Linum usitatissimum</i> Linn.	0.599	36
6	鸡树条荚蒾 <i>Viburnum sargentii</i> Koehne	0.594	24
7	蓖麻 <i>Ricinus communis</i> Linn.	0.590	2
8	红麸杨 <i>Rhus chinensis</i> var. <i>sinica</i> Rehd. Et Wils.	0.587	16
9	杏 <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. Encycl. Meth. Bot.	0.585	18
10	诸葛菜 <i>Orychophragmus violaceus</i> (L.) O. E. Schulz	0.581	32

灰色系统分析的样品中包括不符合两种生物柴油标准的物种,排序结果仅表示该物种 9 项指标的综合品质。毛叶木姜子排在第 1 位,被认为综合指标品质最好。结合分析国内外生物柴油标准,毛叶木姜子油脂碘值过低,且油脂组分中饱和脂肪酸组分偏高,导致其运动粘度和密度指标不符合国标 GB/T 20828 和欧洲标准 EN 14214。因此需要修改其油脂脂肪酸组分,才有利用价值,这样增加了生产成本。2 种荒漠地区植物(小果白刺、毛果群心菜)综合潜力均排在中等以下水平,干旱环境可能对植物油脂含量及其组分有影响,需要进一步研究。榆叶梅、贴梗海棠与桃的综合指标品质相对较好,它

们的各项重要指标均符合国标 GB/T 20828 和欧洲标准 EN 14214。此外,筛选出来的 23 份物种中榆叶梅、贴梗海棠与桃的理论产油量相对较高。

综合分析,相对开发潜力高的前 3 个生物柴油原料物种认定为榆叶梅、贴梗海棠和桃。

4 讨论

4.1 潜力物种的分布、研究现状及前景分析

4.1.1 榆叶梅

榆叶梅(*Amygdalus triloba* (Lindl.) Ricker),蔷薇科李属落叶灌木稀小乔木,全国各地多数公园内均有栽培。榆叶梅是我国特产花木,被广泛用于

草坪、公园、庭院的绿化和美化,其繁育技术^[19-20]已相当成熟。一般定植第2年即可开花结实,3~5年进入盛果期^[21]。其种质资源丰富,仅对北方地区进行调查,发现共有榆叶梅品种72个之多^[22]。榆叶梅抗旱能力较强,在受到严重干旱胁迫时它能够通过自身的调节机制抵御干旱胁迫^[23]。在油脂方面,刘培华和赵正龙^[21]测定出榆叶梅种仁含油量在47.30%~49.34%之间。本研究中榆叶梅种仁含油量为32.68%,各项甲酯指标均达到国标 GB/T 20828 和欧洲标准 EN 14214。此外,郭元平等^[24]分析果仁总蛋白组成成分,得出其利用价值高,有开发利用前景的结论。综合分析认为,榆叶梅种仁含油量高,适宜在西南干旱区种植,且其播种栽培技术已有一定的基础,是优良的生物柴油原料。

4.1.2 贴梗海棠

贴梗海棠 (*Chaenomeles speciosa* (sweet) Nakai) 系蔷薇科木瓜属的落叶灌木,主要分布在陕西、甘肃、四川、贵州、云南、广东。贴梗海棠适宜地域广,耐旱、喜光、耐寒、耐瘠薄。因此,贴梗海棠极易种植,可用播种、嫁接、扦插、分株及压条、组织培养等方法进行繁殖^[25],其育苗技术^[26]也有较深入的研究;贴梗海棠生产成本低,操作技术简便,可连续多年收获,一般品种5年后开始结果,8年进入丰产期,树龄可达数百年^[27]。而油脂方面,贴梗海棠种子含油量为10.43%,但其理论产量最高,各项甲酯指标均达到国标 GB/T 20828 和欧洲标准 EN 14214。此外,贴梗海棠用途十分广泛,兼有药用、食用、保健及观赏价值,前景广阔^[27]。初步分析认为,贴梗海棠具有在甘肃荒漠地和盐碱地种植的基础,且副产品丰富,是有前景的生物柴油原料。

4.1.3 桃

桃 (*Amygdalus persica* Linn.) 蔷薇科李属落叶乔木,各省区广泛栽培。桃原产于我国,其种植资源蕴藏极为丰富。1956年我国基本查清桃属植物共5个种,16个变种或类型^[28]。目前,桃的栽培技术研究十分广泛,包括早熟^[29]、晚熟^[30]桃,还有高寒地^[31]、沙漠^[32]、山地^[33]桃栽培技术等。刘云^[34]确定了桃仁油脂中9种脂肪酸名称与成分,并分析其理化性质,认为桃仁油脂营养丰富,利用价值高。本研究发现,在油脂方面,桃种仁含油量高达39.88%,各项甲酯指标均达到国标 GB/T 20828 和欧洲标准 EN 14214。此外,其发现桃仁油脂中有2%~4%的苦杏仁苷,具有镇咳平喘的作用;桃仁的壳可以用来

做活性炭。桃的果实可食用,其加工品已工业化。初步分析认为,桃在各种环境条件下的栽培技术已相当成熟,且已有副产品工业化,是非常有前景的生物柴油原料树种之一。

4.2 木本油料植物的应用前景

本研究采集的野生高油植物54%属于木本植物,且油脂含量高,产量大,这说明与草本植物相比,木本植物有着更高的生物质开发潜力。筛选的开发潜力最大的3个物种均属于木本植物,且适宜地域广,其中榆叶梅和桃已有广泛的栽培,而贴梗海棠极易种植,可用播种、嫁接、扦插、分株及压条、组织培养等方法进行繁殖^[25]。它们都有一定的栽培基础,适宜规模化种植,是非常有前景的生物柴油原料。因此,筛选木本植物是解决非粮生物柴油原料问题的重点工作。

我国已查明的油料植物中,具备规模化培育潜力的乔灌木树种有30多种,其中除少量油料植物资源被开发食用或工业用途外,目前大多数基本上没有被利用^[35-36]。李昌珠等^[37]总结前人的研究,确定能利用荒山、沙地等宜林地进行造林,建立起规模化的良种供应基地的生物质燃料油植物约10种,其中麻疯树、光皮树、乌柏、文冠果和黄连木等已被作为重要生物柴油树种展开研究。而我国野生木本油料植物种类繁多,进一步筛选优良的木本油料树种具有十分重要的意义。此外,木本油料植物大多产量高,抗逆性强,适宜用于开发难利用的边缘性土地,以改善生态环境,提高土地利用率,同时为生物柴油提供优良的原料。

4.3 灰色系统在非粮柴油植物筛选中的应用问题

灰色系统方法综合考虑样品产油量、油脂性质及其甲酯性质,与以往综合美国和欧洲生物柴油标准的评价方法^[38]相比减少主观因素的影响,实现了客观、全面的评价。但是,将灰色系统应用到生物柴油原料物种的筛选研究极少,目前的评价指标还存在缺陷。毛叶木姜子是用等权灰色关联度分析法综合分析9种指标筛选出来的最优物种,但其碘值偏低和油脂脂肪酸组分中饱和脂肪酸含量过高,不适合作为生物柴油。可见,油脂脂肪酸组分是一个重要的指标。另外,物种的适应性和生育期也是重要因子,关系到选择的生物柴油植物是否适宜规模化种植。因此,评价指标还需要考虑到物种油脂脂肪酸组分、适应性及其生育期,以改进灰色系统在生物柴油植物资源方面的应用。

参 考 文 献

- [1] 谢光辉. 论中国非粮生物质原料的非粮属性[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(6): 1-5
- [2] 黄凤洪, 黄庆德. 生物柴油制造技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [3] 赵宗保, 华艳艳, 刘波. 中国如何突破生物柴油产业的原料瓶颈[J]. 中国生物工程杂志, 2005, 25(11): 1-6
- [4] 李桂英. 我国生物柴油植物资源的可获得性[C]//中国生物柴油行业发展大会暨第二届全国生物柴油行业协作组年会论文集. 北京: 中国化工信息, 2007: 64-68
- [5] 薛帅, 秦烁, 王继师, 等. 灰色系统理论在非粮柴油植物评价与筛选中的应用[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 225-230
- [6] 胡淑兰, 蔡新玲, 雷向杰. 2011年陕西气候影响评价[J]. 陕西气象, 2012(3): 22-25
- [7] 樊怀玉, 鲜力群. 甘肃发展年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011
- [8] 朱博融. 陕西省土地资源利用特点及对策研究[J]. 城市建设理论, 电子版, 2012(9): 1-4
- [9] 张旺锋, 武翠芳, 熊永兰. 甘肃省土地资源的持续利用探析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 68-72
- [10] 尹华. 陕西退耕还林工程建设成效及发展对策研究[J]. 陕西林业, 2011(1): 20
- [11] 李金东. 甘肃省退耕还林政策对农民收入的影响: 理论和实证[D]. 兰州: 兰州大学, 2010
- [12] Allen C A W, Watts K C, Ackman R G, et al. Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition[J]. Fuel, 1999, 78: 1319-1326
- [13] Krisnangkura K. A simple method for estimation of cetane index of vegetable oil methyl esters[J]. J Am Oil Chem Soc, 1986, 63: 552-553
- [14] Demirbas A. Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils[J]. Fuel, 1998, 77: 1117-1120
- [15] Demirbas A. Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines[M]. Trabzon: Springer, 2007
- [16] Ramos M J, Fernandez C M, Casas A, et al. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties[J]. Bioresource Technol, 2009, 100: 261-268
- [17] 中科院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1979
- [18] 罗艳, 刘梅. 开发木本油料植物作为生物柴油原料的研究[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(7): 68-74
- [19] 曹晏. 榆叶梅播种育苗技术[J]. 青海农林科技, 2004(1): 55-56
- [20] 马平辉. 榆叶梅栽培技术[J]. 现代农业科技, 2009(21): 169
- [21] 刘培华, 赵正龙. 一种新的油料树: 榆叶梅[J]. 陕西林业科技, 1981(6): 49-51
- [22] 于君, 张启翔. 我国榆叶梅品种资源调查研究[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会年会论文集. 北京: 中国园艺学会, 2007: 15-24
- [23] 张思路. 四种植物抗旱性的研究[D]. 吉林: 吉林农业大学, 2011
- [24] 郭元平, 周亚翠, 时云峰. 东北榆叶梅果仁蛋白质的提取工艺研究[J]. 安徽农业科技, 2012, 40(11): 6496-6497, 6518
- [25] 马冬菁. 贴梗海棠培育技术研究进展[J]. 防护林科技, 2010(6): 49-51
- [26] 李明, 姜淑红, 李振金, 等. 皱皮木瓜育苗技术[J]. 林业科技开发, 2006, 20(2): 86
- [27] 何银生, 廖朝林, 郭汉玖, 等. 皱皮木瓜 前景美好[J]. 中国现代中药, 2008, 10(9): 46-47
- [28] 王志强, 宗学普. 21世纪我国桃育种及栽培技术研究与发展[J]. 经济林研究, 1996, 14(1): 20-23
- [29] 黄平. 早熟桃栽培技术[J]. 安徽林业科技, 2009(3): 44-45
- [30] 王丽曼, 王有科, 刘君娣, 等. 晚熟桃栽培技术[J]. 农业科技与信息, 2010(17): 31-32
- [31] 张广生. 高寒地区日光温室油桃栽培技术[J]. 黑龙江农业科学, 2008(4): 159-160
- [32] 尚子华. 沙漠日光温室油桃栽培技术[J]. 现代农业科技, 2011(21): 143, 146
- [33] 陈丹霞. 山地油桃栽培技术[J]. 现代农业科技, 2010(20): 152, 154
- [34] 刘云. 桃仁油脂及蛋白的综合利用研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2011
- [35] 谢光辉. 非粮生物质原料体系研发进展及方向[J]. 中国农业大学学报, 2009, 17(6): 1-19
- [36] 赵江红. 中国林业生物质能源开发利用的调查思考[J]. 林业经济, 2009(3): 13-16
- [37] 李昌珠, 李培旺, 肖志红, 等. 我国木本生物柴油原料研发现状及产业化前景[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 165-170
- [38] Azam M 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 Bioenerg, 2005, 29: 293-302