

能源植物小桐子的利用与研究进展

王岩^{1,2}, 龙春林^{1*}, 程治英¹ (1.中国科学院昆明植物研究所, 云南昆明 650204; 2.云南农业大学园林园艺学院, 云南昆明 650201)

摘要 对小桐子作为能源植物的发展前景进行了展望, 对其种质创新结果进行了初步报道。

关键词 能源植物; 小桐子; 生物柴油; 可再生能源

中图分类号 Q949.99 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2007)02-00426-02

Utilization of *Jatropha Curcas* L., an "Energy Plant" for Biodiesel

WANG Yan et al (Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming, Yunnan 650204)

Abstract Based on literature studies and experiments conducted in recent years, the potential of physic nut (*Jatropha curcas* L.) as an energy plant were prospected. In the meantime, the preliminary result of germplasm innovation was reported. Physic nut is a semi-fleshy small tree or large shrub, belonging to the family Euphorbiaceae and ranging widely in the tropics and subtropics area. Physic nut as energy plant has many advantages such as: high renewable of plant; high tolerance to drought and nutrient deficiency; florescence and fructification twice every year; oil content of kernel is about 50%; it is easy for kernel oil to be changed into ideal Biodiesel; simple methods of reproduction, extensive management of growing period, it is propitious to fell virescence and vegetation recover of dry-hot river valley and high economic value. There was no doubt that physic nut would be an important strategic resource with great economic value when we are facing the challenge of energy crisis.

Key words Energy plant; Physic nut (*Jatropha curcas* L.); Biodiesel; Renewable energy

1 能源植物概述

在全球能源危机不断加剧的情况下, 人们越来越迫切地想寻找一种新型的能源来替代目前广泛使用的石油。而一种新型能源从研究、发展、示范应用到大规模产业化通常需要至少半个世纪的努力, 所以目前各国都在积极考虑几十年后的能源问题。各国的政府和科学家已真正地意识到种植能源植物已迫在眉睫^[1]。

目前, 人们种植能源植物的主要目的是获取生物柴油(Biodiesel)。生物柴油又称脂肪酸甲酯(Fatty Acid Ester), 是以植物果实、种子、植物导管乳汁或动物脂肪油、废弃的食用油等作原料, 与醇类(甲醇、乙醇)经交酯化反应(Transesterification reaction)或其他的途径获得的。生物柴油具有能量密度高, 润滑性能好, 储运安全, 抗爆性好, 燃烧充分和可再生等优良性能^[2]。

与有限的化石能源资源相比, 种植能源植物获取生物柴油是解决能源危机的根本途径, 它具有可再生和取之不尽用之不竭的优势。目前已发现数千种这类植物, 主要集中在夹竹桃科、大戟科、萝藦科、菊科、桃金娘科以及豆科等。在我国可用于建立良种供应基地的油料基地的乔灌木有 10 种左右^[3]。

利用能源植物提取生物柴油具有重大的环境效益。主要是因为其在加工和使用的过程中所产生的污染都小于化石能源, 实现了植物通过光合作用吸收二氧化碳, 释放出氧气, 而提取的“植物石油”在燃烧时再释放出二氧化碳的过程, 周而复始, 从而达到大气层动态平衡。利用能源植物所获得的植物能源在使用方面的安全性, 以及在保障能源供应、稳定经济发展方面都展示出了能源植物充满巨大的发展前景^[4]。

2 能源植物小桐子

按照化学成分人们把能源植物划分为 3 类: ①富含碳

水化合物的能源植物; ②富含油质的能源植物; ③富含类似石油成分的能源植物。其中, 前两类本身既是人类赖以生存的食物来源, 又是重要的化工原料。若是直接以这些植物为制取生物能源的原料会加剧我国人口多、耕地少的矛盾。因此, 基于以上的观点, 小桐子作为生产生物柴油的原料是最有可能成为未来替代化石能源的具有巨大开发潜力的树种^[5-9]。

2.1 栽培历史 小桐子(*Jatropha curcas* L.)又名麻疯树、膏桐、黑皂树、木花生、油芦子、老胖果等, 属大科(Euphorbiaceae)麻疯树属(*Jatropha*)多年生落叶灌木或小乔木, 高为 2.0~5.0 m, 具水状液汁, 树皮平滑, 枝条苍灰色, 无毛。蒴果椭圆形或球形, 长为 2.5~3.0 cm, 黄色, 种子椭圆状, 长为 1.5~2.0 cm, 黑色, 花期为 5~10 月^[10]。起源于中美洲北部, 目前, 小桐子在全世界的分布已十分广泛。小桐子传入中国已经有 200 多年的历史, 目前, 中国台湾、两广、云南、四川、贵州、海南均有栽培或逸野, 其中云南最多, 四川次之^[10]。

最初, 小桐子引起人们的关注是由于其植株和种子的许多部分都含有多种活性成分, 有着重要的农药和医药价值^[9]。例如, 小桐子的种子有清热解毒、消肿散瘀的作用, 它的树叶具有止咳的功效等。近年来, 还发现其种子中还具有显著的抗癌活性; 与此同时, 小桐子的种子油还可以制造肥皂、染料等产品; 提取油后的渣可作肥料, 其树叶可饲养家蚕; 一些杂交品种, 还被用来美化、绿化环境^[10]。

2.2 作为能源植物的特点

(1) 植株可再生。与其他可替代能源相比较, 小桐子作为一种能源植物具有可再生性, 只要环境适合它生长, 它就会源源不断的提供能源, 永不枯竭^[11-12]。

(2) 独特的结实特性。小桐子适合生长于海拔为 1 600 m 以下、年平均气温为 17℃以上、极端气温不低于-5℃的地区。小桐子 4~5 月抽梢展叶, 12 月至翌年 1 月落叶, 气温较高时可 1 年开花结实 2 次, 第 1 次 4~5 月开花, 8~9 月果实成熟; 第 2 次 7~8 月开花, 12 月至翌年 1 月果实成熟。虽然小桐子果实的产量以第 1 次结实为主, 但其独特的结实特性, 为以提高产量为目的的育种工作提供了可能性。

(3) 种子含油率高。小桐子油成分含有醇、酸、酮、萜等

基金项目 国家科技基础条件平台项目(2004DKA3043, 2005DKA 2100 06); 中国科学院重要方向项目(KSCX2-SW-117)资助。

作者简介 王岩(1981-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 研究方向: 能源植物育种。* 通讯作者。

收稿日期 2006-09-11

多种化学成分。其油脂含量很高,含油率高达 40%~60%,超过油菜和大豆等常见的油料作物^[13],并且油的流动性好。小桐子油的各种化学组分所占的质量百分数见表 1^[14]。小桐子油与柴油、汽油、酒精的掺合性很好,相互掺合后,在长时间内不分离,通过化学或生物学转换可以获得优于目前 0# 柴油的生物柴油。

表 1 小桐子树种子油的化学成分及其质量百分数

编号	化合物	tR//s	W//%
1	2-丙基癸醇 2-propyldecan-1-ol	11.73	0.95
2	2-辛基十二烷醇 2-octyl dodecan-1-ol	12.53	0.59
3	邻苯二甲酸 1,2-Benzenedicarboxylic acid	14.61	16.65
4	棕榈酸 Hexadecanoic acid	15.16	18.02
5	2-羟基环十五酮 2-hydroxy-cyclopentadecanone	15.23	1.88
6	棕榈油酸 9-hexadecenoic acid	16.02	1.48
7	油酸 9-octadecenoic acid	16.30	44.04
8	亚油酸 9,12-octadecadienoic acid(Z,Z)	16.42	6.29
9	9,10-2 甲基蒽 Anthracene, 9,10-dimethyl	16.94	0.52
10	硬脂酸 octadecanoic acid	17.47	0.46

注:tR 为保留时间,即进样开始到组分色谱峰顶点时间间隔;w 为各组分在样品中的百分含量。

(4)小桐子的种子油在理化性质方面易于改造。小桐子种子油中含有醇、酸、酮、萜等多种化学成分。其分子组成与石油十分相似且更加稳定,便于深加工成不同用途的专用油^[15]。

2.3 作为能源植物的优势

(1)繁殖方式多样、方法简单。小桐子的种植及繁殖方式通常有直播造林法,育苗移栽法,硬枝插条法,缘篱式种植法以及组织培养法等。直播造林法,宜在雨季进行,大面积播种出苗率一般为 50%~70%,出苗时间长短不一,一般为 10~40 d,此法简便易行。育苗移栽法可以培育壮苗,有益于抵抗病虫害,提高成活率,在肥力较高的农耕地旁,缘篱式种植法是一种较好的种植方式。硬枝插条法是一种较为简便的小桐子种植方法,只要树塘具有一定深度,一般为 30 cm 左右,选择适当的时间一般都可以成活^[16]。在笔者已经开展的小桐子扦插试验中,插条成活率在 80%以上。小桐子的组织培养技术已近于成熟,通常是利用其胚轴、叶柄及子叶等外植体进行诱导^[17-19]。

(2)生长迅速,生命力强。小桐子作为一种抗干旱树种被广泛的栽种在热带地区。由于小桐子耐贫瘠,繁殖方法简单、管理粗放、生长速度快,再加之其茎叶有毒,牲畜不吃,因此,在民间其最主要和直接的用途就是作为围栏或缘篱栽培^[20]。

(3)经济性能好。1 株处于野生状况的小桐子成熟单株可年产种子 4~5 kg,产量为 9 000~12 000 kg/hm²^[21],可获得生物质“石油”5 250 kg/hm²,折合人民币为 9 000 元/hm²。由于这笔收入不是来自农用地,而且一经投产就可多年获利,因此,有助于促进农村经济的发展和农民收入的提高。

(4)有助于荒山恢复。小桐子是干热河谷地区荒山造林的优良树种,具有广泛的开发利用前景^[22-23]。小桐子的生命力极强,在水土肥沃的汇聚地带,可以很快形成大面积的森林群落,所以有利于干热河谷森林景观的恢复,有利于形成高产稳产的农业生态环境和人居环境,促进区域性水、土、气的良性循环,遏制水土流失,降低自然灾害。此外,小桐子的生物生产量大,枯枝残落物量亦大,所以有利于土壤改造

和土壤腐殖质的积累,提高土地利用率和生产力。

2.4 作为能源植物的应用前景 作为农业大国,我国近年来农用柴油年消费量在 1 500 万 t 以上。随着农业机械化进程和世界范围内车辆柴油化趋势的加快,未来柴油的供需矛盾将更加突出。因此,在石油资源日趋枯竭、柴油需求量日益扩大和油品结构性矛盾长期存在的多重压力下,寻找和开发柴油替代能源对保障国家能源安全、促进经济社会可持续发展具有重要战略意义^[24]。按中国目前的消耗量(每年消费柴油 6 000~7 000 万 t)计算,如果在石化柴油中添加 10% 体积的生物柴油,则每年应配套生产生物柴油 600 万 t。预计未来 10 年内,生化柴油产品将占领 20%~30% 的市场份额。随着改革开放的不断深入,在全球经济一体化的进程中,只要能把关于小桐子油提炼生物柴油的研究成果转化为生产力,形成产业化,则其在柴油引擎、柴油发电厂、空调设备和农村燃料等方面的应用将是非常广阔的。

参考文献

- [1] 吴国江,刘杰,姜治平,等. 能源植物的研究现状及发展建议[J]. 中国科学院院刊,2006,21(1):53-57.
- [2] 赵宗宝,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.
- [3] 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.
- [4] 袁振宏,吴创之,马隆龙. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [5] FOIDL N, FOIL G, SANCHEZ M, et al. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua[M]. *Bioresource Technology*, 1996:77-82.
- [6] SHAH S, SHARMA A, GUPTA M N. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction[J]. *Bioresource Technology*, 2005,96(1):121-123.
- [7] 吴征镒. 中国植物志[M]. 第 44 卷. 第 2 分册. 北京:科学出版社,1996:148-149.
- [8] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子[M]. 北京:中国林业出版社,2000:647-649.
- [9] GRIMM C. Evaluation of damage to physic nut (*Jatropha curcas*) by true bugs[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999(92):127-136.
- [10] SUJATHA M, PRABAKARAN A J. New ornamental *Jatropha* hybrids through interspecific hybridization [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2003,50(1):75-82.
- [11] HELLER J. Physic nut *Jatropha curcas* L. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crop [M]. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996.
- [12] OPENSHAW K. A review of *Jatropha curcas* an oil plant unfulfilled promises[J]. *Biomass Bioenergy*, 2000(19):1-15.
- [13] 邓志军,程红焱,宋松泉. 麻疯树种子的研究进展[J]. 云南植物研究,2005,27(6):605-621.
- [14] 李维莉,杨辉,林南英,等. 可再生资源麻疯树种子油化学成分研究[J]. 云南大学学报:自然科学版,2000,22(5):324-324.
- [15] 余珠花,刘大川,刘金波,等. 麻疯树籽油理化特性和脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂,2005,30(5):36-37.
- [16] 张无敌,宋红川,刘祖明,等. 元谋县小桐子种植的适应性研究[J]. 农业与技术,2001,21(1):22-25.
- [17] SUIATHA M, MUKTA N. Morphogenesis and plant regeneration from tissue cultures of *Jatropha curcas* [J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 1996,44(2):135-141.
- [18] BATRA S J. In vitro plantlet formation and micropropagation of *Jatropha curcas*[J]. *Advances Plant Sci*, 1998,11(2):167-169.
- [19] GEORGE E F, SHERRINGTON P D. Plant propagation by tissue culture [J]. *Handbook and Directory of Commercial Laboratories*, 1984,60(3):171-173.
- [20] 施宗明,李云,罗玉兴. 能源植物小桐子的开发利用和研究[J]. 云

率和被影响的节数则表现增加趋势。与对照组相比,株高变矮 9.05%~35.95%,节间变短 16.28%~45.35%;雌始节位最大下降幅度为 31.67%;雌花率提高 86.10%~179.90%;空节率增高 110.28%~295.33%。在 1~3 叶期随浓度的增加,被影响的节数的变化不明显;在 4~5 叶期随浓度的增加,对始花期和被影响的节数的影响显著。随乙烯利处理次数的增加,株高显著变矮,变矮最大幅度为 44.50%,体现了乙烯利喷施“低促高抑”的特性,当喷施 3 次时,株高随浓度的变化程度降低;随处理次数的增加,雌花率、空节率也增

高,特别是用浓度为 50 $\mu\text{L/L}$ 的乙烯利处理 1、2、3 次对雌花率增高显著,约为 86.12%~161.72%;被影响的节数也随次数的增加而增加,其中用浓度为 200 $\mu\text{L/L}$ 处理影响最明显。同一浓度在 1~3 叶期喷施 1 次和 2 次对节间长度的影响不大,喷施 3 次则有缩短节长的作用。通过各组比较,在 1 叶或 2 叶期用浓度为 100 $\mu\text{L/L}$ 的乙烯利处理 1 次效果最好,影响的节位为 15.5,雌花率最高,雌花节位降低及空节率最低;与对照组相比,雌花率提高约 165.07%,雌花节位降低约为 31.67%。

表 1 不同浓度和不同时期乙烯利处理对黄瓜产量的影响

浓度 $\mu\text{L/L}$	1叶1心期			2叶1心期			5叶1心期			1叶1心期+3叶1心期			1叶1心+3叶1心+5叶1心期							
	前期产量 g/10株	前期条数 条/株	总产量 g/10株	前期产量 g/10株	前期条数 条/株	总产量 g/10株														
0	666.7	3.7	1210.3	186.2	665.2	3.6	1214.6	184.0	667.3	4.0	1211.3	186.4	662.5	3.6	1215.1	184.1	667.1	3.7	1211.8	183.6
50	791.7	4.3	1341.7	186.5	795.6	4.2	1353.6	185.8	785.6	4.2	1344.2	176.8	810.3	4.3	1430.3	178.5	715.8	4.1	1213.3	178.4
100	850.0	5.2	1450.1	188.6	853.2	5.3	1451.3	188.7	783.8	4.3	1347.5	177.3	770.6	3.9	1390.9	170.2	666.9	4.0	1190.4	177.7
150	691.7	4.4	1203.4	170.5	698.4	4.4	1210.1	171.3	707.4	4.4	1250.7	173.7	708.2	4.2	1260.7	169.3	552.3	3.4	905.9	162.0
200	716.6	4.3	1258.3	165.6	717.1	4.3	1260.0	163.6	670.5	4.2	1190.2	163.0	637.5	3.8	1193.4	167.2	464.2	3.1	735.2	150.1

注:6月10日之前所摘的黄瓜为前期产量。

表 2 不同浓度和不同时期乙烯利处理对黄瓜农艺性状的影响

浓度 $\mu\text{L/L}$	1叶1心期						2叶1心期						5叶1心期					
	株高 cm	节长 cm	雌始 节	雌花 率//%	空节 率//%	影响 节数	株高 cm	节长 cm	雌始 节	雌花 率//%	空节 率//%	影响 节数	株高 cm	节长 cm	雌始 节	雌花 率//%	空节 率//%	影响 节数
0	211.4	8.6	6.0	20.9	10.7	0	211.5	8.5	6.0	20.7	10.8	0	211.4	8.5	6.0	20.7	10.8	0
50	192.3	7.2	4.3	38.9	25.8	15.0	190.4	7.1	4.2	39.3	25.6	12.8	186.4	6.9	5.8	40.8	26.0	14.5
100	184.2	6.3	4.1	55.4	22.6	15.5	184.3	6.4	4.2	56.1	22.5	15.5	180.1	5.8	6.3	58.5	26.3	16.3
150	162.3	5.8	4.7	53.5	26.7	15.3	160.3	5.6	4.9	53.3	27.3	15.6	152.2	5.3	7.1	56.7	28.9	17.1
200	149.1	5.6	5.3	53.1	30.3	16.2	149.1	5.4	5.8	52.9	31.7	16.4	141.6	4.9	7.5	55.1	34.1	17.9

注:以上数据均为 3 次重复的平均值。

3 结论与讨论

从该试验的结果可以看出,在黄瓜幼苗的不同叶龄期用不同浓度的乙烯利处理,对黄瓜的生长和产量均会产生不同影响。乙烯利对黄瓜主茎节间伸长有抑制作用,且随处理浓度的增加而加剧,但作用效应随处理时间的推移而降低。黄瓜第 1 雌花节位随乙烯利处理浓度增加而上移。适宜浓度的乙烯利有增加雌花数作用,为黄瓜的早熟丰产提供了潜力。乙烯利喷施浓度过高或次数过多导致空节的形成,使雌花节位升高,始花期推迟,有降低前期产量趋势。因此,在生产上不宜采用高浓度乙烯利。试验表明,在 1 或 2 叶龄期用浓度为 100 $\mu\text{L/L}$ 的乙烯利在 1 或 2 叶龄期处理 1 次,能有效提高雌花率,提高产量,特别是前期产量,从而提高经济效益。经适宜浓度乙烯利处理的黄瓜早期产量有显著

提高,在生产上应加强肥水管理,及早采收根瓜和及时疏花疏果^[6]。

参考文献

- [1] 曹毅,任吉君,李春梅,等.乙烯利对黄瓜生长发育的影响[J].北方园艺,2002(2):46-47.
- [2] 冯兆忠,王静,冯宗伟.三唑酮对黄瓜幼苗生长及抗寒性的影响[J].应用生态学报,2003,14(10):1637-1640.
- [3] 陈学好,曾广文,曹培生.黄瓜花性分化与内源激素的关系[J].植物生理学通讯,2002,38(4):317-320.
- [4] 汪社英,吴龙生.不同浓度乙烯利在黄瓜上的应用效果[J].安徽农学报,2004,10(6):55.
- [5] 王绍辉,张福垠.不同水分处理对日光温室黄瓜叶片光合特性的影响[J].植物学通报,2002,19(6):727-733.
- [6] 张宪法,于贤昌,张振贤.土壤水分对温室嫁接和非嫁接黄瓜生长与生理特性的影响[J].应用生态学报,2002,13(11):1637-1640.
- [24] 马洪,王梦奎.中国发展研究[M].北京:中国发展出版社,2005:14-15.
- [25] 陆伟达,魏琴,唐琳,等.麻疯树愈伤组织的诱导及快速繁殖[J].应用与环境生物学报,2003,9(2):127-130.
- [26] 朱至清.20 世纪我国植物学家对植物组织培养的贡献[J].植物学报,2002(44):1075-1084.

(上接第 427 页)

南师范大学学报:自然科学版,1992,12(2):31-38.

[21] 郑万均.中国树木志[M].第 3 卷.北京:中国林业出版社,1998:2977-2979.

[22] 广西植物研究所.广西植物名录:双子叶植物[M].第 2 册.北京:科学出版社,1998.

[23] 杨钦周.四川树木分布[M].贵州:贵州科技出版社,1997:243.