

# 世界各国能源林的研究与发展综述

汪有科

(中国科学院西北水土保持研究所  
水利部)

## 提 要

本文根据近年发表的国内外文献,分别从薪材消耗及能源林的发展、生物学基础、遗传改良、营林技术、薪材产量和能量及木材能量的利用等六个方面介绍了能源林的研究和发展。最后对能源林业予以评价。

从森林和树木中取薪材,是最古老的能源;进入工业社会之后,矿石能源取代了森林能源在历史上的主导地位。随着石油资源的日益枯竭,在七十年代初世界上发生了能源危机,人们对生物能源的开发利用更为关注,各国开始注意木质能源的地位和作用。从此,在能源科学和林业科学的领域里,陆续出现了“能源林木”、“能源树种”、“能源林”、“薪炭林”和“能源林场”等专门术语,能源林业逐渐发展成为一个新的分支学科。本文参考国内外文献,对世界能源林的研究及发展综述如下。

## 一、薪材消耗及能源林的发展

据联合国粮农组织研究表明,作为能源,1971年消耗木材12.07亿立方米,1973年为11.463亿立方米,1976年为12.5亿立方米,1977年为13.5亿立方米,1978年为15.66亿立方米。总的趋势是,使用量越来越大,其中主要是发展中国家消耗量最大,而发达国家各年消耗的薪材加起来只有1.5亿立方米。

在发达国家,美国薪材占消耗能量的2.5%,西德占0.2%,日本占0.1%,法国占2%,苏联占1.4%,芬兰占17%。

在不发达国家,巴西占32.6%,墨西哥占2.8%,印度占56%(农村占93%;也有资料统计占32%,农村占64%),印度尼西亚占52%,南朝鲜占60%,北非占41%,西非和中非占75%,东南亚及大洋洲占48%,南亚占43%,中美及加勒比海诸国占9%。

1980年,全世界的薪材消耗量为15.3亿立方米,预测到2000年最低需要量为26亿立方米,而供应能力仅为15亿立方米,不及需要量的60%。况且世界商业能源的消耗量预计每年增加2%,而实际价格是每年增长约1.5%,这又可能增加薪材供应的压力。

近十几年来,世界各国都开始重视能源林的发展。苏联、美国等大的能源国,政府都以法律的、行政的和财政的手段,支持开发森林能源的研究工作。美国曾拟拨款85—128亿美元用于开发森林能源,林学家在七十年代就主张发展能源林场;法国把1980称之为绿色能源计划的元年,由政府组织规模宏大的开发工作;芬兰设立了国家能源林委员会,计划八十年代末使森林能源利

用量达到全国总耗量的30%；印度计划部，在八十年代初拟订了一份关于薪材的报告，建议在今后十年内每年种植燃料林145.8万公顷；巴西现有人工林约550万公顷，其中50%左右为能源林。1979年菲律宾决定1990年前选定40个点，营建4.5万公顷短轮伐期能源人工林，最终目标是开办63个林场，总面积在7万公顷以上；瑞典计划到2000年营造25万公顷能源林，年产1,000万立方米木质燃料。我国“六五”期间，造薪炭林200万公顷；“七五”期间，国家年平均发展薪炭林800万公顷；到2000年，全国薪炭林力争实现2,000万公顷。

## 二、生物学基础

能源林生物学基础研究包括以下几方面：

(一) **造林立地的评价。**造林前对土壤的化学组成和养分进行调查，并对土壤是否能维持强度生物量的收获作出评定。贝尔(Baer)和布罗德福特(Broadford)1979年设计了一种很好的阔叶树立地评价方法。此法以物理性质、养分、水分及通气性等土壤因素为基础，还有一些附加的特性，如土壤质地、厚度、母质、地下水位、有机质含量、pH值和颜色。对这些因素进行数量评价，而且立地的评定与生长指数的相关很好(0.93—0.98)。

有没有发展能源林的土地是一重要的问题。加拿大和美国计划利用废耕的农田；爱尔兰、瑞典和芬兰则考虑在过度利用的泥炭地上造林；欧洲不少国家把农地腾出来造林，以减少能源进口；印度决定充分利用荒地造林。与此同时，一些国家还利用房前屋后、路边地埂等植树，解决薪材。

(二) **树种选择。**每个国家都十分注意优良树种的选择研究。目前国际公认的能源树种选择标准是：

- 1、生存能力强，容易造林；
- 2、速生高产，轮伐期短；
- 3、燃烧值高；
- 4、多用途，如保持水土、用材、食用、药用等；
- 5、木材易干燥；
- 6、萌生能力强；
- 7、最好具固氮作用；
- 8、燃烧时无毒，烟少，不爆火花，不呛人，不会使食物产生怪味；
- 9、便于运输，如刺少；
- 10、干枝、叶片和果实，可直接产生液体燃料的柴油树。

世界银行援助杆材—薪材方案，对南朝鲜、菲律宾、尼日利亚、坦桑尼亚、巴基斯坦、卢旺达等国，分别推荐了刺槐、赤桉、云南石梓等10个树种。美国科学院薪炭林专业小组，按世界主要气候区推荐了木麻黄、银合欢、桉树、铁刀木等数十个树种。我国近年来，选出了刺槐、沙棘、柆柳、紫穗槐、柳树等多种薪炭林树种。

(三) **光合作用。**导致生物量累积的光合作用，取决于环境因素和树种遗传有关的因素。兹苏法(Zsuffa)发现，杂种杨树各无性系1—6年间在树高上有明显的差异；拉森(Larson)等人发现，在叶面积指数和无性系干物质产量之间存在着线性相关；扎维特科夫斯基(Zavitkovski)等人发现，叶面积的扩大与施肥、灌溉和除草等措施有关，在无性系之间也是各有特点的。

最近，光合速率被设计用来评定某一生态系统利用和贮存太阳能的效率。根据一些测定，自然界的能量效率限制在5.5—8.0%之间，但实际能量转换水平似乎很低。在温带，如果杨树林每公顷年产量为8吨木材（干重），其光合效率仅为0.57%；如果每公顷年产量为20吨木材（干重），其光合效率约为1.5%。威斯康星州的研究表明，在杂交杨人工林内，太阳辐射的3.7%可能被转换。

（四）土壤水分。赫西奥（Hsiao）总结了代谢作用对水分亏缺的敏感性，演绎出随水分亏缺加剧植物变化的次序；法默（Farmer）比较了水分供应很好的和水分亏缺的美洲黑桤，发现它们有明显不同的反应，他认为耗水效率是受遗传控制的。在控制的环境下对耗水量与生物量积累的研究表明，水分利用效率、蒸腾和根系穿透等特性，在各无性系之间有明显的差异。

### 三、遗传改良

树种可以通过育种改良，变得更适合于能源的要求。实际上，生长和生物量的各种特性的遗传改良有很大潜力。卢曼（Luman）指出，北美能源林的生物量生产力每年每公顷为12—30吨（干重），在25年内可期望此产量增加一倍。在育种战略上，强调新材树种的特殊要求（农用林业和社会性林业的经营，短轮伐期、高产及生物量质量），并注意杂交、无性系化和生物技术的应用，提高生物量质量的育种，抗寒和抗旱育种。目前，广泛用于能源林的杂种有：*populus × euramericana*、*P. interamericana* and *Salix aquatica gigantea*。

选择无性系也是很多国家应用的技术，如瑞典林业能源计划中有一项目，就是从灌木和自然种群中选择无性系。

人们关注的另一项技术就是基因拼接。人们希望将新基因合入育种材料和选择的无性系，以达到抗寒和提高固氮能力。这样树种的遗传改良就能不断地提高树木的价值，使之变成太阳能转换器。

### 四、营林技术

为了获得最高生物量产量，各国开展了能源林的密度和短期轮伐的研究。

栽培密度一般认为，1×2米到4×4米的株行距适于一般短期轮伐的能源林；在很肥沃的土壤上，株行距可宽些，以便头2—3年进行农林间作。超短轮伐期的株行距由0.3×0.3米到1×2米。

短轮伐期研究报道较多的是美国、瑞典和日本。美国能源部在1978年开始了一个培养短轮伐期萌芽林的研究项目，目的是能研究出一种营林体系，以得到在燃料市场上有竞争力的能源生物量。根据382项研究所得资料，短轮伐期经营的能源林平均生产力为每年每公顷5—6吨。一般认为，在11种短轮伐期经营方式中，未来的生产力可提高20%。此外，营林体系的完善化还能使生产力提高25%。为了分析短轮伐期营林体系的经济效益，还制定了一个BIOCUT微型计算机基本模型。瑞典运用农业技术加快矮林及作物的生长，进行短轮伐期生产的遗传性选择。日本研究了不同轮伐期对山毛榉萌生林更新后树种结构及生长的影响。

农林间作也是一些国家采用的技术之一。如美国南方在造林初期的2—5年中，林地中间种玉米和高粱，往往能收回造林的成本；智利的居民烧去采伐残余物，然后在迹地上种小麦，同时栽植松苗，一般可以种麦1—3年；印度把杨树和小麦、扁豆、甘蔗和土豆等间作；另外，菲律宾、肯尼亚、阿根廷和巴西等也有类似的间作。

当前,一些国家还对集约经营进行了试验研究。主要措施有施肥、除草、灌溉和防止病虫害,主要障碍是成本太高。美国的试验研究表明,杨树的发热量为197亿焦耳/公斤,价格为2.63美元/10亿焦耳。

## 五、薪材产量和能量

能源林业要研究生产过程的能量或货币的投入和产出,这就要求有一种可供比较的统一计量单位。据现有资料分析,能源林业也象能源科学一样,采用国际上通常用的物理热量单位,即英国热量单位(BTU)和燃料当量(FE),其相互变换值为 $1\text{ BTU}=0.25\text{ kcal}$ (千卡)。如果作功率变换时,则 $1\text{ BTU}=0.00039275$ 马力小时; $1\text{ kcal}=0.0016$ 千瓦小时。据报道,1克气干木材的燃料当量是 $4\pm 0.5$ 千卡,1克木炭的燃料当量是7.1千卡,1克煤的燃料当量是6.9千卡,1克石油的燃料当量是11.04千卡。据测试,火炬松林木的各组成部分,每磅干重的热量值分别为:木材8,600BTU;针叶8,900BTU;树皮8,900BTU。

薪材产量及能量的研究,是每个要发展薪炭林的国家必不可少的内容,主要包括不同林分的薪材量,不同立地、不同密度、不同管理和不同树种的薪材量,单株树的茎秆、枝梢和叶片各自的产量及热值,各树种不同年龄的木材含水量和热值变化等。美国研究阔叶林能量时得出,树木不同部位总热值的次序为树叶>树干>枝条>树皮;其次是采伐剩余物的产量研究,这种剩余物的数量是惊人的。在法国,从原木到成品,剩余物占28%,枝丫和梢头尚未计算在内;苏联每年仅树皮一项合1,360万吨标准燃料。1972年全世界共产树皮3.19亿立方米。

在能源林研究中,既有常规的材积或重量计量的产量预测,也有换算成热量值或燃油当量的产量预测。

七十年代后期,世界银行援助杆材—薪材方案,对8个国家按不同树种、不同轮伐期和作业方式所作的产量预估,分别为每年每公顷3—10吨或7—27立方米。法国的芦竹能源林,每公顷年产干物质25吨,相当于燃油当量7—8吨;巴西的人工林年产量,1980年每公顷为12.5吨,计划到1981或1982年以后,每公顷将达19—28吨;英国的杨树和桉树人工林,每年每公顷收获量预计可得干材20吨。

围绕生物产量研究的另一内容,则是投入与产出的分析,即生产和采伐的能量投入与生物量能量产出的比值。美国南部栽培的火炬松人工林,每吨成本为24美元左右,东南部培育的阔叶林,每吨(干重)计划成本为20—34美元。据美国南部的研究结果表明,40—50年轮伐的天然栎松混交林,经营过程中每公顷的投入量为1,100万千卡,每公顷收获量为11,380万千卡;25—30年轮伐的火炬松人工林,每公顷投入量为2,043万千卡,每公顷收获量为23,280万千卡。按此算得的产出与投入的比值,分别为9.0和9.4,人工林仍略高于天然林;如换算为货币,则人工林每美元的投入可获取5,457千卡。

## 六、木材能量的利用

木材能量的利用,是生物质能开发的重要部分,各国都非常重视。概括起来,木材能量利用的方式可分为直接燃烧和加工转化产生第二代燃料的利用。

第二代燃料又有固态(木炭)、气态(燃气)和液态(甲醇和乙醇)之分。从降低运输成本的观点出发,在木材能量的固态利用方面,着重研究木材的炭化效率。据巴西的研究,从1980年1月,每立方米木炭需要干木材0.67吨,到1983年12月下降为0.56吨,并期望到1986年或1987年

降为0.50吨。据巴西分别按木材和木炭的不同成本计算，运输距离超过180公里时，木炭的总成本比木材低。以此为界，运输距离越远，木材总成本高于木炭的差距越大。法国一家工厂利用锯屑生产颗粒状锯屑燃料，这种燃料的热值显著高于薪材，生产成本也低。据计算，这种颗粒锯屑燃料每兆卡的成本为0.15法郎（1法郎约合人民币0.6元），而燃油则为0.27法郎。泰国将木屑压缩后再热解制成的炭，当地称为“炭棒”，每袋（3公斤）售价0.4美元，热值7,530大卡/公斤。

直接燃烧的利用，是自古以来沿用已久的基本方式，目前除用于生活炊事和取暖以外，还作为工业能源。近年来，美国试制了用木材做燃料的燃气轮机。北美西海岸9,000公顷的桉木人工林能生产5万人口的城市所需的电力；西德也有类似的木材发电站。

## 七、对能源林的评价

不论发展中国家或工业化国家都已充分认识到，人工林在能源供应上的巨大潜力。现已清楚地看到能源林有许多优点：它形成国内能源，可保证供应，费用也稳定；它是可再生能源，能够不断地改良；因轮伐期短其生产类似经济树种，在地方上可利用撂荒地或边远的土地发展能源林；随需要的变化，能源林地区也可变动，也可放置不采伐，它有水土保持等生态效益。

传统的森林经营与能源林有所不同，后者轮伐期短，经营强度大，利用遗传改良的苗木及产品形式也不同。对于许多有传统经验的林学家来说，在2—10年这样短的轮伐期内以生物量的形式来生产木材，是一种新的思想。

能源林的用途不仅限于能源，对生产小径材和各种用途的纤维也很适宜。关于能源林的知识 and 经验对林业发展有很好的影响，将使森林经营迅速提高一步。

树木遗传改良，生物因素和栽培技术对获得最佳生长和最大产量是同样重要的。由于能源危机和人们认识到能源林可能起的作用，能源林有关研究和技术开发得到日益增强的巨大支持。国内国际协作项目和研究组合提供了资料和栽培技术，这将很快地使能源林的经营和产量得到显著的提高。

能源林与石油、煤和核能比较，是安全得多的能源，木材的二氧化硫（SO<sub>2</sub>）含量极低，环境污染问题容易处理。

虽然能源林业发展很迅速，但由于能源林的研究和发展时间短，再加上树木生长周期长等原因，目前有关能源林研究的报道还不多，研究的深度和广度都不够。正因为如此，我们认为，有必要将现有国内外资料加以概述，以期对我国能源林的研究和发展有所帮助和促进。

### 参考文献

- [1] Brown C.L.: Forests as Energy Sources in the years 2000, J. For., 1976, 74 (1), 7—12.
- [2] Fege A.S. Energy Farms for the Future, J. For., 1979, 77 (6), 358—361.
- [3] Jeffery Durley: Selection of Species for Fuelwood Plantations, The Comm. For. Rev. 1980, 59 (2), 133—147.
- [4] Daniel L.C: Fuel Values of Chemically Deadened White Oak and Basswood Trees, For. Pro. J., 1980, 30 (8), 38—40
- [5] Richard P. Fuelwood Production Utilizing Pinus elliottii and Sewage Sludge Fertilizer, For. Eco. and Man., 186, (16), 95—102.

- [6] Poynton R.J.: Tree Species for Fuelwood Production in South Africa, *Sou. Afr. For. J.*, 1980, (131), 18—21.
- [7] Salazar R.: Firewood Yield of Individual Trees of *Guazuma ulmifolia* lam. in Pastures in Hojancha, Guanacaste-Costa Rica, *Com. For. Rev.*, 1994, 63(4), 271-278.
- [8] S.D.Khanduja: Short Rotation Firewood Forestry on Sodic Soils in Northern India—Research Imperatives, *Ind. J. For.*, 1987, 10(2), 75—79.
- [9] H. W. Anderson et al (郑世锴摘译): “温带能源林”《林业文摘》, 1987, 第2期第1—6页。
- [10] 陆显祥: “能源林业的动向”, 《世界林业研究》1988年, 第1期第43—48页。
- [11] World Bank……: “1987—1991年热带地区薪炭林和农田计划”, 《林业文摘》, 1987年第5期

## The study and development of energy forest in the world

Wang Youke

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation  
under the Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Conservancy)

### Abstract

In this paper, according to the foreign and native results published in recent years, the study and development of energy forest in the world was introduced on the firewood consumption and development of energy forest, biological basis, genetic improvement, use of wood energy. In the end, the energy forestry was appraised.

(Continued from page 44)

## An analysis to the combined factors of topography and lithology in the gravitational erosion of Loess Plateau

Zhang Xinbao Chai Zongxin Wang Yangchun

(Department of Soil and water Conservation in the Chengdu Institute of  
Mountain Disaster and Environment, Academia Sinica)

### Abstract

The grievous gravitational erosion on Loess Plateau is the major erosion type of the region. The paper, with the quantitative geomorphological method, having analysed the topographical factor in gravitational erosion, raised the concept of topographical factor value, worked out the isograms of regional height facing vacancy for the area and the topography factor, proposed topographical index of gravitational erosion strength under different combining condition of lithology, it also explores the regional nature of gravitational erosion strength.