

中国竹类生物质能源开发利用及前景展望

吴志庄^{1,2}, 夏恩龙³, 王树东¹, 钟哲科¹

(1、国家林业局竹子研究开发中心, 杭州310012; 2、北京林业大学生物科学与技术学院, 北京100083; 3、国际竹藤中心, 北京100102)

摘要: 目前世界面临着能源短缺和环境保护的双重压力, 大力开发生物质能源是实现经济社会可持续发展的必然选择。文中对竹类植物作为一种全新的可再生能源资源的开发现状、利用途径进行探讨, 分析了在我国发展竹类生物质能源具有资源丰富、土地充足、市场巨大、政策支持等优势。同时针对竹类能源产业化所面临的问题, 提出竹类生物质能源发展的对策, 并展望竹类能源产业的发展前景。

21世纪人类面临着能源问题的严峻挑战, 全球能源政策正进行着决定性的转折。生物质等可再生能源正在逐步替代矿物能源, 不但能源短缺的国家如此, 而且能源丰富的发达国家也在悄然调整能源政策, 大力研究开发新型清洁能源, 促进能源消费结构从单一化向多元化转变, 走多能互补、综合利用的道路, 人类正在开始步入可再生能源时代。我国是一个化石能源十分短缺, 但生物资源十分丰富的国家。生物质能具有清洁、高效、安全、可持续等特点, 因此, 调整能源发展战略, 积极发展生物质能是保障我国能源安全、改善生态环境、增加农民收入“一举三得”的重要战略举措。

中国是世界上竹类资源最丰富的国家, 有竹类植物39属500余种, 被公认为“竹子王国”。与其他植物相比, 竹类植物具有品种多、生长快、再生能力强、一次造林成功即可持续经营利用等特点, 而且竹类植物的灰分含量较低、纤维素含量高, 非常适合做生物质原料。另外, 竹材生产加工中有60%为加工剩余物, 如何充分有效地利用这些废料, 已成为竹材综合利用的一个紧迫问题。以竹子为原料进行能源化利用, 可为生物能源产业提供新的原料, 也为竹业的发展开拓新的途径和增长点, 是当前值得探索的一个重要问题。本文对此相关问题进行探讨, 以期为我国竹类生物质能源产业的发展提供参考。

1我国竹类生物质能源开发利用概况

1.1竹类能源利用途径

竹类植物是一种具有多种用途的可再生生物资源, 如何充分利用丰富的竹种资源日益被人们所关注。目前, 竹类生物资源的利用方式主要有以下2种, 一种方法是以竹类为原料生产生物乙醇, 另一种则是以竹类为原料进行发电。

利用竹类生产生物乙醇主要有2种方法。其一是利用一些特殊竹种, 如酒竹 (*Oxytenanthera braunii*) 产酒, 勃氏甜龙竹 (*Dendrocalamus brandisi*) 含糖率高可产糖产酒。据报道, 酒竹的天然伤流液中含酒精和多种微量元素, 在原产地每株伤流液达1kg/d, 每棵竹子合计可产酒30kg, 天然发酵后可形成酒精含量高达20%以上的液体, 成为植物资源利用中最奇特的亮点。勃氏甜龙竹、马来甜龙竹 (*Dendrocalamus asper*) 等热带丛生竹种其竹笋的总糖含量最高达24%以上, 具有进一步转化为生物乙醇的潜在利用价值, 也是天然可资利用的优良竹种。利用竹子生产生物乙醇的另一种方法是将竹质纤维转化为乙醇。

竹材主要成分是纤维素、半纤维素和木质素, 平均含量分别为50.38%, 23.86%, 25.45%, 是一类高纤维的植物。其中, 毛竹嫩材的纤维素含量高达75%, 是生产生物乙醇的优质原料。

利用竹加工剩余物发电是竹类可再生能源利用的另一个重要途径。竹类发电技术类似于用稻壳发电, 即将竹子干燥后再热解气化, 然后用产生的可燃气体来发电。研究表明, 竹材的平均燃烧热值达到19331.26J/g。其中, 毛竹 (*Phyllostachys heterocladica pubescens*) 热值为18996.6J/g, 稍低于木本植物, 但高于多数草本植物和作物秸秆, 是生产生物能源的优质原料。而且, 以竹类为原料发电还具有对环境污染少、发电稳定、热解后剩余的竹炭或竹灰具有较高的应用价值和经济价值等优点。

1.2竹类能源研究开发现状

长期以来, 对竹类的研究利用涉及材用、笋用、造纸等方面。竹类生长快, 适应性强, 一次种植即可永续利用。另外, 竹类生物量较高, 如版纳甜龙竹生物量达141598kg/hm²

，可保证竹类能源产业所需原料的稳定供应。当前利用竹类生产酒精和发电，发展新能源的研究在国内外还处于探索阶段，也少有报道。虽然有学者提出了一些具有能源开发潜力的竹种，但对于如何判断这些竹种具有能源潜力则未讨论，对竹种的能源特征也不清楚。国内仅林益民等对华安竹种园46个竹种的竹叶平均干重热值、灰分含量等指标进行了测定，并与不同植被类型的干重热值进行了比较（表1）。结果表明，竹类植物叶的平均干重热值（17672.1J/g）高于巴拿马的热带湿润森林（15614.7J/g）和美国犹他州的荒漠植被（17070.7J/g），而低于其他植被类型叶的平均干重热值。美国学者2000年对竹类的能源潜力进行了探讨，认为竹材热值高、灰分含量低，是一种潜在的能源植物。日本静冈大学通过研究则将竹纤维素乙醇转化率提高到75%，印度和巴西对竹类燃烧气化发电的潜力和技术进行了研究。目前，印度作为世界上第2大产竹国，已在境内建立了第1家用竹类发电的发电厂。

表 1 不同植被类型叶的平均干重热值

植被类型	取样地区	种数	干重热值/(J/g)
热带湿润森林	巴拿马	4	15 614.7
荒漠	美国犹他州	24	17 070.4
季风常绿阔叶林	广东鼎湖山	8	20 628.4
针阔混交林	广东鼎湖山	8	21 337.9
甜槠林	福建武夷山	1	19 520.0
绿竹林	福建华安	1	17 124.0
竹类植物	福建华安	46	17 672.1

当前我国纤维乙醇能源技术基本成熟，虽然还存在一定的技术缺陷，但已经进入了边研究边产业化的阶段。竹类生物质资源的开发利用是新世纪可持续竹业发展的一个重大课题，我国在竹类资源的能源利用方面尚处于起步阶段，尤其在对一些特殊竹种的生物质能源的系统研究上尚处于空白。国家林业局竹子研究开发中心近年来从国外引进了1种十分独特的竹种——酒竹，目前已对酒竹进行了引种扩繁，并进行了生理生态等方面的研究，为该竹种的开发利用奠定了基础。

2中国发展竹类生物能源的有利条件

2.1广泛的分布、丰富的资源是竹类能源发展的物质基础

中国地处世界竹类分布的中心，竹类植物资源十分丰富，其种类、面积、立竹量和采伐量均居亚太地区之首，世界前茅。根据我国第7次森林资源清查，现有竹林面积538万 hm^2 ，占全世界竹林面积的30%，且每年以11.7万 hm^2 的速度在增长。竹类适应性强，适生于不同的自然地理条件，有适生于热带地区的合轴丛生型竹种，也有适于亚热带地区的单轴散生型竹种，以及高海拔区耐寒性强的复轴混生型竹种。我国竹类植物主要分布在南方13个省区的丘陵地区，竹林面积在1万 hm^2

以上的县有130多个。福建、浙江、江西3个产竹大省竹林面积均已超过66.7万 hm^2

，已成为森林资源的主要组成部分。目前，我国竹林蓄积量约达1.4亿t，每年可采伐毛竹6亿根、杂竹300万t。由于竹加工材的利用率较低，不足40%，形成了大量的加工废弃物，是竹纤维乙醇的良好原料。因此，竹种的多样性为竹类

生物质能源的原料提供了多样的选择性，而丰富的资源则为竹类能源产业的发展提供了坚强的物质保证。

2.2 广阔的市场需求是竹类能源发展的内在动力

随着世界各国对能源和环保问题的重视，大力开发和利用新能源已成为实现经济社会可持续发展的必然选择。中国是一个能源非常短缺的国家，目前中国能源的总储量虽然占世界能源总储量的3.9%，但如果按人均计算则远低于世界平均水平，仅及世界平均水平的19.4%，人均煤炭、石油、天然气资源量分别为世界平均水平的21%、10%和2.5%。据英国石油BP公司2003年世界能源统计报告，中国的石油、煤炭、天然气储采比分别为15年、82年、46.3年，能源短缺已经成为制约我国经济发展的重要因素之一。2004年我国进口原油和成品油突破1亿t（达到1.4亿t），对外依存度超过40%。2010年我国石油消费总量已达4亿t，而国内生产能力仅为1.6亿~1.7亿t。到2050年我国一次能源供给能力为30亿~37亿t标准煤（包括除水电外的可再生能源）；按届时人口16亿估算，国内人均能源供应量将达2t~2.3t标准煤，仅为2000年经济合作发展组织（OECD）国家人均能源消费量的30%~35%。人均能源不足将长期制约我国走向繁荣富强，严重影响经济发展和国家安全。从长远来看，我们只有通过节约能源、开发新的可再生替代能源才能保障能源安全。因此，开发竹类生物能源具有广阔的市场前景。

2.3 广大的山区和荒山荒地为竹类生物质能源发展提供了广阔的发展空间

中国是一个人口大国，人均耕地不到0.1hm²。为维护国家粮食安全，必须保护基本农田。但是中国有广大的山区和林地，据国家林业局统计，目前我国尚有宜林荒山荒地5400多万hm²，边际性土地近1亿hm²，这些土地资源为竹类能源林的发展提供了广阔的发展空间。另外还可利用山地及四旁地、荒山荒坡、溪谷河岸等不适宜粮食种植的土地种植能源竹，如果结合退耕还林工程、防护林工程建设大力发展竹类能源林，将有助于农村产业结构调整、增加农民收入、推进小康建设进程、保护环境、创建环境友好型社会，对我国生物质能源的全面开发利用具有重要的示范和推进作用。

2.4 现有政策导向是竹类生物质能源发展的外在动力

为了全面促进我国生物质能源的开发和利用，2005年2月28日《中华人民共和国可再生能源法》通过并实施，以法律的形式明确了对生物能源发展的政策支持和法律保障。国务院有关领导和国家计委、发改委、经贸委、科技部等部委对生物质能源产业化高度支持，将发展生物质能源列入“十一五”发展纲要并制定了产业发展方向。2006年财政部、发改委、农业部、国家税务局、林业局联合发布了《关于发展生物能源与生物化工财税扶持政策的实施意见》，进一步制定了具体的财税扶持政策。2007年《可再生能源中长期发展规划》中提出要重点发展生物质发电、沼气、生物质固体成型燃料和生物液体燃料。

2007年国家林业局《林业发展“十一五”和中长期规划》也提出要建设林木生物质能源林基地，开发林木生物质高效的转化技术。可见我国政府对生物质能的政策导向，为竹类生物质能源发展提供了强有力的政策支持。

3 发展竹类生物质能源产业存在的问题与对策

3.1 存在的问题

竹类作为一种新的能源植物，具有重要的开发利用价值和潜力，但是发展相对滞后，存在许多限制因素，主要表现在：

1) 原料收集困难，持续稳定的原料供应难以保证。虽然竹类资源总量很大，但多呈零星分布，竹类加工废弃物较分散，集中困难，收集的效率低，需要专门组织劳动力去收集，而且林区的交通条件较差，运输距离较远，运输成本较高，很难保证原料的持续稳定供应。

2) 还没有专门以竹类纤维为原料的生产工艺。竹类生物质资源的利用主要以竹纤维素为主要原料，虽然目前国内对纤维素乙醇生产工艺研究很多，但是由于纤维素酶和木聚糖酶的生产成本过高以及戊糖的发酵转化效率低，使纤维素乙醇还停留在技术研发阶段。要使纤维素乙醇达到商业化的程度，需要进一步提高乙醇产率和固体废物的利用率，进行竹类能源技术开发，完善生产加工工艺。当前尚未有专门以竹类纤维为原料的生产加工工艺，从而限制了竹类生物能源的开发利用。

3) 认识不足，有关木质能源的优惠政策尚未制定。当前利用竹子生产酒精和发电，发展新能源的研究在国内外还

处于探索阶段，社会各界对竹能源的重要性和发展潜力认识不足，导致国家在实施农林生物质能源工程中存在重农业秸秆开发、轻竹木生物质利用的现象，也没有社会资金注入竹能源的研究和开发。而在政策方面，虽然我国对可再生能源高度重视，制定了一系列关于生物质能源的优惠政策，但没有针对林业生产经营特点而出台相应的政策，政策作用发挥相对较小，使得林木生物质能源发展相对缓慢。

3.2 发展对策

3.2.1 采用定向栽培新技术，实行规模经营，发展原料生产基地

当前我国竹类生物能源的开发利用还处于起步阶段，酒竹、马来甜龙竹等虽可产酒、产糖，但分布面积小，资源总量少，还无法进行竹能源的产业化生产，而且竹类资源零星分布、收集困难，难以向生产企业提供稳定的原料。因此，应开展主要能源竹种良种培育、栽培技术和经营模式研究，采用定向栽培技术，实行规模经营，发展原料生产基地，为生产提供持续稳定优质的原料。

3.2.2 加强科学研究，改进和完善生产工艺，进一步降低纤维素乙醇生产成本

目前还没有开发出具有自主知识产权且成熟的竹纤维素乙醇生产工艺。要把竹类资源转变成乙醇燃料，还必须研究改进和完善生产工艺，解决生产中预处理成本过高等关键问题。需要通过技术集成，降低每个单元操作的工艺成本和运行成本，完善纤维素乙醇的制备工艺，以全面实现纤维素乙醇生产的产业化。

3.2.3 提高认识，制定相关的优惠政策，加速生物乙醇产业化的步伐

国外的成功实践表明，生物乙醇产业的发展离不开政府强有力的支持。凡是生物能源产业取得发展的国家，都实施了相应的国家产业发展计划，制定了相配套的产品质量标准，给予生产者、用户或销售商以可观的经济激励政策，并由此带来了可观的能源、环境和经济效益。为了促进我国林木生物质能源的发展，需制定针对林木生物质能发展的专门政策，加大资金补贴力度。鉴于竹类生物质能具有较高的生态效益和社会效益等特点，尤其是在环境问题上作用大于农业等其他行业，理应获得更多的资金支持，以鼓励竹类生物能源的生产、销售和消费，从而促进其产业和市场的迅速拓展。

4 我国竹类生物质能源开发利用前景展望

虽然当前发展竹类生物质能源还存在不少问题，但随着世界能源危机的不断加剧，不断地开发可再生能源来替代有限的石化能源，已是当今人类社会面临的一项重大而急迫的任务。我国从上世纪末开始发展生物燃料乙醇产业。“十五发展纲要”已明确提出发展各种石油替代品，并将发展生物液体燃料确定为新兴产业发展方向。加快我国生物乙醇的研发和应用是新时期赋予我们的千载难逢的发展机遇。“十五”期间，在试点的4个省燃料乙醇年产量达到102万t，与900万t的普通汽油混合后的生物汽油占全国消费量的1/5以上。由于我国燃料乙醇的生产是以陈化粮为原料，生产成本难以降低，原料供应没有保证，且依赖国家财政补贴。从长远发展来看，我国原油依赖进口和粮食短缺问题会更加严重，发展以生物质为原料制备乙醇的产业已势在必行。

根据国务院《可再生能源中国石油石化中长期发展规划》，到2010年增加非粮原料燃料乙醇年利用量200万t，到2020年生物燃料乙醇年利用量达到1000万t。当前我国已成为世界第3大生物乙醇生产消费大国，而且国家还出台了一系列政策，从重大意义技术产业化示范补助、生物燃料原料基地财政补助到免征生产企业消费税等税收优惠，扶持非粮乙醇有序快速发展。竹类具有生长快、生物量高以及品种多、资源丰富、分布广泛等优点，可选用特用竹种进行能源开发和生产燃料乙醇，还有不争粮、不占用耕地、保护环境等特点，体现了我国生物质能源的政策走向。目前国内外在纤维素乙醇生产工艺领域研究很多，但竹类纤维转化成葡萄糖的转化率一般只有2%。日本《每日新闻》报道，最近日本静冈大学研发出将竹子研磨成50 μm大小的超细粉末的新技术，并选择分解效率高的微生物进行分解，使转化率提高到75%。相信在不远的将来会研发出低成本、高产量的纤维素乙醇生产工艺，从而推动纤维素乙醇的产业化进程。可以预言，化石能源总有一天会用尽，而太阳能和风能等其他能源生产及利用又难以控制，随着世界能源需求持续走高，生物液体燃料产业的发展将进一步加速，竹类燃料乙醇产业必将成为竹业发展的又一个增长点，发展潜力巨大，应用前景广阔。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/115021.html>