



加拿大拥有 52.05 亿亩森林（占全球森林面积的 9%），是世界上人均生物量最多的国家。依托丰富的森林资源，加拿大正积极推进生物经济战略，利用机械、热化学等工艺将林业剩余物（采伐与加工副产品）转化为高附加值的生物质材料、能源和化学品，目标是成为全球生物基化学品出口强国。

01

● 加拿大森林生物精炼市场前景和产业方向 ●

据世界可持续发展工商理事会估计，2030 年全球循环生物经济市场规模将达 7.7 万亿美元。在加拿大，生物基化学品市场预计在 2020-2027 年间增长 7%。

作为生物经济战略的基础支撑产业，加拿大森林生物精炼产业聚焦高值化、低碳化和全链条整合，旨在将森林资源转化为高附加值生物基产品，同时推动传统林业企业转型升级。其重点产业方向是高值生物基材料与化学品、生物燃料和生物能源、生物复合材料、医药辅料、食品添加剂等。

部分代表性生物质精炼产品

产品及来源	特性和用途
人造丝，来自木质纤维素。	柔软、吸水性强，能模仿丝绸、羊毛、棉和亚麻的手感质地，用于服装、湿巾等日用品。
硝酸纤维素，纤维素与浓硝酸盐/浓硫酸反应制成。	快干易燃，强度高，应用于指甲油、皮革饰面、木材清漆和印刷油墨等。
羧甲基纤维素，纤维素与氯化乙酸反应制成。	高粘度、亲水、无毒和低过敏特性，可作为食品增稠剂和混合剂及日化品添加剂。
微晶纤维素，纤维素水解、纯化结晶制成。	具有良好稳定性，广泛用于制药、食品、化妆品等行业。
羟乙基纤维素，纤维素与环氧乙烷反应。	亲水性高、粘合性低，用于低飞溅涂料、化妆品增稠剂。
醋酸纤维素，纤维素与乙酸反应制成。	具有出色光学透明度，可用于制造 LCD 屏幕内的偏振膜等。

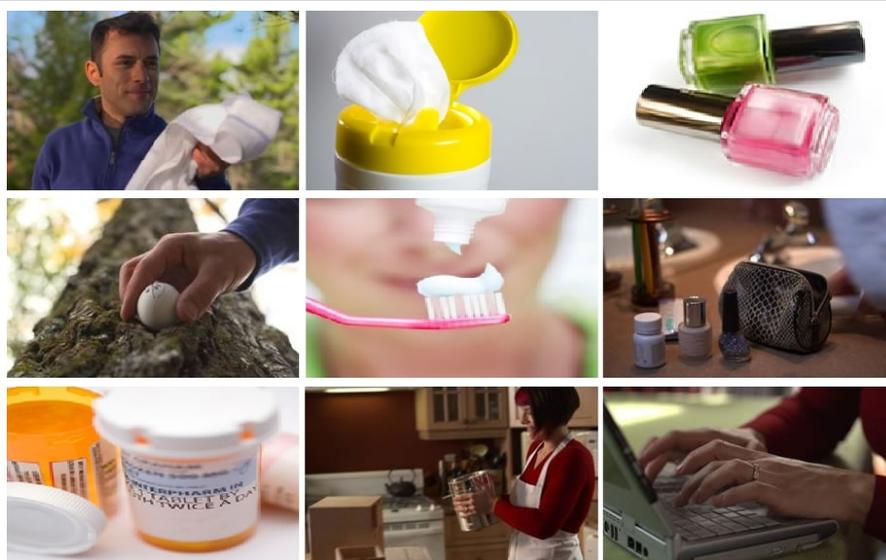


图 1 由生物质精炼化学品制造的常见家居用品

图源：

<https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/forest-industry-trade/wood-products-everywhere-everyone>

02

● 森林生物质精炼产业政策支持 ●

加拿大政府通过分阶段的资金支持计划，系统推进森林生物质精炼技术创新与商业化。**研发阶段**，2006年推出变革性技术计划（TTP），资助生物技术、纳米技术等前沿基础研究。**中试阶段**，2009年在TTP框架下增设变革性技术中试示范计划预算（TT-PSD），专项资助生物质采集与转化技术、纳米材料应用技术和新一代林产品突破性技术的中试验证。**产业化阶段**，2010年设立林业转型投资计划（IFIT）预算，重点支持林业前沿技术在林业生产部门的示范应用和产业化推广。

加拿大联邦资助计划还包括森林创新计划（FII）、木材绿色建设计划等（WGB），构建覆盖全创新链条的资助体系以加速技术研发和产业升级进程。

03

● 加拿大生物质精炼领军企业与技术案例 ●

根据加拿大林产品协会（FPAC）《2023年生物精炼产业报告》，加拿大生物质精炼产业中，在现有木材加工厂增设生物质精炼生产线的模式占据更大行业比重，如西弗雷泽木业（WestFraser Timber）增设木质素生产线。同时，新建专业精炼公司的发展正在加速。

1. LignoForce™ 木质素回收系统：高质量木质素生产工艺

木质素是植物细胞壁的天然聚合物，占木材干重的 20-30%。目前主要用途为工业用木材粘合剂、木质素碳纤维、塑料增强剂，还可用于混凝土、石膏板等行业的分散剂。未来可逐步在热塑性塑料、沥青和碳纤维行业中替代石油基化学品。

由林产品创新研究院（FPInnovations）和诺拉姆工程公司（NORAM Engineering）联合开发的 LignoForce™ 系统，是一种从软木、硬木或桉树造纸黑液（black liquor）中回收高纯度木质素的专利技术，其特点是采用二氧化碳酸化法从造纸黑液中提取高纯度木质素，其优势是减少 20%-40% 硫排放，降低了投资成本。2016 年，西弗雷泽木业公司在其艾伯塔纸浆厂推出了第一台工业 LignoForce™，加速了该公司多元化转型。如今，该工厂每年可生产 10500 吨木质素，以满足不断增加的用户需求。

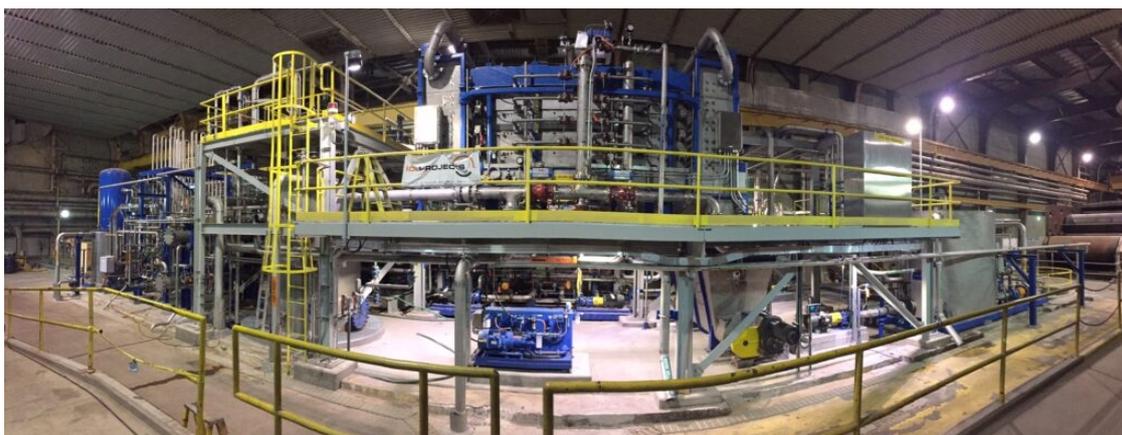


图 2 LignoForce™ 示范工厂

图源：<https://web.fpinnovations.ca/lignin-from-black-liquor/>

2. 生物能源：生物质热化学转化技术

通过气化和热解这两种热化学转化工艺将木质生物质原料转变为可利用形态，应用于生物燃料和生化制品等产品，是加拿大当前最具发展前景的生物质热化学转化产业，它生产直接可替代化石能源的燃料和电力，并得到国际碳政策的支持，是未来生物能源增长的关键。

一是气化技术。该技术在 700℃ 以上高温下，将木材剩余物与氧气或蒸汽反应，转化为富含氢气和一氧化碳的“合成气”。相比传统燃烧发电，该技术优势在于应用范围广和材料回收率高（达 90%），可直接用于燃气发电，或进一步合成甲醇等燃料及高附加值化学品。典型案例如 Enerkem 公司开发的鼓泡流化床气化装置，其位于艾伯塔省的生物精炼厂年处理 4 万吨废弃木材，累计生产生物燃料超 500 万升。温哥华 Nexterra 公司研发的固定床气化系统，利用木材剩余物生物质发电，并于 2010 年成功应用于不列颠哥伦比亚大学（UBC）温哥华校区热电联供系统，实现 3 兆瓦供热和 2 兆瓦发电，同时年减排约 4500 吨。

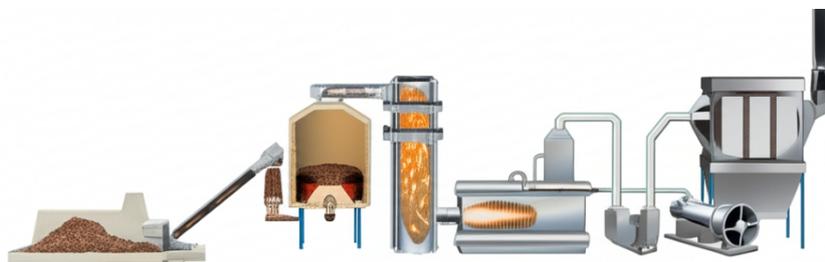


图 3 Nexterra 气化系统配置

图片来源：<https://www.nexterra.ca/files/pdf/2014-Corporate-Profile.pdf>



图 4

Nexterra 公司
生物质气化系统

图源:

https://www.nexterra.ca/files/pdf/2014_Corporate_Profile.pdf

二是热解技术。通过无氧环境下的中温裂解（350-500℃）将木材剩余物转化为生物油和生物炭。其中生物油可作为液体燃料或进一步精炼成食品香精和树脂原料，生物炭除用作生物燃料外，还可加工为活性炭用于过滤。典型案例如渥太华 Ensyn 公司专利的 RTP®技术，以 70-75%的高转化率将干燥木材剩余物转化为生物油，副产品为可燃气体和焦炭，可直接用于工厂内部能源供应。Ensyn 公司应用其核心技术已逾 30 年，设计投产 15 套适用于不同原料、规模和应用的 RTP 设施，其中 6 套设施正处于商业运营阶段。目前 Ensyn 正提升产能以满足市场对生物燃料日益增长的需求。

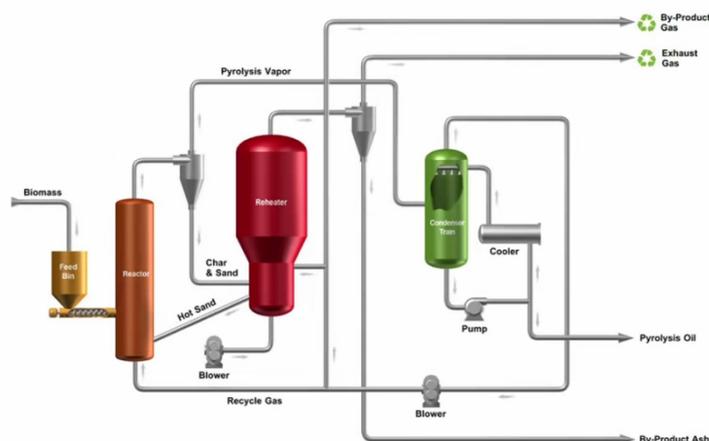


图 5 Ensyn 公司热解技术 RTP®系统示意图

<https://www.ensyn.com/overview.html>

04

● 对我省林业的启示 ●

生物制造将是我国未来优先发展的方向。发展绿色、低碳与可持续的产业技术体系，破解制约经济发展的资源环境瓶颈，是我国面临的重大历史任务。我省未来生物质产业的重点发展方向，就是要着力构建从生物质原料种植（采摘）、提取与合成、天然生物质与合成物二次精深加工以及生物柴油、食品、药品、化妆品、保健品、洗护产品销售的上下游一体完整供应链，探索推进林业生物质能源生产基地、林业生物制药产业基地建设，不断扩大前沿新兴产业的产值规模与市场影响力。

一要扶持发展林源生物制药产业。利用食药花卉、林下中草药、油茶籽、药材树木、药材树果等原料优势，培育本土企业，引进国内外先进制药企业、保健品生产企业，覆盖原料药、医药中间体、技术开发等领域，高起点、高标准推进林业生物制药产业发展，缩小与发达国家差距。

二要探索推进林业生物质能源产业化。加快高效回收利用竹、木材加工剩余物的技术研发，加快木质颗粒燃料产业发展，推进林业“三剩物”、废弃木质材料的能源化利用。扶持龙头企业建设山苍子、无患子等生物质能源林基地，加强木质纤维素乙醇生产等关键技术研究，提升生物质能源产出效率。推进基于木质纤维素的太阳能电池板和生物质燃料电池等新能源产品研发、试验。

三要拓展和构建林业循环经济复合产业链。推进林竹种植与加工、生物质能源以及旅游等循环链接，形成高效的跨企业、跨林户的循环经济联合体。构建林、果、畜禽、茶、加工、能源、物流、旅游一体化，和林业一二三产业联动发展的现代复合型循环经济产业体系，重点发展林板一体化、林能一体化，发展森林生态旅游。

参考文献：

<https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/forest-industry-trade/forest-bioeconomy>

<https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/forest-industry-trade/bio-pathways-project>

<https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/forest-industry-trade/wood-products-everywhere-everyone>

<https://mission-innovation.net/missions/integrated-biorefineries-mission/>

<https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/forest-industry-trade/wood-products-everywhere-everyone>

<https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/forest-programs/investments-forest-industry-transformation-ifit>

<https://web.fpinnovations.ca/>

<https://web.fpinnovations.ca/lignin-from-black-liquor/>

<https://enerkem.com/projects/edmonton>