

日、美藻类燃料开发最新进展

李 缨

(中国科学技术交流中心, 北京 100045)

摘 要: 日、美最近的研究表明, 藻类生物燃料产油率高, 可在非耕地、非饮用水中生长, 并能够减少温室气体维持碳平衡, 是非常理想的环境友好型新一代燃料。藻类生物燃料, 有可能替代 17% 的石油, 成为未来新燃料的主角, 并有可能带来一场能源和环境的技术革命。通过介绍日、美藻类生物燃料实用化的研究近况及未来前景, 旨在建议我国加大对相关领域研究开发力度, 以解资源、环境两大制约发展的瓶颈问题。

关键词: 藻类; 生物燃料; 日本; 美国

中图分类号: F431.362; F471.262 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.04.002

藻类是最原始的生物之一, 具有分布广泛、油脂含量高、环境适应性强、生长周期短、大量吸收二氧化碳等优点, 是自然界最接近天然石油生成机理的物种。日、美科学家研究发现, 藻类的产油效率大大高于已知的玉米等其他物种, 规模化藻类生物燃料的生产可以大幅度地降低成本, 使得制约生物燃料实用化的最大瓶颈——成本问题, 有望获得突破。日本的研究机构认为, 这项研究的最新进展也有可能使“人类从开采石油的时代迈向生产石油时代, 甚至使得日本也能成为产油大国”。最近藻类生物燃料技术上的突破也在美、日之间掀起了新一轮的藻类生物燃料开发竞争热潮。

1 筑波大学渡边信教授的藻类研究

日本藻类产油方面的研究首推筑波大学渡边信教授。他领导的研究组从 40 年前就开始了藻类产油的研究。经过多年的采样, 最近渡边研究室在冲绳采集到 2 种极为重要的珍贵藻类, 其发现和培育为以藻类提取生物石油技术的发展奠定了科学基础。

1.1 *Botryococcus braunii*

Botryococcus braunii 是属绿藻类的一种淡水微藻, 直径约为 10~20 μm , 通过光合作用可以产生

碳氢化合物油脂。这种藻类藻细胞可将分泌的油脂排出细胞体外, 在弱光下 (阴雨天也能增殖) 及 40 $^{\circ}\text{C}$ 的高温环境下也能迅速生长。渡边实验室通过人工提纯技术, 使得这种藻类具备: 良好的“增殖特性”和“产油特性”, 油脂含量达到干细胞的 70% (质量分数), 和已有的藻类相比, 产油率提高 10 倍以上, 是世界上至今已发现的含油量最高的单细胞藻类; 在易于吸收二氧化碳的碱性环境里表现出很好的增殖特性, 在一定浓度的工业或生活有机废水中可以迅速繁殖; 具有很强的抗除草剂和抗生物物质耐受力。这种特点使得可以人工控制或杀灭混入的其他杂藻, 在室外开放条件下保持藻种的纯度, 是规模化生产中必须解决的关键问题。

1.2 *Aurantiochytrium*

Aurantiochytrium sp.18 W-13 a 是渡边实验室利用“筛选法”选育的一种网状类“从属性营养”微藻。这种藻类既不需要光合作用, 又可在有机营养体内增殖, 且无需大面积土地, 是至今为止已知的产量最高的“角鲨烯油”产油藻, 其产油量可达干燥细胞重量的 20%。从高燥细胞重量产油量来看, 虽仅为 *Botryococcus braunii* 的 1/3, 但其繁殖速度极快, 在 25 $^{\circ}\text{C}$ 室温下, 倍增速度为 3 小时, 而 *Botryococcus*

作者简介: 李缨 (1953—), 男, 研究员, 主要研究方向为技术政策研究, 特别是对日本科技发展情况和政策的研究。

收稿日期: 2013-03-27

braunii 需要 6 天。因此, Aurantiochytrium 的效率大约是 Botryococcus braunii 的 16 倍, 也是世界产油藻类至今达到的最高水准。同时, 这种藻类产生的“角鲨烯油”也是一种高附加值的油脂, 具有抗氧化、镇痛、提高免疫力等多种用途。Aurantiochytrium 除了可以生产生物燃料以外, 也因其价格低廉将会成为食用油脂的重要获取途径。

18 W-13 a 4~12 天藻细胞和“角鲨烯油”含量变化情况见表 1 所示。

表 1 18 W-13 a 藻细胞和“角鲨烯油”含量变化情况

藻细胞 投放/天	含 量/(g·L ⁻¹)			角鲨烯油在生 物质中占比/%
	生物质	总油脂	角鲨烯油	
4	6.5	3.90	1.29	20
8	5.5	1.53	1.04	19
12	5.2	1.29	0.89	17

数据来源: 筑波大学渡边信教授研究室数据。

1.3 规模化培养的研究

2011 年, 日本筑波大学已完成 2t 室外闭锁实

表 2 各种作物及藻类产油量比较

作物	产油量/ [(L·ha ⁻¹)·年 ⁻¹]	生产满足世界石油供应 所需面积/百万 ha	占世界耕 地比/%
玉米	172	28 343	1 430.0
棉花	325	15 002	756.9
大豆	446	10 932	551.6
菜籽油	1 190	4 097	206.7
油桐	1 892	2 577	130.0
可可豆	2 689	1 813	91.4
棕榈油	5 950	819	41.3
微藻类 1*	136 900	36	1.8
微藻类 2**	58 700	83	4.2

注: * 微藻类 1 脂含量达到干细胞的 70% (质量分数); ** 微藻类 2 脂含量达到干细胞的 30% (质量分数)。

数据来源: 《筑波大学学报》。

根据美国可再生能源协会的统计, 至 2008 年年底, 美国已建成谷物生物燃料工厂 139 座, 在建工厂 59 座, 玉米乙醇的产能达 12 亿加仑, 实际生产近 10 亿加仑。但是, 以玉米为主题的生物燃料有明显致命伤: 受气候变动影响极大, 玉米原料供应和价格不稳定; 随着玉米燃料栽培面积的扩大, 对世界粮食市场冲击很大。为此, 很多国家已明确规

验装置, 并开始着手 100 t 室外培养装置的实验。与此同时, 筑波大学还在进行可以兼顾“城市废水处理”和“生物燃料”生产的实用化系统的开发。这种系统, 首先, 将家庭和工厂排出的有机废水中的固体物进行凝集和沉淀; 之后, 在所得到的二次处理水中投入 Aurantiochytrium, 得到一次含油藻; 然后, 在提取过油藻的二次处理水中再投入 Botryococcus braunii, 通过光合作用获得二次含油藻。

生物油提取后的藻类可以通过甲烷发酵, 生产副产品, 如家禽动物饲料。这种综合利用系统, 可以提高系统的效率, 大幅降低成本。

2 藻类生物燃料的比较优势

20 世纪 80 年代, 欧美企业曾大力发展过以玉米原料为主的生物柴油和生物乙醇; 之后又发展过纤维素原料的第二代生物燃料。藻类生物燃料被认为是第三代生物燃料。各种作物和藻类产油量比较见表 2 所示。

定禁止生产以玉米为原料的生物燃料。同时, 玉米生物燃料如无政府的高额税收等的补贴 (平均补贴 30%), 毫无利润可言。而藻类生物燃料的生产则完全不同, 不需要大量土地, 如果能找到好的藻类, 可以获得较高的效率。根据日本日经产业新闻的报道, 如果使用渡边研究室开发的 2 种代表性藻株, 理论上, 可将目前每加仑生物燃料的平均成本 800 日元左右降至 50 日元, 2 个车库大小面积的海藻和一块足球场大小面积的大豆产生的燃料相当。

另外, 由于这种藻类的成分十分接近柴油的成分, 使得转换的设备只需使用目前提炼化石燃料所用的一般设备即可。低提炼成本及培养藻类可以充分利用废液和废气、占用耕地极少这些优点, 使藻类燃料与其他生物燃料相比有着无法比拟的优越性。

3 日、美藻类生物燃料研究情况

近年来, 在筑波大学渡边信教授发现和培育成

功新的藻类鼓舞下，日本掀起了一轮藻类生物燃料开发热潮。以筑波大学、东京大学等大学，以及 JX 日矿、石川岛播磨重工等产业组成的产学研联合开

发体，与美国 Algenol Biofuels, Inc. 等一些公司展开了争夺下一代生物燃料开发的主导权。日本与美国开发藻类燃料的情况见表 3。

表 3 日、美公司开发藻类燃料状况

国别	事业联合体	使用的藻类	研究领域	应用目标
日本 美国	IHI、G>、 日本 Neo-Morgan Laboratory Algenol Biofuels, Inc.	榎本	藻类研究 大规模培养 分离提取 燃料化技术	航空、船舶、汽车
日本 美国	JX 日矿日石、日立设备技术、 日本 EUGLENA Solazyme, Inc.	<i>Euglena gracilis</i>		飞机
日本 美国	日本電装、窪田、出光産業、 日本 microwave chemistry SGI	<i>Pseudochoricystis ellipsoidea</i>		汽车、飞机、发电
日本 美国	筑波大学、DIC、丰田汽车 ExxonMobil Corporation	<i>Aurantiochtriu</i> , <i>Botryococcus braunii</i>		柴油、食用油等

目前，日本用于生产藻类生物燃料的方法主要有光合反应器（使用一些透明管道装满工厂排出的废水和二氧化碳废气混合物，管内的藻类吸收废气中的二氧化碳，用于光合作用）和封闭环路系统法（在闭合的人造水渠中进行，含有藻类的液体在其中循环，循环过程中将藻类新陈代谢所需的二氧化碳和养分引入水渠的液体中）。另外也有利用池塘、湖面等封闭水体养殖的实验，但在完全自然放养无法进行水体和温度调节，效率仍然较低。

藻类生物燃料技术开发的关键还是在于高效藻类的开发。有关资料表明，世界大约有 1 000 万种

天然藻类，现在仅发现了 20 多种产油藻株，要从海量的天然藻类中找出产油率高的优势品种需要研究人员极大的努力。为了加快藻类开发速度，一些新技术也应用到新藻株的开发之中，例如：东京大学河野重行教授利用大型加速器产生的重离子照射藻株，成功地培育出几种高速增殖新藻株；东京大学农学部冈田茂准教授利用基因重组技术开发新藻株；东大为了能够加快对藻类的解析速度，设计了专用的藻类基因解析装置，这项成果对大面积解析藻类基因和快速鉴别藻株将起到重要作用。目前，日本开发的具有代表性的产油藻类见表 4 所示。

表 4 日本开发的代表性产油藻类

藻类名称	特 点	研究单位或个人
<i>Botryococcus braunii</i> , <i>Aurantiochytrium</i>	增值速度快、产油率高	筑波大学渡边信教授
榎本藻	生物燃料的代表性藻类，增值速度快	神户大学榎本平教授
<i>Haematococcaceae</i>	较大颗粒的藻类	东京大学
<i>Pseudochoricystis ellipsoidea</i>	直径 5μm 的微藻，可以直接产生轻质柴油	海洋生物技术研究所有藏野惠秀

2009 年，G8 农业部长会议曾经通过“共同推进非谷物第三代生物燃料开发共同宣言”。这个宣言主要目的是要控制玉米乙醇等需要投入大面积耕地、农药、化肥、机械燃油获得的生物燃料，而将未来生物燃料开发重点转向“藻类”生物燃料。

为了推进藻类生物燃料的开发，美国能源厅在

2010 年发表了藻类燃料发展路线图，并投入 8 500 万美元开展基础研究，2013 年 2 月又再次投入 1 400 万美元，加大研发力度。

日本能源厅也将藻类燃料作为新能源六大发展重点之一，组成了多个产学研研发团队，加强产学研共同开发力度。日本产业竞争会议于 2011 年制定

了藻类生物燃料开发路线图, 根据这一路线图, 日本将在 2012—2014 年, 完成基础要素技术的开发; 2014—2017 年, 完成实证实验 (3~30 kL); 2017—2020 年完成连续生产系统 (10~1 000 kL)。

4 结束语与建议

日、美的研究表明, 藻类可减少温室气体并维持碳平衡, 可在非耕地、非饮用水中生长, 是非常理想的环境友好型新一代燃料。预计在未来的 20 年里可再生燃料将以每年 30% 以上的增长率发展, 至 2030 年藻类燃料有可能替代 17% 的石油, 成为未来新燃料的主角。对藻类的利用和开发有可能带来一场能源技术革命, 对解决人类面临的能源、环境两大问题起到重要的作用。日、美两国对藻类燃料的基础研究工作已开展多年, 形成了一些联合开发体, 两国政府也均将藻类燃料的开发列入下一代清洁能源开发的重点领域, 加大投入, 大力推进技术的实用化。

中国经济近年迅速发展, 石化能源大量消耗, 解决能源短缺和环境污染问题已迫在眉睫。同时, 中国的城市废水中有机物含量高, 以煤炭为燃料的集中排放二氧化碳工厂多, 潜在的可供挖掘的天然藻类分布极为广泛, 这些都为藻类生物燃料的发展提供了特殊有利条件。为此, 应充分研究美、日近年藻类生物燃料的发展情况, 重视这一新兴燃料的发展潜力, 及时、不失时机地开展适合中国国情的藻类生物燃料的研究发展工作, 特别应注意对藻类筛选分离基础技术的研究, 为解决资源、环境两大制约发展的瓶颈问题做出贡献。■

参考文献:

- [1] 向 1L 生物燃料油成本 100 日元以下的挑战 (上) [N]. 日本产经新闻, 2012-9-12 (1).
- [2] 林文荣. 美国 2007 年《能源法案》颁布之后的生物燃料新世界对全球玉米产业的启示 [R/OL]. 第 2 届国际玉米产业大会, 中国大连, 2008-09-17. [2012-12-10]. <http://www.taodocs.com/p-898637.html>.
- [3] 筑波大学渡边信研究室. 藻類バイオマスエネルギーの実用化 [R/OL]. [2012-12-20]. <http://www.algae-biomass-tsukuba.jp/watanabe-kaya-lab/02project/index.html>.
- [4] つくばの総合特区. 本格始動 技術創造、期待高まる [N]. 日経新聞 (北関東経済), 2012-9-19 (35).
- [5] 農林水産技術会議事務局. 「2011 年農林水産研究成果 10 大トピックス」の選定について [EB/OL]. [2012-12-20]. http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/111222_1.htm.
- [6] 燃料用の藻、大量生産 DIC と筑波大、13 年をめど実現 [N]. 日経新聞, 2011-08-16 (9).
- [7] 人類救うイノベーション期待 [N]. 日刊工業新聞朝刊, 2011-01-21 (2).
- [8] 世界新能源网. 世界藻类生物燃料的市场战略评估 [EB/OL]. (2010-12-17) [2012-12-22]. <http://www.newenergy.org.cn/html/01012/12171037818.html>.
- [9] 向 1L 生物燃料油成本 100 日元以下的挑战 (中) [N]. 日本产经新闻, 2012-9-13 (1).
- [10] 向 1L 生物燃料油成本 100 日元以下的挑战 (下) [N]. 日本产经新闻, 2012-9-14 (1).
- [11] 生物燃料可持续发展基准 [R]. 日本, 东京: 经济产业省, 2010-03.

Progress in Algae Fuels Development in Japan and the U.S.

LI Ying

(China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045)

Abstract: Recent researches in Japan and the United States show that algae biofuels can reduce greenhouse gases and maintain the balance of carbon. Algae biofuels, which can be grown in non-arable land and non-drinking water, are the ideal environment-friendly next-generation fuels. Algae biofuels, as a new star of new fuels, are expected to replace 17% of the crude oil, and are likely to bring about a revolution in energy technology. This article focuses on progress and future prospects of algal biofuels development in Japan and the U.S., and gives suggestions on Chinese research and development in new energy field.

Key words: Algae; biofuels; Japan; United States