

微藻制油：产业化还在路上

当前，石油炼油品、煤炭炼油品已为大众所熟知，但利用微藻制油可能仅受业界关注，在公众中鲜为人知。事实上，在以煤炭、石油为主打能源的今天，国内外科研院所及企业正充分利用藻类分布广泛、生物量大、光合作用效率高、环境适应能力强、生长周期短、产量高等优势，不断加大微藻提取生物柴油技术研发的力度，以便减少对石油和煤炭的过度依赖。

作者：白清荣 来源：中国化工报



图为青岛生物能源所的微藻培养系统。(CFP 供图)

当前，石油炼油品、煤炭炼油品已为大众所熟知，但利用微藻制油可能仅受业界关注，在公众中鲜为人知。事实上，在以煤炭、石油为主打能源的今天，国内外科研院所及企业正充分利用藻类分布广泛、生物量大、光合作用效率高、环境适应能力强、生长周期短、产量高等优势，不断加大微藻提取生物柴油技术研发的力度，以便减少对石油和煤炭的过度依赖。

然而最近，中国化工报记者对投身这一领域的部分科研院所和企业进行采访时发现，微藻制油产业化还有很长的路要走。

微藻制油应时而生

微藻是一类光合作用效率很高的单细胞低等植物。目前，地球上存活的微藻已超过 20 万种，在能量品位提升和碳元素循环中起着举足轻重的作用。由于微藻具有光合作用效率高、生长速度快，适合工业化养殖，且具高效固定利用二氧化碳、氮磷吸收能力强等特点，成为制备生物质能源的良好材料，被认为是解决能源、资源、食品、环境问题最有潜力的途径。

“微藻制油的原理其实就是利用光合作用，将二氧化碳转化为微藻自身的生物质从而固定碳元素，再通过诱导反应使微藻自身的碳物质转化为油脂，然后利用物理或化学方法把微藻细胞内的油脂转化到细胞外，进行提炼加工从而生产出生物柴油。”山西农业大学分子农业与生物能源研究所所长李润植告诉中国化工报记者。

据李润植介绍，在国际上，美国从 1976 年就启动了微藻能源研究。进入 21 世纪，石油价格飙升催生了微藻研究热，美国、澳大利亚、日本、印度、南非等国政府及企业均乐此不疲，并有成功范例。

比如，2006 年 11 月，美国绿色能源科技公司和亚利桑那州公众服务公司建立了可与 1040 兆瓦电厂烟道气相连接的商业化系统，成功利用烟道气的二氧化碳，大规模光合成培养微藻，并将微藻转化为生物柴油，产率可达到每年每英亩提供 5000~10000 加仑生物柴油的水平。2007 年 3 月，以色列一家公司在离电厂烟囱几百米处的跑道池中规模培养微藻，并将其转化为燃料，每 5 千克藻可产 1 升燃料。2008 年 10 月，

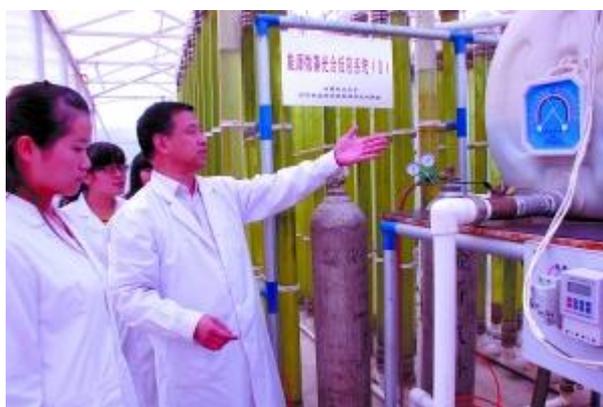
英国碳基金公司启动了目前世界最大的藻类生物燃料项目，预计到 2020 年商业化。目前，全球基于微藻燃油的生物能源大公司约有 80 多家，都处于研发、放大示范阶段。

我国科研机构、企业和政府对微藻生物柴油的开发大多处于实验室阶段，有的项目着手放大，有的开始初步中试。比较典型的项目有：2011 年底，中科院与中石化合作开发微藻生物柴油技术，预计 2015 年前后实现户外中试装置研发，远期建设万吨级工业示范装置；中科院青岛能源所计划到 2015 年建设 1 座产量为 5000 吨/年的微藻生物柴油产业化示范系统。

中国化工报记者了解到，目前国内从事微藻生物柴油研究工作的科研院所有中科院遗传与发育所、海洋所、南海所、武汉水生所、青岛能源所，以及清华大学、上海交通大学、北京化工大学、中国海洋大学等。这些科研单位大多从事微藻的生物学及敞开式培养等研究。此外，中科院青岛生物能源所刘天中团队、华东理工大李元广团队、中科院过程研究所丛威课题组等，正从产业链和生化工程角度开展微藻封闭式培养及光生物反应器方面的研究。

在企业层面，目前已涉足微藻生物柴油领域的主要有中石化、河北新奥科技发展有限公司、海南洋浦绿地能源科技有限公司、内蒙古金骄集团、兆凯生物工程研发中心(深圳)有限公司、嘉兴大祺生物能源有限公司等。除中石化尚未进行中试外，其他 4 家企业均开始进行能源微藻的中试培养，但均尚未规模制备出生物柴油。

从国外到国内，微藻制油已经是科研单位和商业巨头竞相逐鹿的战略目标，谁都想在技术研发上独占鳌头，并希望在商业化中分享一杯羹。总的来看，在微藻生物柴油开发方面，我国与发达国家相比差距并不明显，均处于从实验室走向中试研发阶段，且完整的中试结果尚未见报道。



李润植教授(右一)和他的研发团队在检查试验装置运行情况。(白清荣 摄)

技术路线各显神通

“在微藻能源技术涉及的全工艺链的技术研发上，国内各大院所和企业不同程度地有了长足进展，在某些方面甚至处于领先地位，但毕竟这是一项开创性事业，走向产业化不会一蹴而就，还有很长的路要走。”中科院青岛生物能源所刘天中博士对中国化工报记者介绍，该所将微藻生物能源作为重要战略性突破方向之一，系统布局了从藻种资源、功能基因组学、代谢物组学、蓝藻代谢工程、规模培养、生物能源转化、系统整合与中试放大方向的共计 100 余人的研究团队。刘天中担纲的能源微藻团队先后承担了微藻选育与高效培养技术、微藻油脂的高效提取技术等多项国家“973”、“863”计划，并组建了中科院生物能源重点实验室、山东省能源生物遗传资源重点实验室、山东省中美生物能源国际合作中心、中国科学院微藻生物能源国际合作创新团队等平台，并与波音、壳牌等国际大公司合作。

在藻种技术研发方面，他们筛选获得了 200 余株基础含油量达 20%以上的高产油藻株，在国际上首次发现和获得了具有高产油耐敌害污染状和极易采收的丝状产油微藻；在国际上首次完成了高抗逆高产油耐烟道气的海洋微拟球藻的全基因组学、代谢物组学研究和代谢网络重构，建立了基因工程蓝藻代谢工程改造技术；在培养技术方面，提出和建立了微藻半干贴壁培养方法和光反应器原理，微藻面积产率达到了每天 40~60 克/平方米，已完成 200 平方米贴壁培养中试。

“要实现微藻转化二氧化碳生产清洁燃油，离不开高新技术的支撑，离不开相关协作单位的配合，目前无论国际还是国内均在技术路径方面显示出各种的特色。”李润植教授告诉记者，传统生物柴油所需原料均为油料植物，如棕榈树、麻风树、大豆、油菜等。由于油料植物的油脂面积产率不高，发展生物柴油必然要占用大量耕地，影响粮食生产。而微藻种类繁多、分布广、繁殖快，可直接利用阳光、二氧化碳及氮磷等简单营养物质快速生长，并在胞内合成大量油脂，为生物柴油生产提供新的油脂资源，同时可利用超过 5 亿亩的盐碱地等非耕地。有资料显示，一公顷玉米能产 172 升生物质燃油，大豆能产 446 升，油菜籽产油 1190 升，而微藻产油量高达 95000 升，是玉米的 550 多倍，大豆的 213 倍，油菜籽近 80 倍。此外，每生产 1 吨微藻，可以吸收 2 吨二氧化碳，生成 1.5 吨氧气。

“作为新生事物，微藻燃油产业的发展依赖于微藻生物固碳技术、联产生物柴油和其他微藻产品的技术工艺不断突破。”新奥科技发展有限公司生物质能技术中心总经理刘敏胜表示，该集团以生产清洁能源为核心业务。2007 年 10 月，新奥集团生物质能源研究所成立；2008 年投资建成了 600 平方米的中试基地，实现了微藻制油中试规模的工艺贯通；2009 年，公司微藻产业化示范创新集中对工艺进行了大量优化，使多项关键技术达到产业化示范条件，产业化成本大幅降低。该公司二氧化碳—微藻—生物柴油关键技术研究入选国家“863”计划高技术研究项目，并获国家专项资金支持。2010 年，该公司在不可控的自然环境中进行放大实验，在煤化工企业排放的灰尘、碳水化合物、硫化物环境中，利用排放的废水、废热进行藻类养殖，取得了实际效果。新奥在内蒙古达拉特旗建有公顷级国家微藻生物能源产业化示范项目，仍在进行各种技术工艺试验和不同级别的中试。

“基于山西高碳大省的现状，我们大胆创新、另辟蹊径，将传统收集、干燥、制油三步法改为微藻湿样品制油一步法，不仅大大提高了生产效率，而且从成本分析看，综合效益是可行的。”据李润植介绍，经过潜心研究，山西农大培植的藻种生长快、易收集、光合固氮率高，其积累的油品品质更适合制造生物柴油。从实验室提取的微藻油成分看，其点火性和燃烧性能好，抗爆性强；闪火最低温度高，利于安全储存；润滑性好，对发动机无腐蚀，在 -31℃ 不结块。

不过，李润植也表示，要实现微藻产业化应用，还需要进行一系列的复杂工艺处理，如加氢、脱氧等，甚至还需要利用催化技术，才能最终得到直接使用的生物柴油。从生产流程看，培养微藻炼制生物柴油，其成套技术涵盖多个技术环节，是个复杂的系统工程：既要挑选合适的微藻进行培养，还需要对某些微藻进行基因改性，最大限度选取一些高含油量的藻种进行培养；培养这些藻种时不能随便找地方，因为天然池塘中的淤泥及微生物会污染藻种，需要在专门的场地，在光照条件下，用很多透明的列管培养器让微藻快速生长。



图为企业展示的微藻养殖产业链。(CFP 供图)

产业发展且走且探

“随着石油资源日益枯竭，环境保护尤其是二氧化碳减排越来越迫切，生物能源的开发日益受到人们的重视。微藻生物柴油产业化技术开发已成为近年来国内外生物能源领域中的研究热点，而原料严重不足是制约其发展的关键。”山西新能燃料研究所高级工程师姜忠扬认为。

“微藻制油前景看好已为业内所认同，也引起国家的重视，从目前的科技研发和产业化探索情况看，依然面临诸多困难与挑战。”刘天中表示。

一是高效高抗逆工业化藻株缺乏。目前虽国内外已多从自然界中筛选获得了数千株具有不同性状、不同产物的微藻株系，建立了极具规模的海水、淡水藻种资源库，但能够适应大规模工厂化培养环境，具有高光效、生长快、产物浓度高、耐敌害污染、适温性强的工程化藻株仍不多，且藻种的实验室性状与大规模户外培养性状差别很大。

二是规模培养技术亟待突破产率和耗水瓶颈。通过光能转换和二氧化碳资源化固定获得微藻生物质，是实现其能源与资源化利用的基础，也是产业链形成的前提，而这一核心根本在于微藻的培养。目前开放池或各类封闭式光生物器是微藻规模培养的普遍方式，但这两种方式的微藻生物产率低，在规模条件生物量产率一般为每天 10~20 克/平方米，未能体现和发挥微藻的高产和固碳优势(理论产率为每天 100 克/平方米左右)。此外，过大的占地需求使得产业发展缺乏土地资源支撑。另外，微藻规模培养水耗过大，无论是开放池还是光生物反应器，即使在培养水循环使用的情况下，吨藻水耗也高达数百吨。因此，发展利用工业和生活废水以及海水的微藻能源技术产业至关重要。

三是高效加工及多目标、多元化的微藻产品技术未能形成。目前微藻生物柴油基本上是借鉴传统油脂加工的方式进行油脂提取及转化，由于微藻细胞尺寸小、含水量大、藻油酸价高，采用传统的加工工艺能耗高、效率低、产品品质不佳。因此，需要大力发展经济节能的绿色加工技术如湿藻提油、直接转化、综合利用等。同时，能源产品是低值大宗产品，以目前的技术，从培养经加工到能源产品生产等多个复杂环节使微藻能源成本过高，单一的微藻能源化利用途径目前还不具商业可行性。要实现微藻能源与资源化利用，必须大力发展高效微藻品种筛选与改造技术，获得具工业性状和商业应用价值的优质藻种。刘天中认为，可以先行建立具商业推广模式的高值经济微藻产业如微藻 DHA、神经酸、虾青素、类胡萝卜素、蛋白源螺旋藻、小球藻等，通过进一步研发发展到微藻能源的商业化模式，形成微藻多产品、多元化、多联产的产业集群。这也是目前世界各国微藻生物能源技术发展的方向和产业化应用的突破口。

“微藻制油作为新兴产业，目前在实验室已取得满意的效果，而要真正走上规模化、产业化之路，不宜对照实验数据成比例放大，甚至跳跃式发展，应该在各阶段规模的批次不断探索放大取得科学数据的基础上，分步实施、稳步推进，使资金投入与效益产出控制在较为合理的区间。”李润植认为，国际国内有

关微藻研究的成果已描绘出未来能源替代和二氧化碳减排的路线图,但要实现科研成果转化为现实生产力,需要迈过资金大投入、效益低产出、行业标准化及政策保障等门槛。

“从综合效益看,高品质的微藻油、高蛋白的微藻渣能担纲固碳减排的角色。虽然微藻生物能源的潜在发展势头看好,但要实现规模性生产,的确需要投入巨额资金。”李润植认为,如果能达到200万平方米的生产面积和数亿美元的产值规模,其综合效益是明显的,实现商业化放大的经济性也是可行的,但这往往伴随着规模化放大后的新技术问题,并非简单的成比例叠加,牵涉到微藻生物学基础研究、微藻工业规模培养平台技术、规模化采收和产物提取平台技术,以及低造价、标准化、工业化规模的微藻培养设备的研发和制造等诸多瓶颈。

“对于一个新兴行业来说,发展初期阻力较大,迫切需要国家政策扶持。从近年来不断推出的利好政策可以看出,我国对生物柴油发展明确持鼓励支持态度,但在税收、补贴落实方面的问题亟待解决。”山西省科技厅一位负责人分析说。

相关评论

突破瓶颈, 加快创新

华东理工大学教授李元广: 发展微藻生物柴油产业有望缓解我国面临的能源紧缺和二氧化碳减排这两方面的压力。然而,高成本是目前限制该技术产业化的瓶颈,未来的研发重点是开展多学科交叉原始创新,破解一些科学及工艺难题,同时通过集成创新等手段降低成本。

中科院青岛生物能源所研究员刘天中: 建议将微藻能源与资源化利用与固碳减排关键技术与示范列入国家新能源与温室减排计划,整合国内相关高校和研究院所的人才、技术、平台、资源,推动相关碳排放企业形成产学研联盟,联合攻关。在微藻能源产业化发展的历程中,特别要重视微藻高值化学品技术和碳减排技术的开发,通过微藻高值化学品的生产或与能源产品联产,并耦合碳减排,既有利于解决微藻能源目前面临的经济可行性问题,又有利于微藻新兴集群产业的形成。

山西省科技厅农村科技处副处长郭源远: 微藻制油山西起步晚,但发展势头好,关键有富碳资源优势。以山西农业大学分子农业与生物能源研究所李润植教授为首的学科团队支撑,山西在推进微藻制油方面正在整合各方面的优势资源,打破过去条块分割的格局,在广泛借鉴吸收国内外成熟经验的基础上,通过政策创新、技术创新、团队研发创新,加快微藻制油产业化和规模化进程。

新奥科技发展有限公司生物质能技术中心总经理刘敏胜: 微藻燃油的发展既需要科技研发的不断创新,也需要国家配套政策导向的优化,若能提供类似于对光伏产业的扶持政策,我国微藻能源产业化进程将随之加快,助力国家能源战略转型。

山西煤化工专业委员会委员李三文: 发展生物质能源和生物质产业有利于扩大资源来源,并向多元化能源利用方向发展,可以缓解国家能源紧张和环境压力,对于资源大省的产业转型意义十分重大。同时,微藻不与粮争地,发展该产业一举多得,综合价值高,对推动“三农”发展潜力巨大。