

陆德祥, 吕 锋, 张耀群, 等. 利用微藻生产生物柴油 [J]. 江苏农业科学, 2010(6): 560—562

利用微藻生产生物柴油

陆德祥, 吕 锋, 张耀群, 张 敏

(南通农业职业技术学院, 江苏南通 226007)

摘要: 微藻是最古老的单细胞植物类生物, 能利用太阳光能和二氧化碳 (CO_2) 进行光合作用并转化为生物质的从这种生物质中即能获得有用成分, 也能得到生物柴油。微藻生物柴油技术包括富油微藻的筛选和培育、优良高油藻种的获得; 然后是富油微藻的培养、生成微藻生物质; 再经过采收、加工转化为微藻生物柴油。笔者阐述了以微藻作为原料的生物柴油优势, 介绍了国内外微藻生物柴油的应用现状、基因工程技术调控微藻脂类代谢途径的研究进展, 以及在微藻构建工程中面临的问题和应采取的对策, 并提出了微藻能源的开发前景。

关键词: 微藻; 能源; 生物柴油; 太阳光能; 富油微藻

中图分类号: S216.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2010)06-0563-03

目前, 人类所用的能源主要是石油、天然气和煤炭等化石燃料。化石燃料是远古时期动植物遗体沉积在地层中、经过亿万年演变而来的, 是不可再生能源, 其储量有限。全球已探明的石油储量约为 1.5×10^{12} , 按现消费水平到 2040 年将枯竭; 天然气储量约为 1.2×10^{12} , 仅能维持到 2060 年; 煤炭储量约为 9 827.14 亿 t, 也仅可用 200 年。据《俄罗斯官方网站消息》2010 年 1 月 22 日报道: 2009 年, 中国共进口石油 1.99 亿万 t, 其国内石油开采量为 1.89 亿万 t, 这样计算, 中国 51.3% 的石油需求依赖于进口, 超过了 50% 的国际警戒线。据专家研究分析, 中国石油依赖进口的量还将继续增长, 到 2020 年石油进口依存度将达到 65% ~ 75% ! 石油对外依存度 (净进口量占消费量比重) 不断加大, 将对我国能源安全构

成了威胁。能源短缺已成为制约我国经济发展的“瓶颈”, 积极开展绿色能源计划已迫在眉睫, 发展替代能源是保障我国能源安全的重大战略举措。近年来, 生物柴油作为化石能源的替代燃料, 已成为国际上发展最快、应用最广的环保可再生资源。

关于微藻, 人们并不陌生, 赤潮、水化等灾害性环境现象的始作俑者便是微藻。微藻通常是指含有叶绿素 A 并能进行光合作用的微生物的总称, 目前发现的藻类有 3 万余种, 其中微小类群就占了 70%, 约 2 万余种, 广泛分布于各种水体中。微藻一般为几微米到几十微米的单细胞藻类或单细胞藻群体, 是地球上最早出现的能利用太阳光能和无机物制造有机物的原始的低等植物, 作为生态系统中的初级生产者, 在能量转化和碳元素循环中起到了举足轻重的作用。微藻能够把光合作用的产物转化成油滴在细胞内贮藏起来, 如葡萄藻、小球藻、盐藻、栅藻、雨生红球藻等。有些藻类在缺氮等条件下, 可大量积累油脂, 含油量高达 80%。通过萃取、热裂解等方法, 从这些微藻中将油提取出来, 再通过转酯化后可转变为脂肪酸甲酯, 即生物柴油。

收稿日期: 2010-05-10

基金项目: 江苏省“六大人才高峰”项目 (编号: 06C008)。

作者简介: 陆德祥 (1965—), 男, 江苏如皋人, 实验师, 主要从事微藻藻种的保种及开发研究。E-mail: ldx518@163.com

(上接第 559 页)

4 结语

我国已进入老龄化社会, 在未来的几十年中, 人口老龄化的现象还会继续加剧^[9-10]。在居家养老和老龄化大背景下, 居住区室外环境对老年人来讲几乎与住房同等重要, 为了提高老年人的生活质量, 使老年人“老有所乐”, 营建高质量的居住区老年户外活动绿色空间显得尤为重要。然而, 目前居住区室外环境绿化尚未适应老龄化的降临, 老年人整体满意度不高。针对老年人特有的生理及心理特征, 营建以人为本、重视老年特殊社会群体的行为和心理活动需求的安全、舒适、美观的户外绿化环境, 促进老年人之间以及与其他年龄结构人员之间的交流, 丰富他们的精神生活, 满足老年人保健、休闲、娱乐、交往等不同需求, 让他们能够身心健康地安度晚年, 既具有深远的意义又任重而道远。

参考文献

[1] 李德明, 陈天勇. 认知老年化和老年心理健康 [J]. 心理科学进

展, 2006 14(4): 560—564

- [2] 马以兵, 刘志杰. 我国老年居住环境的现状与发展 [J]. 中外建筑, 2008(10): 23—24
- [3] 唐晓岚. 城市居住分化现象研究 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2007
- [4] 杨慧琴, 雷劲松. 城市高层住宅居住环境和社会心理调查分析 [J]. 西南科技大学学报, 2005 22(9): 63—65
- [5] 唐东芹, 杨学军, 许东新. 园林植物景观评价方法及其应用 [J]. 浙江林学院学报, 2001 18(4): 394—397
- [6] 韩 雪, 郭 娜, 代晓芳. 翠湖公园使用评价 [J]. 山东林业科技, 2008(3): 36—38
- [7] 刘义平. 关于城市绿化安全的思考 [J]. 中国园林, 2005(3): 72—74
- [8] 蒋 春, 王国良, 唐晓岚, 等. 居住区老年户外活动绿色空间营建 [J]. 江苏林业科技, 2009 36(1): 40—43
- [9] 徐 清, 俞 维. 从老龄化视角看杭州市居住区规划建设 [J]. 安徽农业科学, 2008 36(34): 14985—14987
- [10] 薛慧聪, 毛 静. 居住小区中适合老年人的户外环境设计 [J]. 四川建筑, 2009 29(2): 13—15

1 微藻生产生物柴油的优越性

生物柴油 (biodiesel)是指以油料作物、野生油料植物和工程微藻等水生植物油脂以及动物油脂、餐饮垃圾油等为原料油通过酯交换工艺制成的可代替石化柴油的再生性柴油燃料。生物柴油是生物质能的一种,它是生物质利用热裂解等技术得到的一种长链脂肪酸的单烷基酯^[1]。对于生物柴油的原料,人们的目光一直集中在传统的陈化粮、木质素、动物油脂等领域,而对于开发前景同样广阔、属水生植物的藻类却认识不足。事实上,作为一种重要的可再生资源,藻类具有其他非藻类可再生资源无可比拟的优越性^[2],具体表现为:(1)藻类种类多。生态环境各异,代谢产物多样,可以生产多种能源物质;藻体生物本身还可以得到再利用,生产出有高附加值的产品,如保健品、药品、化妆品等。(2)光合作用效率高。藻类是光合自养生物,直接将太阳能转化为化学能,能量只需一次转化,光合作用效率高(倍增时间约3~5 d),其太阳能转化率达到3.5%。(3)有利于环境保护。藻类生长过程中吸收的二氧化碳与燃烧过程中排出的二氧化碳的数量相等,藻类生物燃料的生产和使用不增加温室气体二氧化碳的排放,可以保持碳平衡。藻类生产的生物柴油中硫和氮的含量较少,燃烧时不会排放出有毒有害气体(SO_2 和 NO_x)不污染环境。(4)加工工艺相对简单。微藻没有叶、茎、根的分化,不产生无用生物量,易被粉碎和干燥,预处理的成本比较低。而且微藻热解所得生物质燃油热值高,是木材或农作物秸秆的1.6倍。(5)微藻生物产量与产油率高。藻类繁殖快,培养周期短,一般陆地能源植物1年只能收获1~2季,而微藻几天就可收获1代,而且不因收获而破坏生态系统,可获得大量生物量。藻类与非藻类原料的产油估计量^[9]对比如下(表1)。(6)藻类对生长环境要求简单、具有不与传统农业争地的优

势。微藻几乎能适应各种生长环境,不管是海水或淡水、室内或室外,还是一些荒芜的滩涂盐碱地、废弃的沼泽、鱼塘、盐池等都可以种植微藻。(7)藻类生物柴油不含石蜡,闪点高,燃烧性能和效率高于普通柴油,使用时更安全;同时可以通过种植、养殖或培养等方式源源不断地得到新柴油^[4~5]。

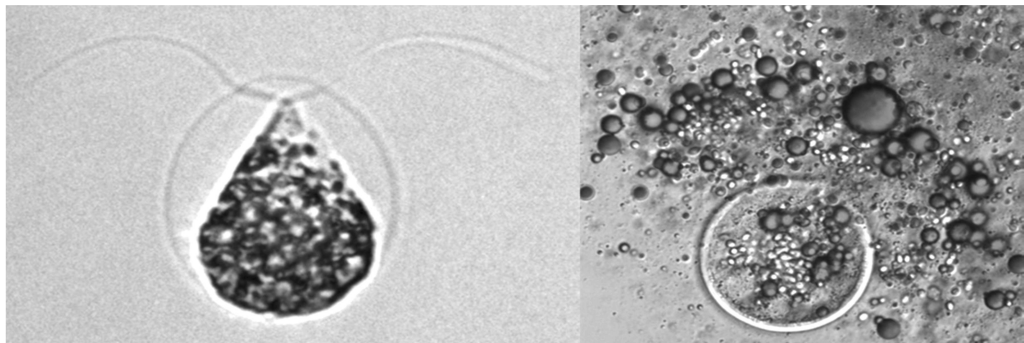
表1 藻类与非藻类原料的产油估计量对比

原 料	产油量[kg/(hm ² ·年)]
玉米油和棉籽油	< 224
豆油	449
菜籽油和红花籽油	约 673
花生油	857
富油藻类	> 56 000

2 富油微藻的筛选及工程微藻的构建

2.1 富油微藻的筛选

早在20世纪70年代,全球第1次暴发石油危机的时候,美国卡特政府就实施了一项名为“水生生物物种计划——藻类生物柴油”(简称ASP)的研究项目,该项目从海洋和湖泊中分离出3000余株微藻,并从中筛选出300多株生长速度快、脂质含量较高的微藻,经过驯化,其中一些藻类的光合生产率已经达到50 g/(m²·d),含油率甚至达到80%。一般来说,体内的油脂超过干重20%的微藻称为富油微藻(oleaginous microalgae),到目前为止,藻类专家已经测定了几百种富油微藻,它们隶属于金藻纲、红藻纲、绿藻纲、褐藻纲、蓝藻纲、黄藻纲、硅藻纲、隐藻纲和甲藻纲,品种不同的富油微藻油脂含量不同(表2),甚至同一品种不同品系之间差异也很大^[9]。目前,作为生物柴油原料的微藻有绿藻、硅藻和部分蓝藻如葡萄藻、杜氏盐藻、小球藻、菱形藻、栅藻、雨生红球藻等。



富油盐藻细胞 (Dunaliella)

细胞破碎, 油滴溢出

图1 富油盐藻细胞内含油状况

我国研究微藻的基础力量较强,拥有一大批淡水和海水微藻种质资源,在微藻大规模养殖方面走在世界前列。中国海洋大学拥有海洋藻类种质资源库,已收集了600余株海洋藻类种质资源,目前保有油脂含量接近70%的微藻品种,在山东省滨州市无棣县实施的裂壶藻(油脂含量50%,DHA含量40%)养殖项目正在建设一期工程。中科院海洋研究所获

得了多株油脂含量在30%~40%的高产能藻株,微藻产油研究取得了重要进展。孙珊用冻融法对10余株微藻进行筛选,筛选出金藻(Isochrysis sp.)、前沟藻(Amphidinium sp.)、异湾藻(Heterosigma sp.)和原甲藻(Prorocentrum sp.)等4株富油微藻,其粗脂含量分别为45%、36.7%、35%和29.5%^[3]。

表2 不同种类微藻含油量比较^[7]

微藻种类	葡萄藻	细柱藻	杜氏盐藻	小球藻	三角褐指藻	菱形藻	裂壶藻	微拟球藻
含油量(占干重%)	25~75	16~37	23	20~35	20~30	45~47	50~77	31~68

2.2 富油微藻油脂的合成与工程微藻的构建

参与微藻油脂合成的有 2 个主要的催化酶,即乙酰辅酶 A 羧化酶 (acetyl-coenzyme A carboxylase, ACCase) 和磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶 (Phosphoenolpyruvate carboxylase, PEPC)。这 2 种酶的相对活性影响着微藻脂类代谢途径的走向: 丙酮酸合成后, ACCase 催化底物乙酰辅酶 A 进入脂肪酸合成途径; 乙酰辅酶 A 的浓度累积激活了 PEPC 催化丙酮酸合成草酸乙酸进入氨基酸生物合成途径。抑制 PEPC 活性有助于提高 ACCase 催化底物进入脂肪酸途径。酶促反应是脂肪酸合成和氧化过程中限制速率的关键调节步骤, 因此, ACCase 是脂肪酸生物合成途径的关键限速酶^[10]。

目前, 正在研究选择合适的分子载体, 采用分子生物学和基因工程技术, 使 ACC 基因在细菌、酵母和植物中充分表达, 再进一步将修饰的 ACC 基因引入微藻中以获得更高效的表达。美国再生能源国家实验室 (National Renewable Energy Laboratory, NREL) 于 1995 年将 ACCase 基因转化小环藻成功, 这是一个重要突破。2005 年, 赵桂兰等用农杆菌介导法将反义 PEPC 基因导入大豆的基因组, 获得了稳定的超高油

转基因大豆品系。因此, 采用反义技术调控 HEP 代谢途径, 可能是提高脂肪酸含量的另一种有效方法。利用基因工程技术改变微藻细胞的生理结构, 调控微藻脂肪酸合成途径, 提高微藻脂肪酸的合成能力, 从而制备出高产量、高含油量的优良工程微藻。

3 微藻制油的关键是大规模培养与脱水采收

微藻生产系统的具体生产过程包括以下几个步骤^[11]: 微藻大规模培养、藻油提取、转酯反应、生物柴油后处理。其中, 最关键的步骤是微藻的大规模培养。根据工程和流体力学的特性, 微藻类的大规模培养系统一般可以分为两大类: 开放式培养系统和封闭式培养系统。开放式培养系统一般是指室外露天的人工制造的培养池或特定环境下的小规模湖泊; 封闭式培养系统也被称为光生物反应器, 是目前流行的微藻培养系统, 有柱状、平板式、管道式等多种形式, 具有培养环境可人工控制、光利用效率高、操作简单等优点, 可以实现微藻的高密度、大规模培养。

表 3 两种微藻培养方法的比较

培养方式	优点	缺点
开放式赛道池塘培养	造价低廉、建设费用低; 容易清洗表面形成的生物膜; 维持费用、生产成本较低; 大气中的 CO ₂ 就能满足生产需要; 技术成熟, 便于工业规划生产	开放培养, 容易产生杂菌污染; 生产效率低, 占地面积大; 细菌浓度低, 后处理工作量大; 易受到周围自然环境的影响; 自然蒸发消耗的大量水
封闭式光生物反应器	封闭培养, 纯种培养, 不易染杂菌; 生产效率高, 占地面积小; 细胞浓度高, 便于后处理; 封闭, 不易受周围自然环境的影响; 封闭系统, 水消耗少	建设费用、维持费用高; 表面易形成生物膜, 降低透光性; 需要大量 CO ₂ , 如发电厂尾气; 技术先进但尚不够成熟, 工业化应用有困难

与微生物发酵相比, 微藻培养的生物量浓度较低, 大规模培养的生物量浓度仅为 0.5~3.0 g/L 左右。因此, 脱水是微藻采收过程中最重要的一个环节。微藻个体较小, 除个别种类之外, 一般直径只有十几微米, 一般的固液分离方法很难适用于微藻; 另外, 与一般微生物不同, 微藻细胞周围大多富含糖, 当微藻细胞达到一定浓度时呈现出非牛顿流体特性, 给采收工作带来了很大的困难。因此, 开发高效率、低能耗采收装置已成为微藻生物技术中另一个主要的研究内容。

4 微藻能源的开发前景

生物燃料的发展大致经历了 4 个阶段^[11]: 第 0 代生物燃料—彷徨时代, 受到化石燃料的排挤; 第 1 代生物燃料—粮食时代, 以粮食为原料, 饱受非议和限制; 第 2 代生物燃料—纤维素时代, 正处在大力发展阶段; 第 3 代生物燃料—微藻时代, 利用微藻生产生物燃料, 目前在微藻能源产业化方面需要集中解决的是技术问题, 如优质富油藻种的培育、适于藻类液化反应系统的设计、液态产物的分离和收集、液化过程中固体和气体产物的回收和循环利用、能耗的降低等。利用微藻大规模培养生产生物柴油在国内是一个崭新的领域。随着对藻种选育研究和微藻改造工程的继续深入, 培养条件、培养方式、生物反应器等的不改进, 提取、分离和转化的工艺不断完善无疑将有助于克服微藻生产上所面临的困难。微藻生产生物柴油不仅具有重要的科学意义, 更具有广阔的应用前景^[12]。

参考文献

- [1] 生物柴油 [EB/OL]. [2010-04-10]. <http://bake.baidu.com/view/40341.htm>
- [2] 邹树平, 吴玉龙, 杨明德, 等. 微藻能源化利用技术研究进展 [J]. 现代化工, 2006, 26(增刊): 35-38
- [3] 孙珊. 富油微藻筛选及油脂组分与影响因素研究 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2009
- [4] 李十中. 替代石油的生物运输燃料 [J]. 科学中国人, 2007(5): 76-79
- [5] 张百良, 丁一. 中国生物质能发展中几个问题研究 [J]. 科学中国人, 2007(4): 38-41
- [6] 廖晓玲, 吴庆余. 藻类异养转化制备生物油燃料技术 [J]. 可再生能源, 2004(4): 41-44
- [7] 蒋霞敏, 郑亦周. 14 种微藻总脂含量和脂肪酸组成研究 [J]. 水生生物学报, 2003, 27(3): 243-247
- [8] 曾晓波, 王海英. 微藻生物制氢技术 [J]. 可再生能源, 2005(5): 60-63
- [9] 刘永定, 范晓, 胡征宇. 中国藻类学研究 [M]. 武汉: 武汉出版社, 2001: 254-261
- [10] 陈汝. 微藻生物: 可培育的“绿色石油” [J]. 世界博览: 中国卷, 2009(10): 56-59
- [11] 匡廷云, 白克智, 李淑芹, 等. 生物质能源技术研究进展 [M] // 中国科学院. 2005 高技术发展报告. 北京: 科学出版社, 2005: 36-41
- [12] 付玉洁, 祖元刚. 生物柴油 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 24-