

基于 Web of Science 的微藻生物柴油文献计量分析

陈卓^{1,2}, 侯圣伟^{1,2}, 高宏^{1*}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 通过检索 ISI Web of Science 网络数据库在 1991~2011 年期间发表与微藻生物柴油相关的文献, 借助文献计量学研究方法, 从文献类型和出版物语言、年份分布情况、学科和期刊分布、国家/地区分布及研究机构分布等多方面分析微藻生物柴油的研究进展。

关键词 微藻; 生物柴油; 文献计量学

中图分类号 G255.76 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2012)04-02502-04

Bibliometrics Evaluation of Microalgal Biodiesel Based on the Web of Science

CHEN Zhuo et al. (National Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430072)

Abstract Based on ISI Web of Science, this paper explored the progress of microalgal biodiesel research during 1991-2011 using the bibliometric methods from many aspect, such as the document type and the language of publications, the publication years, the subject areas and the publishing journals, the publishing countries and regions as well as the publishing research institutions.

Key words Microalgae; Biodiesel; Bibliometrics

进入 21 世纪以来,化石能源的过度消耗导致了环境污染和能源危机,因此,开发和利用新能源迫在眉睫。生物柴油作为一种清洁可再生的新能源,已经成为国内外研究的热点。生物柴油是长链脂肪酸甲酯或乙酯,以植物油或者动物脂肪为生产原料。与其他生物质能源相比,利用微藻生产生物柴油具有其独特的优势。产油微藻具有光合效率高、生长迅速、生物量大、油脂含量高、环境适应范围广等优点,并且培养时不需要占用耕地^[1]。另外,某些微藻,如栅藻,还可以利用废水和烟道气进行培养,积累油脂的同时还能净化环境^[2]。因此,微藻生物柴油被认为是化石能源最具潜力的替代品。笔者应用文献计量学方法,对 Web of Science 近 20 年收录的有关微藻生物柴油的相关文献进行统计分析,揭示其研究概况及发展趋势,以期对相关研究工作提供参考和帮助。

1 材料与方法

1.1 数据来源 利用 SCI 网络数据库 Web of Science 对 SCI 扩展库 (Science Citation Index Expanded, SCIE)、科技会议文献引文索引数据库 (Conference Proceedings Citation Index-Science, CPCI-S)、化学反应数据库 (Current Chemical Reactions, CCR) 和化合物索引数据库 (Index Chemicus, IC) 进行检索,统计数据获取时间为 2011 年 10 月 31 日。

1.2 研究方法 使用检索式为 TS = (microalga* bio-diesel) OR TS = (microalga* bio-oil) OR (microalga* biodiesel) OR TS = (microalga* biooil) 检索时段选择在 1991~2011 年间。对检索到的结果逐个进行排查,只保留与微藻生物柴油相关的研究论文。将下载的数据信息导入 Excel 文件进行统计分析,使用 Endnote 文献管理工具对关键词进行统计,并借助

pajek 网络可视化分析工具对国家之间合作情况的进行网络可视化分析。

2 结果与分析

2.1 文献类型和出版物语言 选取 microalgae、biodiesel 和 biooil 为关键词,利用 Web of Science 网络数据库共检索到文献 474 篇。其中,Article 358 篇,Review 55 篇,Proceedings Paper 36 篇,Meeting Abstract 24 篇,Editorial Material 7 篇,News Item 4 篇,Letter 和 Correction 各 2 篇。在这 474 篇文献中,97.7% 为英文文献,3 篇为中文文献,德语、葡萄牙语、波兰语各有 2 篇,其他语言有 2 篇。为突出该领域的研究进展,以 Article 为研究对象,对这 358 篇研究论文进行逐一排查,去除综述类和与微藻生物柴油不相关的文献检索结果,最后得到 316 篇。

2.2 年份分布情况 由图 1 可知,在 2008 年之前,有关微藻生物柴油的论文每年不超过 3 篇,其中,1998~2002 年间未见相关论文发表。但是自 2008 年起,该领域发文量逐年稳定增加,论文数量从 2008 年的 10 篇增加到 2011 年的 155 篇;表明微藻生物柴油的相关研究受到越来越广泛的关注。原因可能与石油短缺造成油价上涨有密切关系;另外,用农作物来生产生物柴油不仅成本过高,还占用大量耕地,会造成“粮食与能源”之间的冲突^[1]。在这种背景下,以微藻为原料生产生物柴油凸显出其独特的优势,并开始向产业化发展^[3]。从国内发表论文的情况看,在 2008 年后,我国大陆发表论文数量也在迅速增加,其中 2010 年有 20 篇相关论文发表,接近当年该领域总论文数的 1/4。由此可见,我国微藻生物柴油的研究虽然起步较晚,但是正在紧追世界研究发展的步伐并持续快速地发展。

2.3 学科和期刊分布 统计数据表明微藻生物柴油的研究涉及 28 个学科。对发文量在 2 篇以上的学科类别(部分论文分属在 2 个以上的学科中)分布情况调查发现(表 1),Biotechnology and Applied Microbiology 在该领域发表论文 171 篇,占总研究论文数量的 54.1%,其次是 Energy and Fuels(154 篇),表

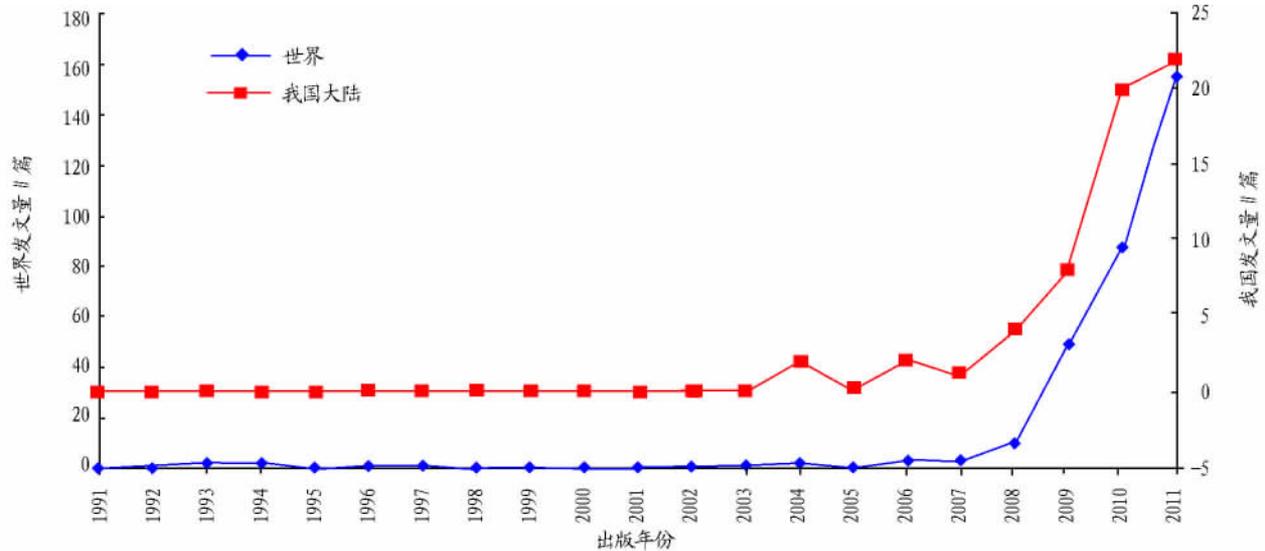
基金项目 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KSCX2-YW-G-060)。

作者简介 陈卓(1981-),男,山东济南人,助理研究员,博士,从事蓝藻分子遗传学研究。* 通讯作者,助理研究员,博士,从事蓝藻遗传学与生物技术的研究, E-mail: gaoh@ihb.ac.cn。

收稿日期 2011-11-17

明该研究领域与应用微生物技术和能源燃料学科密切相关。另外, 收录论文数量在 10 篇以上的还有 Agriculture(100 篇)、Engineering(87 篇)、Chemistry(30 篇)、Environmental Sciences and Ecology(30 篇)、Biochemistry and Molecular Biology(21 篇)

和 Marine and Freshwater Biology(14 篇), 体现了该学科领域的多学科交叉性。统计分析表明, Physics、Thermodynamics、Mechanics 和 Spectroscopy 等物理学领域也参与了相关研究, 这必将会加快微藻生物柴油的产业化进程。



注: 2011 年的数据不全, 文中仅包含至检索时间前的数据(供研究者参考)。以下涉及 2011 年的数据做同样处理。

图 1 1991 ~ 2011 年世界和我国大陆微藻生物柴油研究论文分布情况

表 1 微藻生物柴油研究涉及学科分布情况

学科	论文数//篇	占总论文比例//%
生物技术与应用微生物	171	54.1
能源与燃料	154	48.7
农学	100	31.6
工程学	87	27.5
化学	30	9.5
生态学与环境科学	30	9.5
生物化学与分子生物学	21	6.6
海洋与淡水生物学	14	4.4
微生物学	9	2.8
食品科学与技术	8	2.5
植物学	5	1.6
物理学	4	1.3
科学技术的其他话题	4	1.3
热力学	4	1.3
材料学	3	0.9
力学	3	0.9
水产学	2	0.6
药理学与药剂学	2	0.6
光谱学	2	0.6
其他学科	9	2.8

316 篇研究论文分别发表在 110 个不同的学术刊物。对收录论文数在 3 篇以上的期刊进一步分析发现(表 2) 83 篇收录在了 Bioresource Technology, 占总论文数的 26.3%, 该期刊在 2010 年的影响因子为 4.365, Applied Energy 共刊发该领域研究论文 23 篇(7.3%), 该杂志在 2010 年影响因子达 3.915。此外, 收录论文数在 10 篇以上的还有 Biomass and Bioenergy (3.8%)、Applied Biochemistry and Biotechnology (3.5%) 和 Journal of Applied Phycology(3.2%)。在这些期刊中影响因子最高的是 Energy Education Science and Tech-

nology, 仅收录研究论文 3 篇(0.9%)。综上所述, 微藻生物柴油的已经从基础研究转向产业化应用。

表 2 微藻生物柴油研究发文量最多的杂志及论文分布情况

出版物名称	论文数 目//篇	占总论 文比例//%	影响因子 (2010)
生物资源技术	83	26.3	4.37
应用能源	23	7.3	3.92
生物质能与生物能源	12	3.8	3.84
应用生物化学与生物技术	11	3.5	1.88
应用藻类学	10	3.2	1.79
能源与燃料	9	2.8	2.44
环境科学与技术	8	2.5	4.83
应用微生物与生物技术	7	2.2	3.28
生物技术与生物工程	6	1.9	3.70
化学技术与生物技术杂志	6	1.9	1.82
工业微生物与生物技术杂志	5	1.6	2.42
生物技术与生物加工工程	4	1.3	1.00
生物能源研究	3	0.9	4.02
能源转换与管理	3	0.9	2.07
能源教育科学与技术	3	0.9	9.33
能源	3	0.9	0.84
燃料	3	0.9	3.60
工业和工程化学研究	3	0.9	2.07

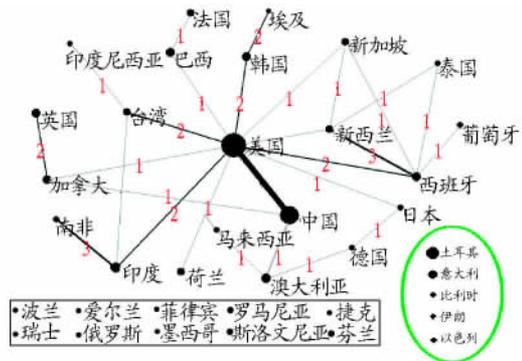
2.4 国家/地区分布 对近 20 年各个国家和地区发表的有关微藻生物柴油论文的分布情况分析发现, Web of Science 共收录 37 个国家和地区在该领域的研究论文。由表 3 可知, 美国发表相关论文 100 篇, 占总论文数的 31.6%, 紧随其后是中国(18.7%)、印度(5.7%)、澳大利亚(4.2%)和韩国(4.2%)等。美国和我国都是能源消耗的大国, 发表论文数

目位居前 2 位 表明这 2 个国家对该研究领域的投入更多。

表 3 微藻生物柴油研究发文量最多的国家及论文分布情况

国家	论文数目//篇	占总论文比例//%
美国	100	31.6
中国	59	18.7
印度	18	5.7
澳大利亚	13	4.1
韩国	13	4.1
英国	12	3.8
巴西	11	3.5
加拿大	11	3.5
西班牙	11	3.5
土耳其	11	3.5
台湾	9	2.8
荷兰	9	2.8
法国	8	2.5
新西兰	8	2.5
新加坡	8	2.5
葡萄牙	7	2.2
意大利	6	1.9
日本	6	1.9

随着经济的发展 科学合作已经成为现今科学研究的重要形式。为了评估国家/地区在微藻生物柴油领域的科研合作情况 同时衡量国家/地区在这方面研究的活跃程度 该研究对 37 个国家间的科学合作进行了可视化网络分析。由图 2 可知 美国作为发表论文数量最多的国家 与 11 个国家/地区有着相互合作 处于网络的中心位置;其中 美国和我国之间的合作是最密切的 共有 9 篇合作发表的论文。另外 西班牙发表的 11 篇论文中有 8 篇分别与 5 个国家相互合作完成;新西兰发表论文数为 8 篇 其中有 6 篇分别与 4 个国家合作完成。综上所述 超过半数的研究微藻生物柴油的国家 (59.4%) 正进行着全世界范围内的广泛的合作。



注: 节点的大小代表发表论文数的多少 而节点之间连线的粗细代表 2 个国家/地区之间科学合作的密切程度; 数值代表合作的论文篇数; 椭圆圈内的国家发表论文数在 3 篇以上且全部为独立完成; 方框内的为独立完成且发表论文数目为 1 篇的国家。

图 2 国家/地区之间相互合作情况

2.5 研究机构分布 对发表论文数量在 4 篇以上的研究机构分析发现(图 3) 发文量最多的为清华大学 共 25 篇 占总论文数的 7.9% 其次是中国科学院 (11 篇) 排名第三的是密西根大学 (8 篇) 第四是美国国家可再生能源实验室 (7 篇) 第五是天津大学 (9 篇)。排名前 5 的研究机构中 3 个来自中国 2 个来自美国。研究表明 我国和美国在微藻生物柴油方面的研究均具有较强的实力 且 2 国对该领域的研究投入较多 与对国家/地区分析的结果吻合。

2.6 引文分析 引文分析可以用来比较国家或地区之间研究成果的影响力 同时还可以对某些论文的影响力进行评估。在这 316 篇研究论文中 被引频次在 1 次或 1 次以上的共有 212 篇 其中有 73 篇来自美国 其次是中国 (42 篇) 印度 (10 篇) 土耳其 (10 篇) 澳大利亚 (9 篇) 英国 (9 篇) 和台湾 (9 篇) 等等。结果表明 美国在微藻生物柴油方面的研究明显强于其他各国。由表 4 可知 Miao and Wu (2006)

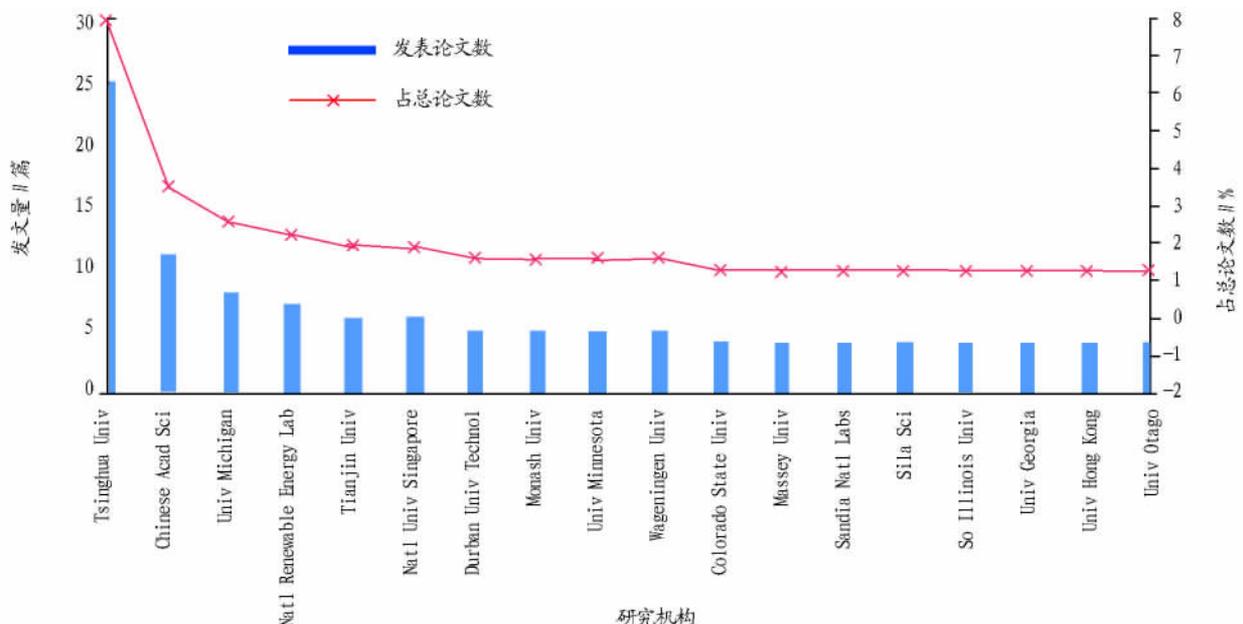


图 3 微藻生物柴油研究发文量最多的研究机构论文分布情况

发表的“Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil”论文引用频次(183次)及年平均引用频次(8.7次)均最高^[3]。该研究论文通过异养培养将 *Chlorella protothecoides* 细胞中的油脂含量提高到 55% 然后用正己烷提取油脂,加入 56:1 摩尔比的甲醇,在 30 °C 和浓硫酸的催化作用下反应 4 h,获得比重为 0.863 7 的生物柴油。该研究为微藻生物柴油的产业化提供很好的借鉴。排名第二的是 Xu 等(2006)发表的关于以 *Chlorella protothecoides* 藻株为原料来生产高质量生物柴油方法的论文^[4]和 Rodolfi 等(2009)发表的介绍微藻生物柴油产业化路径的论文^[5]。这两篇论文的引用频次也都超过 120 次,对后续相关领域研究工作的开展发挥重要推动作用。

表 4 微藻生物柴油研究中引用频次最高的论文情况

参考文献	引用频次//次	年平均引用频次//次
Miao and Wu ^[3]	183	8.7
Xu et al. ^[4]	126	6.0
Rodolfi et al. ^[5]	122	5.8
Miao et al. ^[6]	76	3.6
Gouveia and Oliveira ^[7]	73	3.5
Miao and Wu ^[8]	72	3.4
Li et al. ^[9]	63	3.0
Li et al. ^[10]	62	3.0
Akoh et al. ^[11]	60	2.9
Liu et al. ^[12]	58	2.8
Ozkurt ^[13]	56	2.7
Clarens et al. ^[14]	55	2.6
Xiong et al. ^[15]	54	2.6
Chi et al. ^[16]	48	2.3
Griffiths and Harrison ^[17]	44	2.1
Chiu et al. ^[18]	41	2.0
Demirbas ^[19]	36	1.7
Liang et al. ^[20]	33	1.6

2.7 关键词分析 频率使用较高的关键词在一定程度上可以反应该领域研究的热点。使用 EndNote X4 对相关文献的关键词进行统计分析,由表 5 可知, Microalgae 和 Biodiesel 出现频次最高,分别为 202 次和 174 次; Growth(77 次)、Biomass(75 次)、Algae(60 次)和 Photobioreactor(40 次)等关键字紧随其后。由此可见,很多研究通过优化微藻的生长以增加其生物量作为提高产油量的一种途径; *Botryococcus braunii* (23 次)和 *Chlorella vulgaris*(21 次)是研究微藻能源的 2 个热门藻种; Nitrogen(21 次)会影响到微藻积累油脂,在限氮或缺氮的情况下,可以提高细胞中的油脂含量。

表 5 与微藻生物柴油研究相关的关键词频次统计

关键字	频次	关键字	频次
微藻	202	培养	33
生物柴油	174	生物燃料	32
生长	77	油脂	31
生物量	75	培养	24
生物柴油的生产	72	葡萄糖	23
藻类	60	转酯	22
油脂	50	氮源	21
生物燃料	47	燃料	21
生物反应器	40	提取	21
脂类	35	小球藻	21

3 结论

研究结果表明,在过去 4 年中,与微藻生物柴油相关的论文数量持续快速增长,表明世界各国对该领域的研究越来越重视;致力于该研究领域的主要国家有美国、中国和印度等。在合作研究方面,美国、中国和西班牙等国家的合作较多;通过引文分析和关键字分析,发现微藻生物柴油的研究已经走出基础研究的初级阶段,正逐步向产业化的进程发展。

参考文献

- [1] MUTANDA T, RAMESH D, KARTHIKEYAN S et al. Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgals strains for sustainable biofuel production [J]. Bioresour Technol 2011 102(1): 57-70.
- [2] LI X, HU H, YU J, GAN K et al. Growth and nutrients removal properties of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. LX1 under different kinds of nitrogen sources [J]. Ecol Eng 2010 36(4): 379-381.
- [3] MIAO X L, WU Q Y. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil [J]. Bioresour Technol 2006 97(6): 57-70.
- [4] XU H, MIAO X L, WU Q Y. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters [J]. J Biotechnol 2006 126(4): 499-507.
- [5] RODOLFI L, ZITTELLI G C, BASSI N et al. Microalgae for oil: strain selection induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor [J]. Biotechnol Bioeng 2009 102(1): 100-112.
- [6] MIAO X L, WU Q Y, YANG C Y. Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels [J]. J Anal Appl Pyrol 2004 71(2): 855-863.
- [7] GOUVEIA L, OLIVEIRA A C. Microalgae as a raw material for biofuels production [J]. J Ind Microbiol Biotechnol 2009 36(2): 269-274.
- [8] MIAO X L, WU Q Y. High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides* [J]. J Biotechnol 2004 110(1): 85-93.
- [9] LI Y Q, HORSMAN M, WANG B et al. Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans* [J]. Appl Microbiol Biotechnol 2008 81(4): 629-636.
- [10] LI X F, XU H, WU Q Y. Large-scale biodiesel production from microalga *Chlorella protothecoides* through heterotrophic Cultivation in bioreactors [J]. Biotechnol Bioeng 2007 98(4): 764-771.
- [11] AKOH C C, CHANG S W, LEE G C et al. Enzymatic approach to biodiesel production [J]. J Agric Food Chem 2007 55(22): 8995-9005.
- [12] LIU Z Y, WANG G C, ZHOU B C. Effect of iron on growth and lipid accumulation in *Chlorella vulgaris* [J]. Bioresour Technol 2008 99(11): 4717-4722.
- [13] OZKURT I. Qualifying of safflower and algae for energy [J]. Energy Educ Sci Tech 2009 23(1/2): 145-151.
- [14] CLARENS A, RESURRECCION E P, WHITE M A et al. Environmental life cycle comparison of algae to other bioenergy feedstocks [J]. Environ Sci Technol 2010 44(5): 1813-1819.
- [15] XIONG W, LI X F, XIANG J Y et al. High-density fermentation of microalga *Chlorella protothecoides* in bioreactor for microbio-diesel production [J]. Appl Microbiol Biotechnol 2008 78(1): 29-36.
- [16] CHI Z Y, PYLE D, WEN Z Y et al. A laboratory study of producing docosahexaenoic acid from biodiesel-waste glycerol by microalgal fermentation [J]. Process Biochem 2007 42(11): 1537-1545.
- [17] GRIFFITHS M J, HARRISON S T L. Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production [J]. J Appl Phycol 2009 21(5): 493-507.
- [18] CHIU S Y, KAO C Y, TSAI M T et al. Lipid accumulation and CO₂ utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO₂ aeration [J]. Bioresour Technol 2009 100(2): 833-838.
- [19] DEMIRBAS A. Production of biodiesel from algae oils [J]. Energy Source, 2009 31(2): 163-168.
- [20] LIANG Y, SARKANY N, CUI Y. Biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* under autotrophic, heterotrophic and mixotrophic growth conditions [J]. Biotechnol Lett 2009 31(7): 1043-1049.