

## Status of Biodiesel from Waste Oil of Restaurants\*

Changmei Wang, Wudi Zhang<sup>#</sup>, Yubao Chen, Fang Yin, Shiqing Liu, Xingling Zhao, Jing Liu

Yunnan Normal University, Kunming  
Email: wangcmzf@163.com, <sup>#</sup>wooti@ynnu.edu.cn

Received: Nov. 28<sup>th</sup>, 2012; revised: Dec. 14<sup>th</sup>, 2012; accepted: Dec. 23<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** With the rapid development of tertiary industry, the catering scale expands very quickly. And the result is the number of waste oil of restaurants increasing rapidly. If we neglect the phenomenon, the waste oil could endanger the environment and people's health. The correct way to use the waste oil of restaurants is make it to biodiesel. Method for preparation of biodiesel from waste oil as raw material is as following: alkali-catalyzed by acid catalysis, enzymatic method and supercritical method. This paper gave an overview about different methods of using waste oil as raw materials to preparing biodiesel. At the same time, this paper pointed out the characteristics and problems of various methods. Lastly, it made some appropriate suggestions about biodiesel preparing.

**Keywords:** Waste Oils; Biodiesel; Catalyst; Preparation Method; Research Status

## 利用地沟油制备生物柴油的研究现状\*

王昌梅, 张无敌<sup>#</sup>, 陈玉保, 尹芳, 刘士清, 赵兴玲, 柳静

云南师范大学, 昆明  
Email: wangcmzf@163.com, <sup>#</sup>wooti@ynnu.edu.cn

收稿日期: 2012年11月28日; 修回日期: 2012年12月14日; 录用日期: 2012年12月23日

**摘要:** 餐饮业规模随着第三产业的迅速发展而日益扩大随之产生的地沟油随之也增多, 若不加以正确使用, 会严重引起环境污染并危及人们的身心健康。地沟油的有效资源化利用途径之一是将其制备成绿色能源生物柴油。以地沟油为原料制备生物柴油的方法有: 碱催化法、酸催化法, 生物酶法及超临界法四种。本文对各种制备方法的研究现状进行了综述, 归纳了各种制备方法的特点及存在的问题, 并提出了相应的合理化建议。

**关键词:** 地沟油; 生物柴油; 催化剂; 制备方法; 研究现状

### 1. 引言

广义的地沟油是指各类劣质油的通称。包括三类, 一是狭义的地沟油, 即将下水道中的油腻漂浮物(地沟油)或者将宾馆、酒楼的剩饭、剩菜(通称泔水)经过简单加工而提炼出的油(泔水油); 二是劣质猪肉、

猪内脏、猪皮加工以及提炼后产出的油; 三是油的使用次数超过规定要求后, 再被重复使用或往其中添加一些新油后重新使用的油<sup>[1]</sup>。

随着经济的发展, 人民生活水平的不断提高, 各类酒楼、宾馆、饭店等餐饮行业日益发达, 随之而产生的地沟油也日益增多。由于地沟油发生水解、氧化、缩合、聚合、酸度增高变化, 在此过程中随之产生游离脂肪酸、脂肪酸的二聚体和多聚体、过氧化物、多环芳烃类物质、低分子分解产物等对人体有毒有害

\*资助信息: 云南省工业与信息化委员会(2011292)、云南省应用基础研究基金(2010CD050)、云南省能源局(20102127)和云南省教育厅科学研究基金(2011Z028)联合资助。

<sup>#</sup>通讯作者。

的物质。由于不正当收购地沟油流回餐桌具有较高利润，不法商贩会走而挺险。

如果人一旦食用掺兑地沟油的食用油时，最初会出现头晕、恶心、呕吐、腹泻等中毒症状，长期食用轻者会使人体营养缺乏、重者内脏严重受损甚至致癌<sup>[2]</sup>。为此，2010年3月18日，国家食品药品监督管理局办公室发布了《关于严防“地沟油”流入餐饮服务环节的紧急通知》(食药监办食[2010]25号)<sup>[3]</sup>，地沟油再次成为人们关注的话题。

生物柴油是指以大豆油和菜籽等油料作物、油棕和黄连木等野生油料植物、工程微藻等水生植物以及动物油脂、餐饮垃圾油等为原料通过酯交换工艺制成的可代替石化柴油的再生性燃料。目前世界各国所使用的生物柴油主要是将动植物油脂与甲醇经酯交换反应后得到的脂肪酸甲酯<sup>[4]</sup>。与石油柴油相比，生物柴油很多优越性能：能减少污染物排放量，保护环境；有较好的润滑性能，降低喷油泵、发动机缸和连杆的磨损率，延长其使用寿命；有较好的安全性能，闪点高，运输及储存安全；使用便捷，对发动机无特殊要求；具有可再生性，作为一种万再生能源，资源不会枯竭<sup>[5]</sup>。由于动植物油脂原料价格昂贵，使得生物柴油的成本远高于石化柴油，限制了生物柴油工业的发展<sup>[6]</sup>。利用废弃地沟油制备生物柴油成为近年来的研究热点，不但可以缓解能源危机、环境污染等社会问题，还提供了废弃食用油脂的合理化利用方式、为防止废弃食用油脂再次返回餐桌提供帮助，具有良好的发展前景。

如果对地沟油不正确加以利用，不但污染环境，还会成为不法商贩专的生财之道，如果不法商贩将地沟油经过简单加工处理后返回餐桌，人们目前没法通过简单的方法判定出是危害极大的地沟油，生命健康将受到严重威胁。因而，尽快实现地沟油的处理和正确利用，达到减少环境污染，最大限度地发挥地沟油真正的使用价值，是目前地沟油处理研究中亟待解决的科研课题<sup>[2]</sup>。使用地沟油制备生物柴油将是减小环境污染、废物能源化和杜绝地沟油流回餐桌保护人们身体健康的利国利民的最好而又最经济的利用途径。

近年来对地沟油制备生物柴油的研究很多，本文综述了以地沟油为原料，采用不同催化剂及不同方法

制备生物柴油的研究现状及存在的问题。

## 2. 生物柴油的制备原理

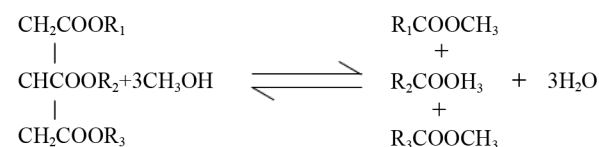
生物柴油的制备是利用甲醇或乙醇等短链醇与动植物脂肪中的甘油三酸酯发生酯交换反应，将甘油三酸酯断裂为长链脂肪酸甲酯或乙酯，从而缩短碳链的长度，降低油料的粘度，改善油料的流动性和汽化性能，生产出粘度与矿物柴油接近的生物柴油。其中，以碱和生物酶作为催化剂进行的是酯交换反应<sup>[7-10]</sup>。

酯交换法反应式为：



影响酯交换反应的影响因素有：甲醇与油脂的摩尔比，反应时间，反应温度，催化剂用量。在具体的实验过程中由于反应选用的工艺不同、催化剂不同，则醇油比、反应时间、催化剂用量也大不相同。化学催化法酯交换反应温度一般控制在 65℃~70℃<sup>[8]</sup>。

而以酸作为催化剂所进行的是酯化反应。酯化法反应式<sup>[11]</sup>为：



酯化反应就是以酸作为催化剂，以-COOH 脱去-OH，-OH 脱去-H，脱去部分结合成水，再把酸和醇剩下的部分相连成新的酯。通常用来作为催化剂的酸是硫酸，也有采用盐酸和硝酸作催化剂的，还有一些其他无机酸也可以用于酯化反应的催化剂，只是催化效果不理想，在经济方面不划算。

超临界法<sup>[12,13]</sup>是不使用任何催化剂，在高温高压下使长链油脂裂解为短链的酯和酸。下面分别对以地沟油为原料制备生物柴油的各种方法进行介绍。

## 3. 地沟油制备生物柴油研究方法

目前已地沟油为原料，制备生物柴油的研究已经取得了很多可喜的成果。生物柴油的制备方法从所使用的催化剂来划分主要有碱催化法、酸催化剂和生物

酶法。还有一种方法就是不使用任何催化剂,依靠高温高压直接裂解制备生物柴油的超临界法。下面分别进行介绍。

### 3.1. 生物酶法

生物酶催化近年来有较多的研究报道,该方法具有反应条件温和、醇用量小、无污染物排放等优点。但酶价格昂贵、催化活性稳定性差、反应时间长,目前难以实现产业化<sup>[14]</sup>。

Shieh 等<sup>[10]</sup>采用脂肪酶催化油脂合成生物柴油已经成为目前研究的热点,利用全细胞催化剂是一个重要的研究方向。Mitsuhiro<sup>[9]</sup>对固定化脂肪酶酯交换催化制备生物柴油行了研究,最终的酯交换率达到 92.2%。安永磊等<sup>[15]</sup>以废物资源转化为宗旨,利用固定化脂肪酶催化餐饮废油与乙醇反应制备生物柴油,生物柴油产率可达 81%。韩春阳等<sup>[16]</sup>以固定化脂肪酶 Novozym435 与 TLIM 混合催化餐饮废油合成生物柴油,结果表明:最佳合成条件为脂肪酶用量为废油质量的 8%,Novozym435 与 TLIM 混合比 3:1,醇油摩尔比 1:1,反应时间 19 h、反应温度 45℃、摇床速度 200 r·min<sup>-1</sup>,甲醇采用两步法添加,甲酯转化率达到 85.7%,脂肪酶在连续反应 266 h 后,催化活性基本没有下降。

采用脂肪酶催化地沟油制备生物柴油的研究还有很多报道,具体参见文献[17-22]。在规模化实际应用中,生物酶法对甲醇及乙醇的转化率普遍较低,一般仅为 40%~60%。由于目前脂肪酶对长链脂肪醇的酯化或转酯化有效,而对短链脂肪醇转化率低,而且短链醇对酶有一定毒性,使酶的使用寿命短。副产物甘油和水难于回收,不但对产物形成抑制,而且甘油也对固定化酶有毒性,使固定化酶使用寿命短。因此,生物酶法合成生物柴油的研究还需要进一步的深化。

### 3.2. 碱催化法

以碱作为催化剂制备生物柴油是制备生物柴油的一直常规化学方法。碱催化法是不可逆反应,在低温下可获得较高产率,反应速度快、醇用量少,目前在工业上已经成功应用。以地沟油为原料,采用碱催化法来制备生物柴油的方法也有很多研究者采用,取得了很多的研究成果。

Tomasevic 等<sup>[23]</sup>在 2003 年以餐饮废煎炸油为研究对象,以 KOH 为催化剂,得出最佳反应条件:醇油摩尔比为 6:1, KOH 用量 1%,反应温度 25℃,反应时间 30 min。经催化酯化得到高品质的生物柴油。张高勇等<sup>[24]</sup>指出,单纯采用碱催化酯交换法,由此产生的生物柴油的损失大,转化率低。应先加入酸性催化剂,对原料进行预酯化,然后加入碱性催化剂进行酯交换。Freedman<sup>[25]</sup>以餐饮业废油脂为原料,原料油首先以硫酸为催化剂,酯化反应后使游离脂肪酸转化为脂肪酸甲酯,然后进入萃取器,分离出的原料油再进入碱催化酯交换单元。王延耀等<sup>[26]</sup>的研究表明,以餐饮业废油脂为原料,反应温度为 70℃,油和醇的物质的量的比为 1:6,以质量分数为 10%的氢氧化钠为催化剂,经过 20~30 min 的反应,酯交换制备生物柴油的产率为 92%。彭荫来<sup>[27]</sup>的实验结果表明,以餐饮业废油脂为原料,常压下反应温度为 60℃,油和醇的质量比为 10:1,以少量氢氧化钠为催化剂,经过预酯化-二步酯交换-酯蒸馏技术路线,制备生物柴油的产率为 99%。成都理工大学工程技术学院核工系的冯维群等<sup>[28]</sup>以餐饮废油为原料,采用液体碱酯交换法制备生物柴油,甲酯转化率可达 94%以上。于海莲<sup>[29]</sup>在碱催化作用下利用餐饮废油合成生物柴油,产率可达 81%,此生物柴油的部分品质指标达到了国外发达国家的标准。李文泽<sup>[30]</sup>利用餐饮废油制取生物柴油,研究表明:用正己烷为溶剂,醇油比为 8:1、用氢氧化钠为催化剂,产率达 90.1%。盛梅等<sup>[31]</sup>研究了餐饮废油的水化脱胶、酸催化预酯化和碱催化酯交换反应制备生物柴油的工艺条件。结果生物柴油总产率达 83%,其各项性能指标基本达到国外同类产品的标准。周星等<sup>[32]</sup>用氢氧化钠作催化剂制备生物柴油,产率可以达到 93.6%,制备的生物柴油产品质量达到国家标准。在研究地沟油制备生物柴油的过程中,有研究者使用一些特殊的催化剂,获得了较好的实验效果。邓益强<sup>[33]</sup>探讨了 NaF/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化餐饮废油与甲醇的酯化反应制备生物柴油,结果表明制备生物柴油的最佳工艺条件为:醇/油摩尔比为 9:1、催化剂用量 2%(质量分数)、反应温度 62℃、反应时间 90 分钟。在最佳工艺条件下产率可达 90%以上。黄艳芹等<sup>[34]</sup>研究了餐饮废油在甲醇钠的催化作用下制取生物柴油,转化率达到 98.89%,其质量指标完全符合柴油优级品的标准。

江苏工业学院的刘星火等<sup>[35]</sup>研究了以硫酸氢钠为催化剂制备生物柴油, 转化率为 98.89%, 得出硫酸氢钠催化废油脂酯化反应具有很高的催化活性, 并认为有良好的工业应用前景。

由于在反应中, 脂肪酸和碱反应产生皂, 在反应体系中起乳化作用, 使产物脂肪酸甲酯与甘油因乳化而无法分离, 所含的水则引起酯水解, 进一步引起皂化反应, 最终减弱催化剂活性。所以碱催化法对原料中游离脂肪酸和水含量有严格限制。因此, 碱催化法在实际生物柴油的制备中受到很大限制。

### 3.3. 酸催化法

酸催化法是可逆反应, 反应温度高, 但脂肪酸和少量水的存在对其影响不大, 尤其适用于以废餐饮油为原料制备生物柴油。以酸作为催化剂, 地沟油为原料制备生物柴油的研究已经有大量的研究结论。

Al-Widyan 等<sup>[36]</sup>研究以 HCl 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 为催化剂, 用废棕搁油与乙醇制取生物柴油, 通过实验得出 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 催化作用优于 HCl, 2.25 mol/L 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 催化下, 酯化反应 3 h, 得到流动性好的轻质生物柴油。Tashtoush<sup>[37]</sup>认为酸催化工艺的反应速率较低, 与碱催化工艺比较需要更大的反应器, 而且为了推动酸催化反应的进行, 需要更高的油脂与醇的进料比。万祯等<sup>[38]</sup>考察了催化剂混合摩尔比、催化剂用量、醇油摩尔比、反应温度、反应时间等因素对生物柴油产率的影响, 得到最佳工艺条件为: 醇油摩尔比为 40:1, 催化剂 n(NaHSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O):n(AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O) = 1.5:1, 催化剂添加量 1 g(约为油重 5%), 反应 9 h, 反应温度 80℃。认为复合催化剂对比单独用 NaHSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 和 AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 有较大的优势。王凡玉等<sup>[39]</sup>人以固体酸为催化剂, 采用釜式反应与固定床反应相结合的方式, 将地沟油预精制成为制备生物柴油的原料油。刘祥华等<sup>[40]</sup>首先用煅烧后的(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化甲醇和餐饮废油脂中的游离脂肪酸进行预酯化反应, 再用煅烧后的 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化甲醇和餐饮废油脂中的甘油三酯进行酯交换反应。结果转酯率达到了 96.85%。苏有勇等<sup>[41]</sup>采用循环气相酯化 - 酯交换 - 水蒸汽蒸馏制备的生物柴油纯度达到 99.5%以上。用地沟油为原料, 采用两步酯化工艺制备生物柴油的研究很多, 参照文献[42-52]。

以酸为催化剂, 地沟油为原料制备生物柴油其实是采用了两步法, 首先进行预酯化, 再进行酯交换翻译, 否则反应不彻底, 所得目标产物生物柴油的转化率就相对较低。

### 3.4. 超临界法

废油在超强酸、超强固体碱和金属氧化物等催化或无催化剂下, 与超临界状态的甲醇、乙醇、正丙醇、正丁醇、正戊醇和正己醇等反应可制成生物柴油<sup>[53]</sup>。

郑典模等<sup>[12]</sup>采用催化裂解工艺利用地沟油经预处理、催化裂解、冷凝分离制备生物燃油, 所得生物燃油再经精馏得汽油、柴油及重油。Madras 等<sup>[13]</sup>对葵花籽油在超临界条件下制备生物柴油的工艺进行了研究, 以超临界甲醇为媒介, 酯交换率达到 96%。Demirbas<sup>[54]</sup>对超临界甲醇中加入 CaO 强化酯化反应进行了研究, 得出 CaO 大大促进了酯化反应的进行, 醇油比为 41:1, 3%用量的 CaO 在 6 min 内酯化反应基本完成。超临界法制备生物柴油因具有环境友好、反应分离同时进行、时间短和转化率高等特点成为近年来研究的热点<sup>[55]</sup>。

超临界流体技术为制备生物柴油提供了一种新的可能, 是一种简单、高效、环境友好的制备工艺。目前超临界法制备生物柴油还处于实验室研究阶段, 工业应用较少, 且主要为间歇操作。如何简化工艺、改善反应条件、实现工业化连续生产、降低生产成本是超临界法制备生物柴油尚需进一步研究的问题。该法具有较好的应用发展前景。

## 4. 结论与展望

随着世界石油化工能源的日益枯竭, 生物柴油作为绿色能源迎来了发展的机遇。当前, 餐饮废油脂来源广泛, 产生量巨大且价廉, 利用餐饮废油脂制备生物柴油具有广阔的市场前景。在我国利用餐饮业废油脂制造生物柴油符合世界上废油脂再利用的大趋势, 既能减少污染又能节省能源, 而且可以废物资源化。

近几年来, 利用地沟油制备生物柴油的专利越来越多。有关此领域的专利也大量涌现, 但离真正工业化还有一定距离。同时, 废油脂杂质含量高、游离脂肪酸多, 也带来新的课题。地沟油生产的生物柴油的国家标准、使用效果还需进一步研究。

使用地沟油制备生物柴油常规方法是先预酯化降酸反应, 再进行酯交换反应得到终产物。由于地沟油大多数都高度氧化和酸化, 其内脂肪酸含量参差不齐, 若采取先进行水解, 将油脂完全水解为脂肪酸, 再进行酯化反应, 这样可以提高产物的得率, 这将是利用地沟油制备生物柴油的一个研究方向。此外, 采用地沟油进行脱氧处理后, 再进行更为科学的一系列有机化学反应, 最终制备为比生物柴油利用价值更大的生物燃油, 这也是将来地沟油利用的一个主要方式。

## 参考文献 (References)

- [1] 焦云鹏. 地沟油鉴别和检测的研究进展[J]. 现代食品科技, 2008, 24(2): 378-390.
- [2] 李臣, 周洪星, 石骏等. 地沟油的特点及其危害[J]. 农产品加工, 2010, 4(6): 79-80.
- [3] 食品药品监督管理局[URL]. www.jlida.gov.cn
- [4] 申泮文, 张允什, 陈声昌. 氯化铝锂新合成方法的研究[J]. 高等学校化学学报, 1982, 3(2): 169-172.
- [5] 胡亚伟, 邸青, 陈玉红等. 生物柴油的制备及发展趋势[J]. 河南化工, 2010, 27(1): 1-2.
- [6] 岳金方, 左春丽, 黄琴. 地沟油制备生物柴油的研究进展[J]. 广州化工, 2010, 38(12): 84-86.
- [7] 符太军, 纪威, 姚亚光等. 地沟油制取生物柴油的试验研究[J]. 能源技术, 2005, 26(3): 106-108.
- [8] 李积华, 刘成梅, 阮荣生等. “地沟油”碱法催化制生物柴油的研究[J]. 江西食品工业, 2004, 17(2): 30-31.
- [9] M. Oda, Masaru, S. Hama, et al. Facilitatory effect of immobilized lipase-producing *Rhizopus oryzae* cells on acyl migration in biodiesel-fuel production. *Biochemical Engineering Journal*, 2005, 23: 45-51.
- [10] C. J. Shieh, H. F. Liao and C. Lee. Optimization of lipase-catalyzed biodiesel by response surface methodology. *Bioresource Technology*, 2003, 88: 103-106.
- [11] 孙培培, 周晓庆, 张无敌等. 月桂酸制备月桂酸甲酯的实验研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2011, 31(60): 37-40.
- [12] 郑典模, 屈海宁, 孙云. 地沟油催化裂解制备生物燃油[J]. 南昌大学学报(工科版), 2010, 32(3): 242-245.
- [13] G. Masras, C. Kolluru and R. Kumar. Synthesis of biodiesel in supercritical fluids. *Fuel*, 2004, 83(14-15): 2029-2033.
- [14] Y. Zhang, M. A. Dube, D. McLean, et al. Biodiesel production from waste cooking oil: Process design and technological assessment. *Bioresource Technology*, 2003, 89(1): 1-16.
- [15] 安永磊, 唐唯森, 高松. 酶法催化餐饮废油制备生物柴油的研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版)增刊, 2006, 36: 147-150.
- [16] 韩春阳, 岳喜庆. 固定化脂肪酶催化餐饮废油合成生物柴油研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(4): 494-496.
- [17] 高松. 酶法催化餐饮废油制备生物柴油的研究[D]. 吉林大学, 2006.
- [18] 吴虹, 宗敏华, 娄文勇. 无溶剂系统中固定化脂肪酶催化废油脂转酯生产生物柴油[J]. 催化学报, 2004, 25(11): 903-908.
- [19] 王钰, 孙海洋, 王芳等. 酶催化地沟油生产的生物柴油的性能研究[J]. 北京化工大学学报, 2007, 34: 111-113.
- [20] Y. Fu, J. Chang, Y.-M. Chen, et al. Study of producing biodiesel from waste oils with immobilized candida lipase. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007, 46: 84-85.
- [21] 陈英明, 吕鹏梅, 陆继东等. 地沟油酶法制备生物柴油的GC-MS测定[J]. 化学与生物工程, 2007, 24(10): 72-74.
- [22] 王昌梅, 张无敌, 陈玉保等. 脂肪酶法制备生物柴油的研究现状及展望[J]. 石油化工, 2011, 40(8): 907-911.
- [23] A. V. Tomasevic, S. S. Siler-Marinkovic. Methanolysis of used frying oil. *Fuel Processing Technology*, 2003, 81(1): 1-6.
- [24] 张高勇, 李天栋. 脂肪酸烷基酯的生产工艺[P]. 中国专利: 1050556, 1991-04-10.
- [25] B. Freedman, E. H. Pryde. Variable affecting the yield of fatty acid esters from vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1984, 61: 1683-1693.
- [26] 王延耀, 李里特, 小岛孝之等. 废弃植物油再利用的研究与试验[J]. 可再生能源, 2004, 2: 20-22.
- [27] 彭荫来. 利用餐饮业废油脂制造生物柴油[J]. 城市环境与城市生态, 2001, 14(4): 54-56.
- [28] 冯维群, 常兰, 曾霞. 餐饮废油脂交换法制备生物柴油的优化研究[J]. 科技信息, 2007, 24: 455-457.
- [29] 于海莲, 张利, 胡震. 餐饮废油合成生物柴油及其工艺因素的考察[J]. 油脂工程, 2008, 39(1): 70-72.
- [30] 李文泽, 杨瑞芹, 张晓玲等. 餐饮废油制生物柴油最优反应条件的研究[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2008, 35(2): 147-149.
- [31] 盛梅, 田大亮, 曹国民. 利用餐饮废油制备生物柴油[J]. 中国资源综合利用, 2008, 26(3): 5-9.
- [32] 周星, 陈立功, 刘利. 高动物油含量餐饮废油制备生物柴油[J]. 后勤工程学院学报, 2010, 26(4): 35-39.
- [33] 邓益强, 王海波, 吴承勇. NaF/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化餐饮废油制备生物柴油的研究[J]. 怀化学院学报, 2010, 29(2): 57-59.
- [34] 黄艳芹. 餐饮废油催化转化制取生物柴油研究[J]. 新乡学院学报(自然科学版), 2008, 25(4): 30-32.
- [35] 刘星火, 李为民, 姚超等. 硫酸氢钠对废油脂酯化催化作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(29): 87-89.
- [36] M. I. Al Widyan, A. O. Al Shyoukh. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresource Technology*, 2002, 85(3): 253-256.
- [37] G. M. Tashtoush. Experimental study on evaluation and optimization of waste animal fat into biodiesel. *Energy Covers Manage*, 2004, 45(17): 697-711.
- [38] 万斌, 张胜涛. 复合固体酸催化餐饮废油合成生物柴油的研究[J]. 河北化工, 2008, 31(1): 37-39.
- [39] 王凡玉, 林西平, 鄂国英. 地沟油制备生物柴油的预精制[J]. 粮食与食品工业, 2008, 15(3): 6-9.
- [40] 刘祥华, 刘灿明, 吴苏喜. 固体酸碱催化餐饮废油脂制备生物柴油[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 31-34.
- [41] 苏有勇, 张无敌, 戈振扬等. 餐饮业废油制备生物柴油的研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(11): 64-68.
- [42] 田养儒. 两步法催化餐饮废油制备生物柴油及其可行性研究[D]. 西北农林科技大学, 2008.
- [43] 李为民, 姚建, 杨洪丽. 地沟油制备生物柴油[J]. 粮食与食品工业, 2008, 15(1): 22-24.
- [44] 陈安, 余明, 徐焱等. 利用地沟油开发生物柴油——固酸、固碱两步非均相催化[J]. 中国油脂, 2007, 32(5): 40-43.
- [45] 张勇. 利用地沟油制备生物柴油[J]. 中国油脂, 2008, 33(11): 48-50.
- [46] 刘鹏展, 欧仕益, 汪勇等. 两步法催化泔水油制备生物柴油的研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(5): 59-62.
- [47] 大连理工大学. 一种利用高酸值废弃油脂生产生物柴油的方法[P]. 中国专利: 1861752A, 2006-11-15.
- [48] 许家胜, 阴翔宇, 张杰等. 生物柴油制备新工艺的研究进展[J]. 可再生能源, 2010, 28(3): 107-111.
- [49] 郭萍梅, 黄凤洪, 黄庆德等. 四氯化锡对高酸值油脂酯化催化作用的实验研究[J]. 中国油脂, 2004, 29(12): 68-70.
- [50] 季凯莉, 刘荣厚. 餐饮废油脂交换法制备生物柴油的试验研究

## 利用地沟油制备生物柴油的研究现状

- [J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 189-191.
- [51] 钟鸣. 磷酸催化地沟油制备生物柴油的研究[J]. 信阳师范学院学报, 2008, 28(4): 570-572.
- [52] 李臣, 刘玉环, 罗爱香. 新型两步法餐饮废油制备生物柴油[J]. 油脂工程, 2007, 38(2): 61-64.
- [53] 王存文, 肖建华, 吴元欣等. 生物柴油超临界制备工艺[P]. 中国专利: 1594504A, 2005.
- [54] A. Demirbas. Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide. *Energy Conversion and Management*, 2007, 48(3): 937-941.
- [55] D. Kusdiana, S. Saka. Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresource Technology*, 2004, 91(3): 289-295.