

猪油油脂产品开发利用研究进展

朱 巍¹, 刘成国^{1,2,*}

(1.湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128; 2.食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 我国是生猪饲养大国, 具有巨大的猪油油脂资源, 如何合理利用猪油油脂成为了人们日益研究的课题。本文简要介绍了猪油油脂的特性, 猪油油脂的抗氧化研究进展, 并对国内外以猪油油脂为原料进行产品开发和利用现状进行了综述, 分析了当前应用中存在的问题, 并对研究方向进行了展望。

关键词: 猪油; 抗氧化; 油脂产品

Progress in Development and Utilization of Lard Products

ZHU Wei¹, LIU Chengguo^{1,2,*}

(1.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2.Hunan Province Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, China)

Abstract: China is a leading pig producer in the world that has a huge lard resource. How to utilize lard rationally has increasingly become a hot topic among researchers. In this review, physicochemical properties of lard and recent progress made in the study of lard protection against oxidation are described. The current status of the development and utilization of lard products is illustrated, and problems encountered in the application of lard products in the food and biofuel industries are analyzed. Moreover, future research directions are discussed.

Key words: lard; protection against oxidation; oil and fat products

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.02.009

中图分类号: TS225.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 02-0040-05

引文格式:

朱巍, 刘成国. 猪油油脂产品开发利用研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(2): 40-44. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.02.009. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

ZHU Wei, LIU Chengguo. Progress in development and utilization of lard products[J]. Meat Research, 2016, 30(2): 40-44. (in Chinese with English abstract) DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.02.009. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

统计数据显示, 肉猪的出栏数从2007年的5.7 亿头猛增至2012年的7 亿头, 每年五花猪油产量850~1 130 万t, 猪板油产量达到2 260~2 830 万t (中华人民共和国国家统计局网)。由此可见, 我国拥有巨大的猪油油脂资源可供开发利用^[1]。由于猪油中硬脂酸等饱和脂肪酸含量过高, 长期食用会引发高血压、高血脂、心脏病等疾病, 常常被认为是不健康的食品。但是猪油和一般植物油相比, 有不可替代的特殊香味, 能提供极高的热量, 含有多种脂肪酸且富含VA和VE。因此如何合理利用此类油脂资源正日渐成为一个十分重要的研究课题。

1 理化特性及加工现状

1.1 猪油的理化特性

猪油油脂其主要组成成分为脂肪酸甘油酯其中还

含有少量的游离脂肪酸、磷脂、胆固醇和色素等杂质。其所含脂肪酸的种类和含量见表1。油酸、棕榈酸、硬脂酸占到了猪膘油脂总量的90%以上。

表1 猪油脂中脂肪酸的种类和含量^[2]
Table 1 Fatty acid composition of lard^[2]

脂肪酸	分子式	含量/%	双键数
油酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	49.05	1
棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	26.61	0
硬脂酸	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	14.66	0
亚油酸	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	4.73	2
棕榈油酸	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	1.53	1
肉豆蔻酸	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	1.35	0
其他		1.97	

猪油油脂的皂化值192~200 mg KOH/g、碘值46~66 mg I/g、折光率1.453 9~1.461 0, 熔点

收稿日期: 2015-10-25

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303082)

作者简介: 朱巍(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail: 920257946@qq.com

*通信作者: 刘成国(1964—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: lcgwei@126.com

28~48℃，相对密度0.915~0.923，凝固点22~32℃^[3]。猪油油脂是一种重要的动物油脂，不同地区不同猪种的油脂含量是不同的。其本身的结构和一般的动物性油脂有一定区别。一般情况下猪油油脂在常温下呈固态。

1.2 猪油油脂的加工现状

1.2.1 猪油的提取方法

猪油油脂主要来自生猪屠宰切割分离而得到的脂肪组织，由于大部分的脂肪组织含有少量蛋白质和水所以需要油脂的提取。常用的猪肥膘油脂提取的方法有：蒸煮法、熬制法。

蒸煮法的原理就是在压力条件下，加入蒸汽，通过加热使油脂从脂肪细胞中释放出来，其工艺流程为：原料→休整→粗切→洗涤→绞碎→蒸煮→去杂→沉淀→毛油。

熬制法首先要选择合适的油脂原料，进行修正后，去除肌肉、碎骨、淋巴、血等非脂肪组织、以免熬煮时产生焦糊味或者产生动物胶而引起油脂乳化。再将修正好的原料切成小块，用水冲洗掉表面的异物和异味，沥水后用绞肉机绞碎，以便于油脂更快地从脂肪细胞中出来，缩短提取时间。然后将原料放入压力罐中，加入水蒸气蒸煮，使蛋白质变性、破坏脂肪组织细胞，使脂肪流出。通过离心分离杂质，沉淀过滤分离后得到粗油，在经过精炼得到成品油。熬制法所得到的油脂产品色泽浅、风味较为柔和，且游离脂肪含量较低。目前大规模的工厂化生产主要采用的方法就是熬制法，熬制法提取动物油脂的主要优点是成本低、操作简单且不添加任何化学试剂，所提取的油脂安全性很高。

熬制法其原理是通过加热脂肪组织，使其细胞破裂从而使油脂溢出。其工艺流程为：原料→休整→整切→洗涤→绞碎→熬制→过滤→沉淀→精制。熬制法和蒸煮法处理前期基本一致，得到粗油后精制可得到成品油。目前，干法熬制和湿法熬制的工艺技术有了长足进展，使得工业上可以通过低温连续熬制生产。

张明杰等^[4]在传统炼油方法的基础上，对干法炼制加以改进，得出一种新的炼制方法——油浸法。油浸法是通过将已经提炼好的猪油加入油浴锅中，再加入猪肥膘，进行恒温炼制。其研究表明油浸法相对于传统的湿法炼制，其达到最大出油率的时间明显要早，且提炼温度为140℃时，猪油的出油率最高，为69%。所提炼出来的猪油油脂品质符合国家一级食用猪油的标准。

1.2.2 动物油脂加工利用过程中存在的问题

目前市面上的猪油和家庭炼制猪油的保质期相对较短，稳定性较差。其原因有：1) 酸价太高。酸价太高容易使油脂变质，因为油脂中的游离脂肪酸是油脂变质的促进剂和变质产物。2) 水分含量高。由于在屠宰、切割、运输过程中会带入水分，加上猪肥膘本身水分含量不低，所以没有经过精炼的猪油水分含量较高，容易

引起油脂变质。3) 含有多种杂质。未精炼的猪油含有少量的蛋白质等胶质，多数是油炸微粒，猪油碱炼之后很难洗涤。4) 过氧化物值高。猪油中的游离脂肪酸、水、蛋白质使油脂变质，产生过氧化物，使油脂的过氧化物值增高。此外，猪油油脂本身所含的天然抗氧化剂含量较低(0.005%~0.0029%)，是米糠油、棕榈油的1/4~1/200(表2)^[5]。

表2 油脂中VE的含量

Table 2 Vitamin E contents in lard, beef tallow and vegetable oils

项目	猪油	牛油	棕榈油	大豆油	菜籽油
VE含量/%	0.0005~0.0029	0.001	0.002~0.05	0.009~0.28	0.05

2 猪油油脂的抗氧化性

猪油油脂中含有1%左右的亚麻酸和4%以上的亚油酸，且不含任何天然抗氧化剂。将其放置于空气中极容易被氧化(特别是温度较高时)，活性氧法(active oxygen method, AOM)只有8~10h。猪油油脂本身容易氧化变质，从而产生对人体健康有害的酸败物质，所以近年来对于猪油油脂的抗氧化性研究相对较多。

2.1 猪油油脂氧化原理^[6]

氧化酸败是猪油油脂变质的主要原因，油脂中不饱和和酸酯和空气氧化分解成低分子羰基的化合物，具有特殊的气味。主要的氧化类型有3种：自动氧化、光敏氧化和酶促反应。其中光敏氧化和酶促氧化是油脂自动氧化的主要启动因素。从机理上看，油脂的自动氧化是一个自由的反应，包括链引发、链传递、链终止3个阶段。从反应过程来看，自动氧化过程分为5个步骤，反应过程可用图1表示：

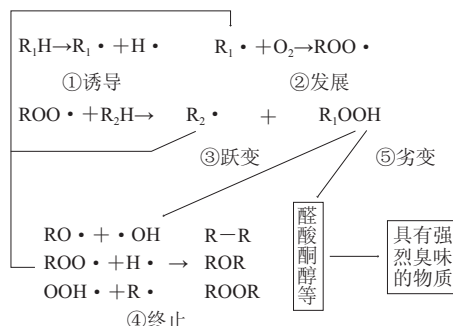


图1 油脂自动氧化过程

Fig.1 Automatic oxidation process of oil and fat

2.2 猪油油脂的抗氧化性研究结果

近年来对猪油的抗氧化研究较多，特别是对猪油脂抗氧化剂的研究。由于食品合成抗氧化性的安全性备受质疑，所以近年来人们主要对天然植物提取物对猪油的抗氧化性的研究，其原理是通过添加抗氧化剂来减少和

清除自由基的产生,从而提高油脂的抗氧化性。

丁小雯等^[7]通过对比研究鲜柚皮提取液和柚皮干粉对猪油油脂自动氧化的影响,得出鲜柚皮提取液的抗氧化作用能力强于柚皮干粉。2%的鲜柚皮正丁醇提液、乙酸乙酯提液、0.8%的柚皮乙醇提液的油脂抗氧化能力与0.02%的二丁基羟基甲苯相当,当柚皮提取液添加量达到16%时抗氧化性明显且未出现促氧化现象。杨玉红^[8]研究了酢浆草多酚对猪油油脂的抗氧化性作用,以过氧化值(peroxide value, POV)作为测量指标,得出酢浆草多酚的油溶剂型的氧化效果要优于水溶剂型。当添加量在0.02%~0.04%时,抗氧化效果明显,且在酢浆草多酚中添加柠檬酸后,抗氧化效果明显提高,可以作为一种天然的抗氧化剂。

3 国内外猪油油脂产品的开发利用研究进展

随着猪肥膘资源的增加,如何合理利用这些资源正变得越来越重要。猪油油脂作为一种重要的动物油脂,其通过加工技术可以生产出多种食品、化工产品以及生物燃料等。

3.1 猪油控制氧化制作肉味香精

肉味香精是一种重要的食品添加剂,已经广泛应用于肉类制品、方便食品和膨化食品中,其主要用于产品的调香、呈味^[9]。以脂类作为原料,用氧化脂肪参与热反应制取的肉味香精,能获得良好的肉香风味^[10]。采用脂肪控制氧化技术制备的肉味香精,不仅肉香味浓郁、和谐,而且各种肉类的特征香味突出。成坚^[11]、谢建春^[12]等分别研究了美拉德反应和鸡脂肪氧化制备鸡肉香精。猪油油脂作为一种重要的动物油脂通过控制氧化可以制取肉味香精。孙宝国等^[13]优化了猪油控制氧化工艺,得出的较优工艺:反应温度140℃、时间4h、空气流速为0.012 m³/(h·100 g猪油);氧化条件POV 270~400 meq/kg,茴香胺值大于200,酸值小于4.0 mg KOH/g。

3.2 利用动物油脂生产母乳替代脂肪

随着现代社会的发展,社会节奏的加快,以婴儿配方乳粉为代表的母乳替代产品变得越来越受欢迎。起初婴儿配方乳粉中加入的主要为牛乳脂肪,但是牛乳脂肪和人乳脂肪相比,脂肪酸含量和结构上存在一定差异。两者棕榈酸含量相差不大,但牛乳脂肪中以sn-1位上的棕榈酸为主,含量为总棕榈酸的34%,而母乳脂肪中以sn-2位棕榈酸为主,占总量的70%^[14]。目前国内的婴儿乳粉配方多改用植物油脂(主要为棕榈油)来调整乳粉中脂肪酸的组成和含量。但是,牛乳和植物油脂中的棕榈酸主要分布在sn-1或sn-3位上,进入人体后被胰脂肪酶水解为游离脂肪酸,容易与食物中的钙离子反应形成钙皂排

泄出来,造成钙的流失和利用度较差^[15-16]。而sn-2位棕榈酸单甘酯在机体内可与胆汁盐形成乳糜微粒,容易被人体吸收,从而提高了人体脂肪酸的吸收率。猪油油脂富含sn-2位棕榈酸,经过加工可以作为比牛乳脂肪更合适的婴儿乳粉的脂肪添加剂。

猪油合成人乳脂可通过酶促合成法来合成,一种是酯交换法,一种是酶促酸解法。酯交换法是指通过脂肪酶的催化,二种不同组成的甘油三酯(triglyceride, TG)或TG和简单酰基酯之间发生反应,酯类分子之间的酰基发生交换而得到目的脂质的方法。da Silva等^[17-18]利用酯交换法以猪油油脂和大豆油脂为原料,研制出品质优良的人乳脂替代产品。彭丽娟^[19]以sn-1,3专一性脂肪酶为催化剂将猪油油脂和游离脂肪酸进行酶促酯交换反应,制备人乳化结构油脂。其最佳工艺为:反应温度60.42℃、猪油与脂肪酸物质的量比为1:2.08、反应时间1.05 h、酶与底物比4 000 U/g。由此得出的母乳化脂肪棕榈酸含量为20.35%,其中sn-2位棕榈酸含量达到棕榈酸总量的71.68%。国内学者对酶促酸解法研究较多。李昕倩^[20]以Candida sp.99-125脂肪酶(酯化和转酯化脂肪酶)为催化剂,催化猪油与油酸酸解合成结构脂。

3.3 低胆固醇保健猪油加工技术

胆固醇作为机体内重要的固醇类物质,既是动物细胞的重要组成也是体内激素、维生素等物质合成的前提,对机体有很重要的作用。人体内大约2/3的胆固醇由肝脏、小肠壁等器官合成,称为内源性胆固醇。另外从食品中获取的胆固醇约占1/3,称为外源性胆固醇。高的胆固醇摄入量被认为是高血压,心脏病等心血管疾病的元凶。而猪油油脂中的胆固醇含量很高,而降低猪油中胆固醇的含量能够提高猪油油脂的在食品行业的实用性^[21]。

陈少东等^[22]利用富含黄酮类的中草药对猪油进行炼制,有效降低了猪油油脂胆固醇的含量。肖杨等^[23]通过研究β-环糊精包埋法对降低猪油油脂胆固醇的效果,以搅拌温度、搅拌时间和添加量为因素建立胆固醇脱除率的回归方程得出:搅拌时间90 min、搅拌温度45℃、β-环糊精添加量8.5%,脱胆固醇效果较理想。

3.4 利用动物油脂生产生物燃油

现代生活对能源的需求越来越多,可再生能源和产品的开发变得非常紧迫。我国国内有大量的猪油油脂的可以充分开发利用。同时大量废猪油^[24]不能加工进入食品工业链,也可以充分利用。利用猪油油脂制备生物柴油的研究报道^[25-26]近年来有所增加。国外目前对于动物油脂在生物柴油的方面的研究主要是牛油^[27],美国和日本已将猪油用于生物柴油的生产^[28]。国内以猪油为生物柴油原料的研究相对较少^[29],目前主要集中在甲醇为酰基受体的转酯化工艺研究^[30]。

李卫林等^[31]以猪油为原料通过酯交换得到甲酯产



品,并测定了相关的理化指标。在碱催化猪油制备生物燃油方面,刘宝亮等^[32]将猪油和甲醇在CaO的催化作用下进行酯交换制取生物柴油,得出最适宜反应条件为:反应温度60℃、CaO质量分数2.0%、油醇体积比为1:6、反应时间150 min,其最高转化率为93.68%。吴闯^[33]以KOH作为碱性催化剂,通过单因素及正试验得出最佳反应条件为:反应温度60℃、油甲醇体积比4:1、KOH用量为1.1% (油重)、反应时间45 min,产率91.94%,脂肪酸甲酯含量为96.3%。白斌等^[34]对新型催化剂SXL催化猪油生成生物柴油的工艺进行了研究,生物柴油的产率和转化率均达到98%以上。由于甲酯反应中甲醇及其反应副产物甘油对酶有毒害作用^[35]限制了生物柴油的大规模生产,而作为酰基受体乙酸甲酯比甲醇在工艺上具有更多优势,比如乙酸甲酯及其反应副产物三乙酸甘油酯对酶没有毒害作用,利于酶的回收再利用^[36]。但是该工艺所需要的脂肪酶较多,工艺成本增加。黄瑛等^[37]以乙酰乙酯作为酰基受体,以Novozym435、Lipozyme TLIM两种商业化固定脂肪酶为催化剂进行协同催化,不仅提高了生物柴油甲酯的得率,而且降低了酶的使用成本,为该工艺大规模生产研究奠定了技术理论基础。

3.5 液化猪油加工技术

把固态猪油油脂变成液态猪油油脂是猪油在食品工业中应用研究的重点,国内外学者在此领域多有研究。猪油液化猪油3种方法:第一种是将猪油和植物油相互酯化;第二种是脂肪酶催化猪油转脂合成液化猪油。第三种是分离法,分离除去猪油中碘值低、饱和脂肪酸含量较高的部分,使常温下呈液态的部分留下。

目前研究较多的液化工艺为干法分提法。朱向菊等^[38]通过对油脂的同质多晶的探讨,分析了干法提取液化猪油的理论可行性。张东明^[39]在对猪油油脂液化的研究中,对传统二次干法分提工艺进行了改进,在保持原有液油得率和液油质量的情况下,工艺时间由原来的30~50 h缩短到最短时间15 h,生产效率得到很大提高,并初步探讨了酶法制备液态猪油的基本条件。

3.6 粉末化猪油加工技术

粉末油脂是指把油脂、蛋白质、乳化剂、淀粉、抗氧化剂等物质混合后通过特殊加工工艺加工成粉末状体态的油脂,它既保留了油脂本身固性,又能弥补传统油脂的不足之处^[40]。粉末油脂大体分为4种:分子微胶囊法、乳化干燥法、吸附法和冷却固化法。相对于传统油脂,粉末油脂有三大优点:第一,提高了油脂的抗氧化性,使油脂不易劣变,提高了产品的货架期;第二,提高了油脂的实用性,更加方便使用和添加;第三,便于运输和贮藏。

肖勋伟等^[41]利用猪油与油溶性乳化剂、水溶性乳化

剂及壁材在一定条件下混匀、乳化、均质,再经过喷雾干燥得到粉末化猪油。以大豆分离蛋白、可溶性淀粉和 β -环状糊精为壁材;单甘酯作为亲油乳化剂,吐温-60作为亲水乳化剂,以明胶作为稳定剂制备含油量40%粉末猪油。

4 结 语

猪油油脂作为可再生资源,产量巨大,来源较广,应用前景巨大。在食品方面,通过酯化、液化、粉末化等技术能够更好地将猪油油脂产品能应用于食品领域,增加其应用价值;工业上,通过水解、加氢、复分解、甘油醇解、酯化等工艺处理,可制取多种有价值的化学产品,猪油在制药工业、冶金工业、制革工业上的应用还有待进一步研究发展;生物燃油方面,猪油油脂转化为生物柴油不仅能充分利用过剩的猪油,还有利于缓解燃油的紧张局势,但是成本过高,转化和回收率不高,产品品质有待提高等问题。总之猪油油脂的开发利用还有待进一步研究,合理开发利用将有利于提高猪油油脂的整体价值。

参考文献:

- [1] 符剑刚,钟宏.猪油的开发利用[J].粮油食品科技,2003,11(4):28-30. DOI:10.3969/j.issn.1007-7561.2003.04.012.
- [2] 姚蒙正.精细化工产品合成原理[M].2版.北京:中国石化出版社,2000:595-597.
- [3] 章朝晖.猪油的化学处理与利用[J].精细石油化工进展,2000,1(11):28-32. DOI:10.3969/j.issn.1009-8348.2000.11.009.
- [4] 张明杰,韩振民,潘腾,等.湿炼及油浸提两种方式对猪油品质的影响[J].肉类研究,2012,26(10):22-25.
- [5] 田仁林.猪油的利用[J].粮油食品科技,1986(2):13-16.
- [6] 穆同娜,张惠,景全荣,等.油脂的氧化机理及天然抗氧化物的简介[J].食品科学,2004,25(增刊1):241-244.
- [7] 丁小雯,苏晔.柚皮及提取液抑制猪油氧化作用的研究[J].西南农业大学学报,2002,22(5):414-416.
- [8] 杨玉红.酢浆草多酚对动物油脂的抗氧化作用研究[J].科学试验与研究,2015(6):10-12. DOI:10.3969/j.issn.0529-6005.2015.07.026.
- [9] 肖作兵,杨斌,王婷婷.脂肪控制氧化制备鸡肉香精前体物的工艺研究[J].食品工业,2008(1):41-43.
- [10] 孙宝国.肉味香精技术进展[J].食品科学,2004,25(10):339-342.
- [11] 成坚,刘小艳.氧化鸡油通过Maillard反应生成鸡肉风味物质的研究[J].食品与发酵工业,2005(6):40-43. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2005.06.012.
- [12] 谢建春,孙宝国,汤渤.鸡脂控制氧化-热反应制各鸡肉香精[J].精细化工,2006(2):141-144.
- [13] 孙宝国,文志勇,梁梦兰,等.猪油控制氧化的工艺研究[J].中国油脂,2005,30(2):48-51. DOI:10.3321/j.issn:1003-7969.2005.02.015.
- [14] JEAN C M, PHILIPPE B. Triacylglycerol structure of human colostrum and mature milk[J]. American Oil Chemists' Society, 1993, 28(7): 637-643.
- [15] 韩瑞丽,马健,张佳程,等.棕榈酸在甘油三酯中的位置分布对婴儿营养吸收的影响[J].中国粮油学报,2009,24(5):81-83.



- [16] 赵亚东, 霍贵成. 固定化脂肪酶催化酯交换制备母乳脂肪替代物[J]. 油脂加工, 2010, 35(12): 12-15.
- [17] da SILVA R C, COTTING L N, TATYANE P, et al. The effects of enzymatic interesterification on the physical-chemical properties of blends of lard and soybean oil[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42: 1275-1282.
- [18] da SILVA R C, de MARTINI S F A S, HAZZANA M, et al. Continuous enzymatic interesterification of lard and soybean oil blend: effects of different flow rates on physical properties and acyl migration[J]. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2012, 76: 23-28.
- [19] 彭丽娟. 猪油酶法制备母乳化结构油脂的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [20] 李昕倩. 脂肪酶催化猪油酸解成人乳脂替代品[D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
- [21] 张根旺. 油脂的营养与健康[J]. 中国油脂, 2008, 33(5): 4-7. DOI:10.3321/j.issn:1003-7969.2008.05.002.
- [22] 陈少东, 邓小莲, 谢光盛, 等. 低胆固醇保健猪油的研制[J]. 中国油脂, 1999, 24(2): 7. DOI:10.3321/j.issn:1003-7969.1999.02.002.
- [23] 肖杨, 罗永康, 于海燕, 等. β -环糊精脱除猪油中胆固醇的研究[J]. 肉类研究, 2005, 19(11): 40-43.
- [24] 邹华生, 雷敏, 李剑, 等. 超声场中钙基固体碱催化猪油制备生物柴油[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012, 40(9): 8-13. DOI:10.3969/j.issn.1000-565X.2012.09.002.
- [25] WANG Z C, HU F, WEI F X, et al. Biodiesel production from lard oil via extraction and enzyme catalyzed transesterification[J]. Applied Chemical Industry, 2009, 38(3): 345-348.
- [26] JEONG G T, YANG H S, PARK D H. Optimization of transesterification of animal fat ester using response surface methodology[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(1): 25-30.
- [27] ALCANTARA R, AMORES J, CANOIRA L, et al. Catalytic production of biodiesel from soy-bean oil used frying oil and tallow[J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 18: 515-527.
- [28] 王凤芹, 王艳颖, 谢慧, 等. 我国生物柴油原料来源的多样性探讨[J]. 氨基酸和生物资源, 2008, 30(1): 4-9. DOI:10.3969/j.issn.1006-8376.2008.01.002.
- [29] 黄瑛, 郑海, 闫云君. 叔丁醇体系中动物油脂制备生物柴油[J]. 北京化工大学学报, 2007, 34(5): 549-552. DOI:10.3969/j.issn.1671-4628.2007.05.023.
- [30] 黄瑛, 高欢, 郑海, 等. 脂肪酶协同催化猪油合成生物柴油工艺研究[J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28(1): 30-35. DOI:10.3969/j.issn.1671-8135.2008.01.006.
- [31] 李卫林, 刘英瑛, 杨元匹, 等. 废猪油甲酯化制取生物柴油的研究[J]. 南平师专学报, 2006, 25(4): 39-42. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2109.2006.04.010.
- [32] 刘宝亮, 曹桂萍, 吴文杰. 固体碱催化猪油制备生物柴油[J]. 太阳能学报, 2012, 33(8): 80-83.
- [33] 吴闯. 碱催化猪油制备生物柴油的研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(32): 8695-8698; 8711. DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2012.32.047.
- [34] 白斌, 陈邦, 李聪, 等. 新型催化剂对猪油制备生物柴油的研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2012, 42(2): 236-240. DOI: 10.3969/j.issn.1000-274X.2012.02.015.
- [35] DOSSAT V, COMBES D, MARTY A, et al. Continuous enzymatic transesterification of high oleic sunflower oil in a packed bed reactor: influence of the glycerol production[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1999, 25: 194-200.
- [36] DU W, XU Y Y, LIU D H, et al. Comparative study on lipase-catalyzed transformation of soybean oil for biodiesel production with different acyl acceptors[J]. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2004, 30: 125-129.
- [37] 黄瑛, 高欢, 郑海, 等. 脂肪酶协同催化猪油合成生物柴油工艺研究[J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28(1): 30-35. DOI:10.3969/j.issn.1671-8135.2008.01.006.
- [38] 朱向菊, 裘爱泳. 脂肪同质多晶及其研究方法[J]. 粮食与油脂, 2004(12): 10-12. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2004.12.003.
- [39] 张东明. 猪膘脂肪液化工艺研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [40] 赵国志, 刘喜亮, 刘智锋, 等. 粉末油脂技术与产品特性[J]. 粮食与油脂, 2005(10): 3-6. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2005.10.001.
- [41] 肖勋伟, 梅小弟. 粉末化猪油工艺的研究[J]. 中国油脂, 2005, 30(2): 52-55. DOI:10.3969/j.issn.1000-274X.2012.02.015.