

# 常规抗氧化剂在生物柴油中的抗氧化和油溶性能研究

周 黎<sup>1,2</sup>, 李法社<sup>1,2</sup>, 徐文佳<sup>1,2</sup>, 张小辉<sup>1,2</sup>, 申加旭<sup>1,2</sup>, 隋 猛<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 昆明 650093; 2. 省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室, 昆明 650093)

**摘 要:** 根据《中国药典》(2015版)中规定的方法和Rancimat法研究常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的抗氧化性能和油溶性能及其关联性能。结果表明:10种常规抗氧化剂均能在一定程度上提高地沟油生物柴油的抗氧化性能,只是抗氧化效果差别较大。在常温20℃时,常规抗氧化剂的油溶性能相对较差,差别也较大,10种常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的油溶性能由大到小的顺序为:丁基羟基茴香醚(BHA)>特丁基对苯二酚(TBHQ)>植酸(PA)>二特丁基对苯二酚(D-TBHQ)>没食子酸丙酯(PG)>没食子酸辛酯(OG)>抗坏血酸(Vc)>没食子酸甲酯(MT)>L-抗坏血酸棕榈酸酯(AP)>没食子酸(GA)。10种常规抗氧化剂的油溶性能均随温度的升高而得到改善,但溶解特性变化不大,在一定程度上10种常规抗氧化剂的抗氧化性能的良莠与油溶性能两者之间关联性不强。

**关键词:** 抗氧化剂; 生物柴油; 抗氧化性能; 油溶性能

**中图分类号:** TQ645; TK63 **文献标识码:** A

## 0 引 言

生物柴油是典型的“绿色能源”,与化石能源相比,生物柴油对促进经济的可持续发展、推进能源替代、减轻环境压力、控制城市大气污染均具有重要作用及发展潜力<sup>[1-3]</sup>。但生物柴油在储存、运输过程中不可避免地会被氧化,中国国家标准规定,生物柴油氧化稳定性不可低于6 h,而大多数生物柴油性能很难达到这一标准。因此,优化生物柴油的氧化稳定性是生物柴油研究开发过程中必须面对和解决的问题之一<sup>[4]</sup>。

目前,研究最多、应用最广泛的方法是在生物柴油中添加抗氧化剂,用来提高生物柴油的抗氧化性能。常规抗氧化剂具有良好的抗氧化效果,但其在生物柴油中的溶解能力较小<sup>[5]</sup>,影响了其在生物柴油中的抗氧化效果。抗氧化剂的油溶性能一般用溶解度和油溶度来表示,溶解度是指100 mL生物柴油中溶解抗氧化剂的质量,油溶度是指溶解1 g抗氧化剂所需的生物柴油体积。文献[6,7]采用贝壳松脂丁醇值法研究了

葵花籽油甲酯的溶解性以及影响溶解性的因素,但该方法测定的是溶剂对极性有机化合物的相对溶解能力,并不能直接反映出抗氧化剂在生物柴油中的溶解能力。周建平等<sup>[8]</sup>研究了维生素E、2,6-二叔丁基对甲酚、特丁基对苯二酚、儿茶素、抗坏血酸等抗氧化剂在水、乙醇、植物油脂、乙酸乙酯中的溶解实验以及其在植物油脂中的抗氧化性试验。

目前,研究抗氧化剂在生物柴油中抗氧化效果的文章很多,但研究其在生物柴油中的油溶性能的甚少,因此本试验研究常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的抗氧化效果和油溶性能,以期优化生物柴油氧化稳定性提供理论和数据基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

地沟油:云南盈鼎生物能源股份有限公司提供;地沟油生物柴油:采用循环气相酯化-酯交换-

收稿日期:2017-05-02

基金项目:国家自然科学基金(51766007);云南省自然科学基金(2018FB092);省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室自设项目(CNMRCUTS1704);NSFC云南联合基金(U1602272)

通信作者:李法社(1978—),男,博士、副教授,主要从事能源与动力工程方面的研究。asan97@qq.com

甲醇蒸汽蒸馏精制连续制备工艺<sup>[9-11]</sup>自制;超纯水:自制;甲醇、无水乙醇、丙酮、正己烷、石油醚、硫酸(98%)等均为分析纯;常规抗氧化剂的物性参数及生产厂家如表 1。

表 1 常规抗氧化剂的物性参数

Table 1 Physical parameters of conventional antioxidants

试剂名称	分子式	分子量	规格	生产厂家
抗坏血酸(Vc)	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	176.13	分析纯	上海试四赫维化工有限公司
L-抗坏血酸棕榈酸酯(AP)	C <sub>22</sub> H <sub>38</sub> O <sub>7</sub>	414.53	分析纯	东京化成工业株式会社
没食子酸辛酯(OG)	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>5</sub>	282.33	分析纯	东京化成工业株式会社
叔丁基对苯二酚(TBHQ)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	166.22	色谱纯	上海颖心实验室设备有限公司
焦没食子酸(PA)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	126.11	分析纯	梯希爱化成工业发展有限公司
没食子酸甲酯(MT)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>5</sub>	184.15	分析纯	上海康朗生物科技有限公司
没食子酸丙酯(PG)	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	212.20	分析纯	J&K CHEMICAL LTD.
丁羟基茴香醚(BHA)	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	180.20	分析纯	武汉荆隆化工有限公司
二特丁基对苯二酚(D-TBHQ)	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	222.32	分析纯	武汉三涇医药化工有限公司
没食子酸(GA)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub> H <sub>2</sub> O	188.13	分析纯	国药集团化学试剂有限公司

## 1.2 试验装置与仪器

恒温磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;超声波清洗器,上海科导超声仪器有限公司;Rancimat873 生物柴油氧化稳定性测定仪,瑞士万通中国有限公司;SHZ 循环水真空泵,北京世纪森朗实验仪器有限公司;Classic 威立雅生物实验室超纯水仪,英国 EL-GA LabWater 公司;R-215 旋蒸蒸发器,瑞士 BUCHI 公司;电子天平,上海天平仪器厂生产的 FA604 型。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 生物柴油氧化稳定性测定方法

采用 Rancimat 法(欧洲标准方法 EN 14112-2003)测定生物柴油的氧化稳定性<sup>[12]</sup>。将油样在特定温度下连续通入空气,氧化产物会被流动的空气携带进入另一个装有超纯水的检测皿内,超纯水的电导率随时间而变化,电导率的变化用电极测出,以电导率与时间作图,得出电导率与时间的变化曲线,求该曲线的二阶导数得出油样的诱导期。诱导期是指超纯水电导率随时间发生突变的时间,可通过求曲线斜率的方法得到。诱导期的时间越长,说明该样品的氧化稳定性越好,进而用以评价生物柴油样品的氧化稳定性,这种方法也被称为酸败仪测定法,其测定原理流程测定如图 1 所示,电导率与时间的变化曲线及其二阶导数曲线等如图 2 所示。

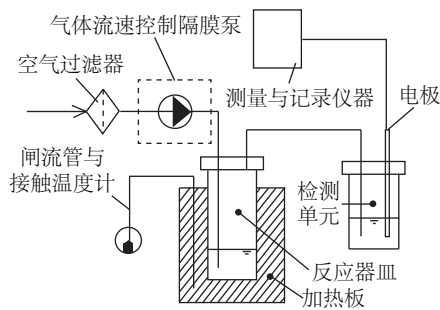


图 1 氧化稳定性测试原理流程图  
Fig. 1 Schematic diagram of oxidation stability test

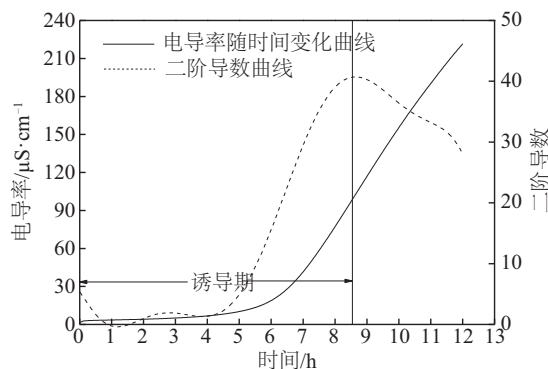


图 2 测试样品氧化稳定性曲线图  
Fig. 2 Oxidation stability curve of test sample

### 1.3.2 抗氧化剂油溶性能测定方法

根据《中国药典》(2015 版)凡例规定采用“极易溶解、易溶、溶解、略溶、微溶、极微溶解、几乎不溶或不溶”来描述药品在溶剂中的溶解性能<sup>[13]</sup>。

本文借鉴此方法,测定抗氧化剂在生物柴油中的溶解性能。测定方法为在特定恒温下,量取 100 mL 生物柴油,置于 250 mL 的锥形瓶中,将锥形瓶放入恒温浴中,用温度计测量油样的温度,温度需稳定在特定温度 15 min 以上,称取一定量粉状抗氧化剂,置于特定温度的油样中,间隔 5 min 强力震摇 30 s;观察 30 min 内的溶解情况,至无肉眼可见颗粒时,视为完全溶解。

## 2 结果与讨论

### 2.1 常规抗氧化剂对地沟油生物柴油的抗氧化效果

地沟油生物柴油中添加 2000 mg/kg 的常规抗氧化剂<sup>[14,15]</sup>,测定其氧化稳定性能,得出常规抗氧化剂在地沟油生物柴油抗氧化效果,其结果如表 2。由表 2 可知,空白地沟油生物柴油的诱导期为 1.61 h,远低于我国生物柴油氧化稳定性国家标准要求(6 h)。添加 2000 mg/kg 常规抗氧化剂后,生物柴油氧化稳定性能有一定程度的提高,只有 V<sub>c</sub>和 AP 这 2 种抗氧化剂抗氧化效果较差,仍达不到我国生物柴油国家标准规定值,且有些远超过规定值,如 TBHQ 抗氧化剂在添加 2000 mg/kg 后,其诱导期数值高达 23.26 h,也是 10 种抗氧化剂对地沟油生物柴油的抗氧化效果最好的一种。但在试验过程中发现大多种类的抗氧化剂的油溶性能均较差,常温下很难溶解在生物柴油中,需借助超声波或提高生物柴油温度辅助溶解,花费很长时间才能溶解一小部分,很难使添加的 2000 mg/kg 完全溶解,给实际生产应用使用造成一定困难。

表 2 常规抗氧化剂对地沟油生物柴油的抗氧化效果

Table 2 Antioxidant effect of conventional antioxidants on cooking oil biodiesel

抗氧化剂种类	诱导期/h	抗氧化剂种类	诱导期/h
未添加	1.61	OG	13.68
V <sub>c</sub>	1.84	MT	14.46
AP	2.97	PG	14.53
BHA	8.29	GA	16.46
D-TBHQ	10.36	TBHQ	23.26
PA	11.21		

### 2.2 抗氧化剂的油溶性能

在 20 ℃时,常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的油溶性能测定结果如表 3 所示。由表 3 知,不同种类的抗氧化剂在地沟油生物柴油中的油溶性能差别较大,抗氧化剂 BHA 的油溶性能最好,在地沟油生物柴油的溶解度为 34.6528 g/100 mL,抗氧化剂 GA 的最差,仅为 0.0013 g/100 mL,其余 8 种抗氧化剂油溶性能介于两者之间,但差别较大,其油溶性能由大到小的顺序为:BHA>TBHQ>PA>D-TBHQ>PG>OG>V<sub>c</sub>>MT>AP>GA。通过分析抗氧化剂的分子结构,对于油溶性能较好的抗氧化剂,官能团带有的亲水基—OH 较少,分子极性较弱,对于油溶性能较差的抗氧化剂,官能团中带有较多的亲水基—OH,分子极性较强,而生物柴油主要由 C<sub>16</sub>~C<sub>18</sub>的长链脂肪酸基团通过与甘油骨架相连而成,其分子属于非极性分子。由相似相溶原理知,分子极性较弱的抗氧化剂油溶性能较好。例如在抗氧化剂 GA 和 MT 的分子结构中,其苯环上都带有 3 个相邻的—OH;而在抗氧化剂 BHA 的分子结构中,其苯环上只带有 1 个—OH,因此,抗氧化剂 BHA 在地沟油生物柴油中的溶解度比抗氧化剂 GA 和 MT 大得多。

表 3 常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的油溶性能

Table 3 Oil solubility of conventional antioxidants in biodiesel

抗氧化剂	溶解度/g·(100 mL) <sup>-1</sup>	油溶度/mL·g <sup>-1</sup>
BHA	34.6528	2.89
TBHQ	0.6636	150.69
PA	0.3625	275.86
D-TBHQ	0.1248	801.28
PG	0.0985	1015.23
OG	0.0405	2469.14
V <sub>c</sub>	0.0122	8196.72
MT	0.0095	10526.32
AP	0.0036	27777.78
GA	0.0013	76923.08

### 2.3 生物柴油温度对抗氧化剂油溶性能的影响

常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的溶解度和油溶度随温度的变化见表 4。由表 4 可知,随着温度的升高,抗氧化剂在地沟油生物柴油中的

溶解度逐渐增大,油溶度逐渐减小,且随温度变化明显。这是因为抗氧化剂溶解于地沟油生物柴油中要吸收一定的热量,当温度升高时,溶解平衡向着温度升高的方向移动,此外,温度越高分子热运动越剧烈,分子扩散速度越快,从而其溶解速率加快。例如,在这 10 种常规抗氧化剂中,抗氧化剂 AP 的油溶度较大,尤其是在温度较低时,随着温度的升高,油溶度迅速减小,从 0 ℃升高到 40 ℃时,油溶度从

125000 mL/g 降低到 15384.62 mL/g,减小了 8 倍,也说明温度对抗氧化剂 AP 的油溶性能影响较大。即使是抗氧化效果较好、油溶性能稍好的 TBHQ 和 D-TBHQ,温度对其影响更大,从 0 ℃升高到 40 ℃时,油溶度分别从 523.01 mL/g 和 5882.35 mL/g 降低到 14.13 mL/g 和 148.24 mL/g,减小近 40 倍。故在添加此类抗氧化剂时,升温可有效加速溶解速率,提高抗氧化剂的油溶性能。

表 4 常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的溶解度与油溶度随温度的变化

抗氧 化剂	0 ℃		10 ℃		20 ℃		30 ℃		40 ℃	
	溶解度	油溶度	溶解度	油溶度	溶解度	油溶度	溶解度	油溶度	溶解度	油溶度
BHA	11.3268	8.83	22.9856	4.35	34.6528	2.89	47.7088	2.10	62.5648	1.60
TBHQ	0.1912	523.01	0.4136	241.78	0.6636	150.69	3.0702	32.57	7.0780	14.13
PA	0.0204	4901.96	0.1451	689.18	0.3625	275.86	0.4052	246.79	0.6784	147.41
D-TBHQ	0.0170	5882.35	0.0410	2439.02	0.1248	801.28	0.2642	378.50	0.6746	148.24
PG	0.0178	5617.98	0.0362	2762.43	0.0985	1015.23	0.1325	754.72	0.1655	604.23
OG	0.0084	11904.76	0.0154	6493.51	0.0405	2469.14	0.0842	1187.65	0.1179	848.18
V <sub>c</sub>	0.0027	37037.04	0.0083	12048.19	0.0122	8196.72	0.0203	4926.11	0.0286	3496.50
MT	0.0016	62500.00	0.0048	20833.33	0.0095	10526.32	0.0150	6666.67	0.0235	4255.32
AP	0.0008	125000.00	0.0021	47619.05	0.0036	27777.78	0.0057	18543.86	0.0065	15384.62
GA	0.0005	200000.00	0.0010	100000.00	0.0013	76923.08	0.0017	58823.53	0.0021	47619.05

注:溶解度单位为 g/100 mL;油溶度单位为 mL/g。

2.4 常规抗氧化剂的溶解特性分析

根据《中国药典》(2015 版)规定:极易溶解,系指溶质 1 g(mL)能在溶剂不到 1 mL 中溶解;易溶,系指溶质 1 g(mL)能在溶剂 1~10 mL 中溶解;溶解,系指溶质 1 g(mL)能在溶剂 10~30 mL 中溶解;略溶,系指溶质 1 g(mL)能在溶剂 30~100 mL 中溶解;微溶,系指溶质 1 g(mL)能在溶剂 100~1000 mL 中溶解;极微溶解,系指溶质 1 g(mL)能在溶剂 1000~10000 mL 中溶解;几乎不溶或不溶,系指溶质 1 g(mL)在溶剂 10000 mL 中不能完全溶解。

不同温度下 10 种常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的溶解特性分析结果见表 5。由表 5 可知,常温(20 ℃)下常规抗氧化剂无极易溶解的,易溶的只有抗氧化剂 BHA,微溶的有抗氧化剂 TBHQ、PA 和 D-TBHQ,极微溶解的有 PG、OG 和 V<sub>c</sub>,几乎不溶或不溶的有抗氧化剂 MT、AP 和 GA。说明在常温下 10 种常规抗氧化剂的油溶

性能较差,只有 BHA 的油溶性能较好,尤其是 MT、AP 和 GA 的油溶性能更差,在地沟油生物柴油中几乎不溶,这 3 种抗氧化剂抗氧化效果即使再好也不适合在生物柴油中应用。同种抗氧化剂随温度的变化,其在生物柴油中的油溶性能好,但溶解特性变化不大,如:抗氧化剂 MT 在 30 ℃之前为几乎不溶或不溶,30 ℃之后为极微溶解,抗氧化剂 AP 和 GA 在 0~40 ℃之间均为几乎不溶或不溶。

2.5 抗氧化剂的抗氧化性与油溶性能的关联特性

常温 20 ℃下,抗氧化剂的抗氧化性能与油溶性能的关联特性如图 3 所示。由图 3 可知,常规抗氧化剂中抗氧化性能较好的抗氧化剂主要是 TBHQ、GA、PG、MT、OG、PA 和 D-TBHQ 等,其油溶性能均不太好,油溶性能最好的是 TBHQ、PA 和 D-TBHQ,但其溶解特性仅为微溶,GA 和 MT 油溶性能更差,其溶解特性为几乎不溶或不溶,直接



影响抗氧化剂在生物柴油中的应用。AP 和 V<sub>c</sub> 的抗氧化效果和油溶性能均较差,所以 AP 和 V<sub>c</sub> 不适合在生物柴油中应用。BHA 的抗氧化性能一般,但其油溶性能好,也是这 10 种常规抗氧化剂

中油溶性能最好的一种抗氧化剂,在地沟油生物柴油中添加 2000 mg/kg 时的抗氧化效果能达到国家标准,虽远不如 TBHQ 的抗氧化效果好,但很适合做生物柴油的抗氧化剂。

表5 不同温度下常规抗氧化剂在地沟油生物柴油的溶解特性  
Table 5 Solubility of conventional antioxidants in cooking oil biodiesel at different temperature

抗氧化剂种类	0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃	40 ℃
BHA	易溶	易溶	易溶	易溶	易溶
TBHQ	微溶	微溶	微溶	略溶	溶解
PA	极微溶解	微溶	微溶	微溶	微溶
D-TBHQ	极微溶解	极微溶解	微溶	微溶	微溶
PG	极微溶解	极微溶解	极微溶解	微溶	微溶
OG	几乎不溶或不溶	极微溶解	极微溶解	极微溶解	微溶
V <sub>c</sub>	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	极微溶解	极微溶解	极微溶解
MT	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	极微溶解	极微溶解
AP	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶
GA	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶	几乎不溶或不溶

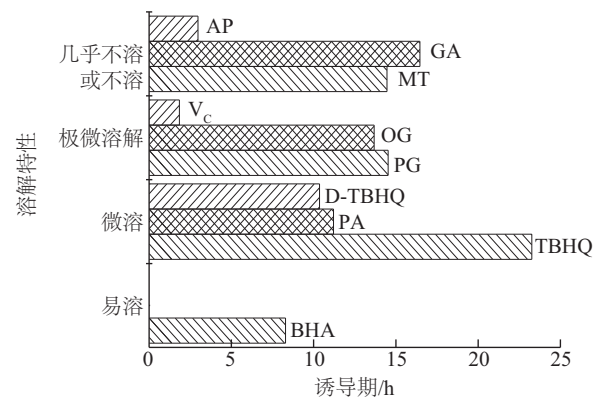


图3 抗氧化剂的抗氧化性能与油溶性能的关联特性  
Fig. 3 Correlation between antioxidant properties and oil solubility of antioxidants

在一定程度上抗氧化剂的抗氧化性能与油溶性能两者之间关联性不强。抗氧化剂的分子结构影响抗氧化剂的抗氧化性能及油溶性能,起到抗氧化作用的官能团与油溶性能的官能团不同,致使抗氧化剂的抗氧化性能与油溶性能关联性不强。因此,生物柴油抗氧化剂的抗氧化性能与油溶性能均有待于进一步优化。

### 3 结 论

1)10 种常规抗氧化剂均能在一定程度上提高地沟油生物柴油的抗氧化性能,只是抗氧化效

果差别较大。  
2)在常温 20 ℃时,常规抗氧化剂的油溶性能均相对较差,差别也较大,10 种常规抗氧化剂在地沟油生物柴油中的油溶性能由大到小的顺序为 : BHA>TBHQ>PA>D- TBHQ>PG>OG>V<sub>c</sub>>MT>AP>GA。  
3)10 种常规抗氧化剂的油溶性能均可随温度的升高而得到改善,但溶解特性变化不大。  
4)在一定程度上 10 种常规抗氧化剂的抗氧化性能的良莠与油溶性能两者之间关联性不强。

### [参考文献]

[1] 蓝颖春. 生物柴油的未来无限光明[J]. 地球, 2015, (3): 58—60.  
[1] Lan Yingchun. Infinite future of biodiesel [J]. Earth, 2015, (3): 58—60.  
[2] 李雪梅, 刘守庆, 敖新宇, 等. 生物柴油的抗氧化研究进展[J]. 生物质化学工程, 2010, 44(4): 56—59.  
[2] Li Xuemei, Liu Shouqing, Ao Xinyu, et al. Research progress on antioxidation of biodiesel [J]. Biomass Chemical Engineering, 2010, 44(4): 56—59.  
[3] 张文毓. 生物柴油的研究及应用进展[J]. 化学与粘合, 2016, 38(2): 143—146.

- [3] Zhang Wenyu. The research and application progress of biological diesel oil[J]. Chemistry and Adhesion, 2016, 38(2): 143—146.
- [4] 李法社, 包桂蓉, 王 华, 等. 小桐子脂肪酸在超临界甲醇中酯化反应动力学的研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(5): 531—535.
- [4] Li Fashe, Bao Guirong, Wang Hua, et al. Kinetics of esterification reaction of *Jatropha curcas* L. fatty acid in supercritical methanol[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2010, 31(5): 531—535.
- [5] 李法社, 李 明, 包桂蓉, 等. 生物柴油原料油的理化性能指标分析[J]. 中国油脂, 2014, 39(2): 94—97.
- [5] Li Fashe, Li Ming, Bao Guirong, et al. Physicochemical properties of biodiesel feedstock oils[J]. China Oils and Fats, 2014, 39(2): 94—97.
- [6] Hu Jianbo, Du Z, Zhang Tang, et al. Study on the solvent power of a new green solvent: Biodiesel[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2004, 43(24): 7928—7931.
- [7] 张光林. 溶剂油[M]. 北京: 中国石化出版社, 1995.
- [7] Zhang Guanglin. Solvent oil[M]. Beijing: Sinopec Press, 1995.
- [8] 周建平, 郭 华. 几种抗氧化剂的溶解特性及其在大豆油中的应用[J]. 湖南农业大学学报: 自科版, 1999, 25(3): 208—212.
- [8] Zhou Jianping, Guo Hua. Solubility of a few kinds of antioxidants and their applied experiments of soybean oil[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 1999, 25(3): 208—212.
- [9] 苏有勇. 小桐子油制备生物柴油的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [9] Su Youyong. Study on preparation of biodiesel from tung seed oil[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2015.
- [10] 李法社, 申加旭, 包桂蓉, 等. 小桐子生物柴油氧化稳定性能的试验研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(1): 50—54.
- [10] Li Fashe, Shen Jiaxu, Bao Guirong, et al. Effects of ten antioxidants on oxidation stability of *Jatropha curcas* L. biodiesel[J]. China Oils and Fats, 2014, 39(1): 50—54.
- [11] 孙中凯. 水解-气相酯化两步法制备生物柴油的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
- [11] Sun Zhongkai. Study on preparation of biodiesel by hydrolysis gas phase esterification two step[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014.
- [12] Botella L, Bimbela F, Martín L, et al. Oxidation stability of biodiesel fuels and blends using the Rancimat and PetroOXY methods. Effect of 4-allyl-2, 6-dimethoxyphenol and catechol as biodiesel additives on oxidation stability[J]. Frontiers in Chemistry, 2014, 2: 43.
- [13] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [13] National Pharmacopoeia Committee. People's Republic of China pharmacopoeia[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015.
- [14] 鞠 敏. 三种天然抗氧化物质的活性比较及其协同抗氧化作用的研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [14] Ju Min. Comparison of the activity of three kinds of natural antioxidants and their synergistic antioxidant effects[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.
- [15] 李法社, 杜 威, 包桂蓉, 等. 地沟油生物柴油氧化稳定性能的改进研究[J]. 昆明理工大学学报: 自然科学版, 2014, 39(2): 12—18.
- [15] Li Fashe, Du Wei, Bao Guirong, et al. Improving research on oxidative stability of ditch oil biodiesel[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology, 2014, 39(2): 12—18.

## ANTIOXIDANT AND OIL SOLUBLE PROPERTIES OF CONVENTIONAL ANTIOXIDANTS IN BIODIESEL

Zhou Li<sup>1,2</sup>, Li Fashe<sup>1,2</sup>, Xu Wenjia<sup>1,2</sup>, Zhang Xiaohui<sup>1,2</sup>, Shen Jiaxu<sup>1,2</sup>, Sui Meng<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming 650093, China)

**Abstract:** According to the method of “Chinese pharmacopoeia” (2015 edition) and Rancimat, we study the conventional antioxidants oxidation resistance and oil soluble and their associated performance in biodiesel. The results indicated that ten kinds of conventional antioxidants can improve the oxidation resistance of biodiesel to some extent, but the antioxidant effect are different. At the normal temperature of 20 °C, the oil solubility of conventional antioxidants are relatively poor, and the distinction are large. The order of oil solubility of ten kinds of conventional antioxidants is as fellows: BHA>TBHQ>PA>D-TBHQ>PG>OG>V<sub>c</sub>>MT>AP>GA. The oil solubility of ten kinds of conventional antioxidants is improved with the increase of temperature, but no obvious change in solubility. To a certain extent, There is no strong correlation between the antioxidant properties of 10 conventional antioxidants and their oil soluble properties.

**Keywords:** antioxidants; biodiesel; oxidation resistance; oil soluble property