

## 电化学介导羧酸与醇的酯化反应

钟赟哲<sup>a,b</sup> 陈颖<sup>b,c</sup> 俞磊<sup>\*,c</sup> 周宏伟<sup>\*,b</sup><sup>(a)</sup> 浙江师范大学化学与材料科学学院 浙江金华 321004)<sup>(b)</sup> 嘉兴学院生物与化学工程学院 浙江嘉兴 314001)<sup>(c)</sup> 扬州大学化学化工学院 江苏扬州 225002)

**摘要** 通过电化学介导羧酸和醇反应合成了一系列酯类化合物。该策略通过温和和绿色的电化学合成方式进行, 反应在室温下即可发生, 无需惰性气体保护, 过程中也无需使用强酸和金属催化剂等进行辅助催化。反应在无隔膜电解槽中以恒流模式进行, 以较高的收率生成酯化产物。相比有机试剂促进的酯化反应, 该方案不残留需柱层析分离的副产物, 可适用难于反应的叔丁醇。

**关键词** 电化学介导; 酯化反应; 有机电合成

## Electrochemical Mediated Esterification Reaction of Carboxylic Acids and Alcohols

Zhong, Yunzhe<sup>a,b</sup> Chen, Ying<sup>b,c</sup> Yu, Lei<sup>\*,c</sup> Zhou, Hongwei<sup>\*,b</sup><sup>(a)</sup> College of Chemistry and Materials Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)<sup>(b)</sup> College of Biological, Chemical Sciences and Engineering, Jiaxing University, Jiaxing, Zhejiang 314001)<sup>(c)</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Zhejiang 225002)

**Abstract** A series of esters were prepared by electrochemical synthesis of carboxylic acids with alcohols. This protocol can be carried out at room temperature without inert atmosphere, strong acids or metal catalysts, etc. The esterification reaction processes in an undivided electrolytic cell with constant current mode and the esterification products are generated in good yields. Compared with esterification promoted by organic reagents, this protocol avoids the byproducts which have to be separated by column chromatography and successful for tertiary alcohol which is generally difficult to undergo esterification directly, providing a new access to the esterification of carboxylic acids and alcohols.

**Keywords** electrochemical mediation; esterification reaction; electromechanical synthesis

酯化反应是有机合成中最重要的反应之一, 在工业制备、天然产物与药物分子的合成中有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。其中, 芳香酯类化合物常应用于化工原料、香料、化妆品的生产<sup>[2]</sup>, 内酯类化合物则广泛作为药物中间体应用于药物的设计与合成<sup>[3]</sup>。在现有的酯化制备路径中, 较为经典的是由羧酸和醇在强酸催化剂的作用下加热直接生成酯类<sup>[4]</sup>, 该类方案由于强酸的存在不能兼容分子中附带酸敏感官能团, 对反应设备有较严重腐蚀, 而且通常情况下, 羧酸与醇的酯化反应并不完全, 需要共沸除水等处理。还有一类广泛应用的方法是在体系中加入有机促进剂<sup>[5]</sup>, 该类方法条件温和、官能团适用性好, 但是会产生不易分离的缩合剂衍生物, 常需要柱层析分离

纯化产物, 不利于大规模制备。因此, 近年来报道了一系列新的酯化方案。其中, 非均相酸催化剂通过将酸官能团附着在固体载体上进行催化酯化, 常见的载体包括交换树脂、沸石、杂多酸等<sup>[6]</sup>, 然而它们通常体积较大、价格较贵且原料转化不完全, 不利于规模化生产。此外, 也有一些研究开发了酶催化、微波催化和离子液体催化等方法<sup>[7]</sup>, 但是这些反应的适用范围往往存在限制<sup>[8]</sup>。因此, 开发温和、方便、易纯化且官能团适用性好的酯类合成策略具有一定的研究意义。

电化学合成利用电能作为化学转化的驱动力, 已被证明是构建分子的有力工具<sup>[9]</sup>。在这方面, 电化学合成提供了一种温和且高原子经济性的方式来实现反应物

\* Corresponding authors. E-mail: zhouhw@zju.edu.cn; yulei@yzu.edu.cn

Received February 5, 2023; revised March 24, 2023; published online April 21, 2023.

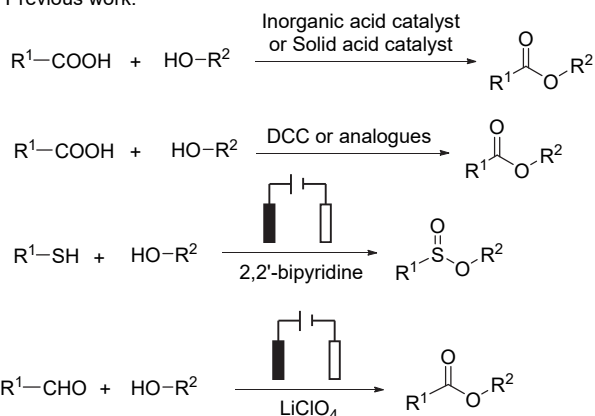
Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 22071082).

国家自然科学基金(No. 22071082)资助项目。

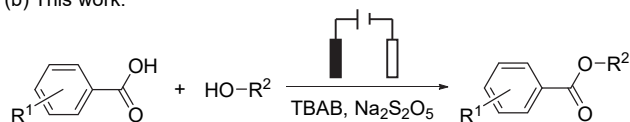
的实际转化<sup>[10]</sup>. 它避免了使用复杂、有毒且难分离的化学还原剂和氧化剂, 具有原子经济、绿色环保等显著优势. 近年来, 合成化学界开始重新关注这种适用于有机合成的强大工具<sup>[11]</sup>.

不久前, Aoyama 课题组<sup>[12]</sup>报道了一种硫醇与醇的 electrochemical esterification 反应的新方法(Scheme 1a), 但该反应需要使用昂贵的 2,2'-联吡啶配体辅助催化, 且该配体会残留在体系中需柱层析分离, 不适合规模化应用. 此外, 蒙秀金课题组<sup>[13]</sup>还开发了一种从醛和醇合成酯的 electrochemical 方法(Scheme 1a), 但反应需要使用易爆的高氯酸锂作为试剂, 且同样需要柱层析分离. 对其应用造成了一定限制. 本文尝试用电化学策略进行羧酸和醇的直接酯化探究(Scheme 1b), 我们发现羧酸与醇在电化学促进下能高效反应生成酯类, 这为酯化反应提供了简易、方便、可放大的新途径.

(a) Previous work:



(b) This work:



图式 1 直接合成酯类化合物的酯化反应研究  
Scheme 1 Research of the direct esterification of esters

## 1 结果与讨论

### 1.1 反应条件的优化

以苯甲酸(**1a**)和乙醇(**2a**)为底物, 筛选反应的电流、添加剂、溶剂和电极(表 1). 以石墨为阳极, 铂为阴极, 四丁基溴化铵(TBAB)与焦亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )为添加剂, 苯甲酸(1 equiv.)为底物, 乙醇为溶剂与反应物, 电流为 5 mA 时, 反应在 10 h 左右停止, 产物目标的收率仅为 54%(表 1, Entry 1). 当电流增加到 10 mA 时, 反应在 6 h 时产率最高, 提高到 86%(表 1, Entry 2). 而进一步增大电流却对最终的收率没有太大的影响(表 1, Entry 3). 当溴代四丁基铵(TBAB)换为 KBr 时, 目标产物的收率仅

为 25%(表 1, Entry 4), 当 TBAB 换为 KCl 时, 未观察到目标产物 **3a** 的生成(表 1, Entry 5).

随后, 使用 1.5 mmol 乙醇作为反应物, 对反应的溶剂进行筛选. 在乙腈溶剂中, 反应收率为 56%(表 1, Entry 6); 溶剂为 *N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)时, 目标产物收率为 47%(表 1, Entry 7); 溶剂为 1,2-二氯乙烷(DCE)时, 目标产物收率仅为 37%(表 1, Entry 8). 当溶剂为丙酮时, 目标产物收率可达 83%(表 1, Entry 9). 最后对反应电极进行筛选, 当石墨作为阳极和阴极时, 目标产物 **3** 的收率仅为 48%(表 1, Entry 10); 当以玻碳为阳极, 铂为阴极时, 目标产物 **3** 的收率有所下降, 仅为 62%(表 1, Entry 11); 而当反应的阳极和阴极均为铂时, 反应未能产生目标产物(表 1, Entry 12). 接下来的控制实验表明, 当不通入电流时, 反应无法进行(表 1, Entry 13); 当不添加  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  时, 反应同样无法产生目标产物(表 1, Entry 14). 综上所述, 该反应的最佳条件为: 以低级醇为反应物时, 醇直接作为溶剂; 当醇的用量为 1.5 equiv. 时, 丙酮是反应的良好溶剂. 电源上设置为 10.0 mA 恒流, 以 TBAB/ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  为添加剂, 石墨为阳极, 铂为阴极.

在上述最佳反应条件的基础上, 我们开展了克级反应的尝试(表 1, Entry 15). 实验结果表明, 随着反应时间的延长, 目标产物 **3a** 仍然可以达到 76% 的收率, 未出现明显的降低趋势. 由此可见反应动力学方面的限制并不是该反应的主要限制因素, 而扩散限制可能是导致反应产率降低的主要因素之一. 由此可见, 该电化学合成反应在放大实验中仍然是一种有效的合成方法.

### 1.2 不同羧酸与乙醇的反应

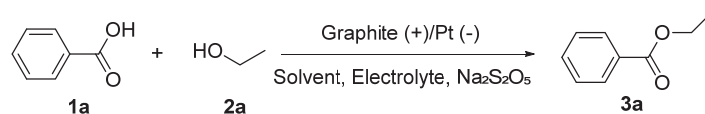
在得到最佳反应条件后, 对反应的底物范围进行了研究. 考察了一系列芳香酸, 酯化产物收率为 75%~86%. 当选择乙醇作为反应底物时, 反应在 6 h 左右即可完成, 此时目标产物的收率可达 86%(表 2, **3a**~**3t**). 苯甲酸的苯环上不同的取代基均可获得高收率的反应产物(表 2, **3a**~**3p**). 值得指出的是, 稠环甲酸与杂环甲酸也可以良好的收率得到产物(表 2, **3q**~**3t**).

### 1.3 不同醇类底物及其衍生物的适用性

随之, 研究了该反应对不同醇类的适用性. 结果显示, 各种脂肪醇的均可以有效地进行酯化反应. 值得指出的是, 通常难以反应的叔醇在该条件下可以得到 70% 以上的收率(表 3, **4ea**~**4ed**), 芳香酸的苯环取代基不影响该结果(表 3, **4eb**, **4ec**, **4ed**), 证明本方法的普适性. 也尝试了其他常见的底物, 可以看到苯酚与苄醇适用该反应(表 3, **4f**, **4ga**~**4gb**), 对强酸敏感的丙炔醇和烯丙醇也能获得较好的收率(表 3, **4i**~**4j**). 综上所述, 本方法在适用性上具有独特的优势.

表 1 酯化反应条件优化<sup>a</sup>

Table 1 Optimization of the reaction conditions on the esterification reaction

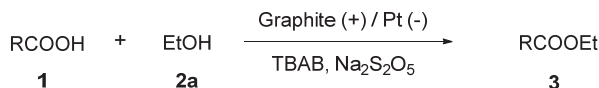


| Entry           | Additive                                           | Solvent            | Current/mA | Electrode                 | Yield <sup>b</sup> /% |
|-----------------|----------------------------------------------------|--------------------|------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 <sup>c</sup>  | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 5          | Graphite (+)/Pt (-)       | 54                    |
| 2 <sup>d</sup>  | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 86                    |
| 3 <sup>e</sup>  | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 15         | Graphite (+)/Pt (-)       | 84                    |
| 4               | KBr/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | EtOH               | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 25                    |
| 5               | KCl/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | EtOH               | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | NR                    |
| 6               | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CH <sub>3</sub> CN | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 56                    |
| 7               | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | DMF                | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 47                    |
| 8               | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | DCE                | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 37                    |
| 9               | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Acetone            | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 83                    |
| 10              | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 10         | Graphite (+)/Graphite (-) | 48                    |
| 11              | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 10         | Glassy carbon (+)/Pt (-)  | 62                    |
| 12              | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 10         | Pt (+)/Pt (-)             | NR                    |
| 13 <sup>f</sup> | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | —          | Graphite (+)/Pt (-)       | NR                    |
| 14 <sup>g</sup> | TBAB                                               | EtOH               | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | NR                    |
| 15 <sup>h</sup> | TBAB/Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | EtOH               | 10         | Graphite (+)/Pt (-)       | 76                    |

<sup>a</sup> Reaction conditions: undivided cell with graphite anode (4 cm×0.5 cm×0.2 cm), Pt cathode (4 cm×0.5 cm×0.2 cm) and glassy carbon (4 cm×0.5 cm×0.2 cm), **1a** (1 mmol), **2a** (1.5 mmol), TBAB (0.5 mmol), Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.5 mmol), EtOH (5.0 mL), room temperature; <sup>b</sup> Isolated yield. NR=no reaction. <sup>c</sup> Reaction time 10 h. <sup>d</sup> Reaction time 6 h. <sup>e</sup> Reaction time 5 h. <sup>f</sup> No current. <sup>g</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is not employed. <sup>h</sup> Gram-level reaction: **1a** (10 mmol), **2a** (15 mmol), TBAB (5 mmol), Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (5 mmol), EtOH (50 mL), room temperature, 10 mA, 30 h.

表 2 不同羧酸与乙醇反应的底物范围<sup>a</sup>

Table 2 Reaction scope for the substrate by EtOH with different aromatic acids



|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>3a</b> , 86% | <b>3b</b> , 83% | <b>3c</b> , 78% | <b>3d</b> , 82% | <b>3e</b> , 79% | <b>3f</b> , 84% | <b>3g</b> , 80% |
|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>3h</b> , 84% | <b>3i</b> , 76% | <b>3j</b> , 85% | <b>3k</b> , 83% | <b>3l</b> , 78% | <b>3m</b> , 75% | <b>3n</b> , 81% |
|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>3o</b> , 76% | <b>3p</b> , 79% | <b>3q</b> , 79% | <b>3r</b> , 82% | <b>3s</b> , 75% | <b>3t</b> , 77% |                 |

<sup>a</sup> Reaction conditions: undivided cell with graphite anode and Pt cathode, **1** (1 mmol), **2** (1.5 mmol), TBAB (0.5 mmol), Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.5 mmol), EtOH (5.0 mL), room temperature.

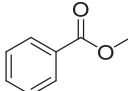
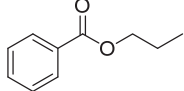
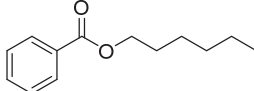
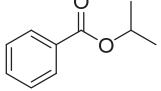
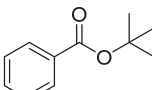
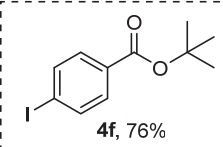
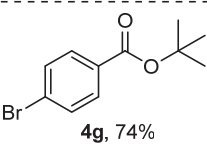
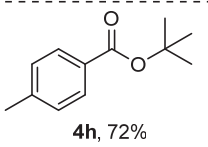
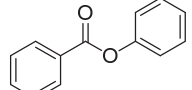
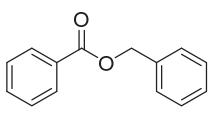
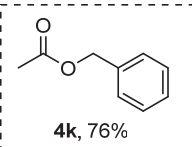
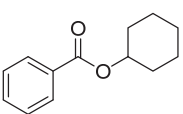
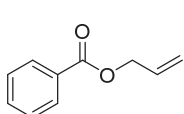
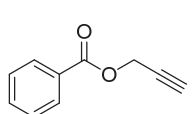
#### 1.4 内酯的合成

进一步考察了该方法对分子内酯化的适用性。在标准条件下, 本方法可以较高收率得到五元环内酯和六元

环内酯(表 4, **5a~5b**), 而七元环内酯也可以顺利得到, 收率尚可接受(表 4, **5c**)。由此可见, 本方法同样适用于环内酯化化合物的合成。

表 3 不同醇/酚与羧酸反应的底物范围考察<sup>a</sup>

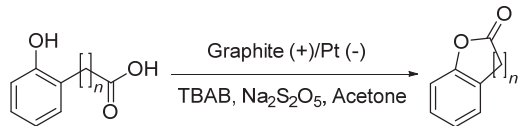
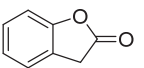
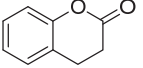
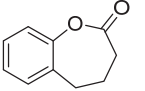
Table 3 Reaction scope for the substrate by acids with different alcohols/phenol

| $R^1COOH$ + $HO-R^2$                                                                |   | Graphite(+)/Pt(-)            | $R^1COOR^2$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------|-------------|
| 1                                                                                   | 2 | TBAB, $Na_2S_2O_5$ , Acetone | 4           |
|    |   |                              | 4a, 82%     |
|    |   |                              | 4b, 79%     |
|   |   |                              | 4c, 71%     |
|  |   |                              | 4d, 75%     |
|    |   |                              | 4e, 73%     |
|    |   |                              | 4f, 76%     |
|    |   |                              | 4g, 74%     |
|   |   |                              | 4h, 72%     |
|  |   |                              | 4i, 80%     |
|    |   |                              | 4j, 74%     |
|    |   |                              | 4k, 76%     |
|    |   |                              | 4l, 53%     |
|  |   |                              | 4m, 84%     |
|  |   |                              | 4n, 87%     |

<sup>a</sup> Reaction conditions: undivided cell with graphite anode and Pt cathode, **1** (1 mmol), **2** (1.5 mmol), TBAB (0.5 mmol),  $Na_2S_2O_5$  (0.5 mmol), acetone (5.0 mL), room temperature.

表 4 五元/六元及七元内酯的合成<sup>a</sup>

Table 4 Synthesis of five-, six-, and seven-membered lactones

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                     |                                                                                     |
|  |  |  |
| 5a, 74%                                                                             | 5b, 76%                                                                             | 5c, 62%                                                                             |

<sup>a</sup> Reaction conditions: undivided cell with graphite anode and Pt cathode, substrate (1 mmol), TBAB (0.5 mmol),  $Na_2S_2O_5$  (0.5 mmol), acetone (5.0 mL), room temperature.

## 1.5 反应机制探究

为了更好地探究本反应的机制,进行了循环伏安测试.在反应体系中以玻碳电极为阳极,铂电极为负极,电压范围为-1~1 V,扫描频率为 100 mV/s 进行测试,结果详见辅助材料.从检测结果中观察到一个明显的氧化峰,这是由焦亚硫酸钠分解成的  $SO_2$  在反应体系中发生氧化反应引起的<sup>[14]</sup>.该氧化峰在-0.3~-0.7 V 的范围内出现,呈现出不对称的形状.根据控制实验和上述探究结果,提出了以下可能的机理.首先,  $Na_2S_2O_5$  在阳极通过失去电子氧化生成六价硫中间体 **A**,与羧酸结合成活性中间体 **B**,活性中间体 **B** 被醇进攻得到酯化产物 **3**,同时释放质子,质子在阴极得到电子转化为氢气,保持体系酸度不至于太高,同时完成整个反应的循环.

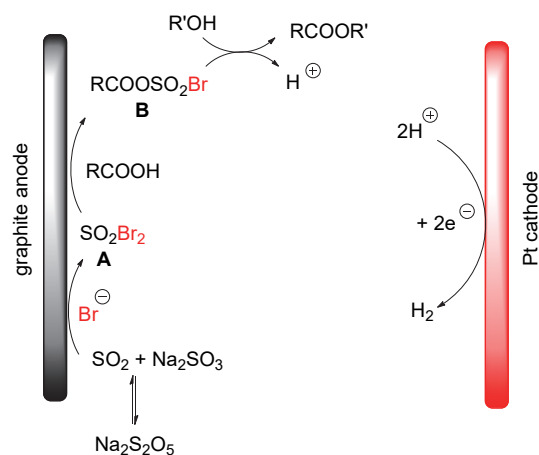


图 1 可能的反应机理

Figure 1 Plausible reaction mechanism

## 2 结论

综上所述,本研究提出了一种便捷有效的有机电化学合成方法.以羧酸和醇为原料,在无隔膜电解槽中,采用恒流的方式合成了酯类化合物,反应在室温、空气下进行,无需添加有机促进剂或使用强酸进行催化,反应条件温和,操作简单,原料价格低廉,底物适用范围广,为以羧酸和醇为原料合成酯类化合物提供了一种绿色便捷的合成策略.

## 3 实验部分

### 3.1 仪器与试剂

实验使用的电化学设备(包括配套的石墨电极和铂

电极)为 IKA 公司的 ElectraSyn 2.0 Package. 柱层析和薄层色谱(TLC)层析板使用的硅胶来自山西诺泰生物科技有限公司(300~400 目, 化学纯). 使用氘代氯仿作为溶剂, 在瓦里安(400 MHz)上进行核磁共振(NMR)测试. 质谱采用 LCT Premier XE 质谱仪进行测定. 实验中使用的所有试剂均为分析纯试剂.

### 3.2 电化学酯化合成通用步骤

将羧酸(1 mmol)、醇(1.5 mmol, 醇作为溶剂时不加)、TBAB (0.5 mmol)、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (0.5 mmol)、溶剂(5 mL)依次加入到 10 mL 的单室反应槽中. 以石墨(4 cm×0.5 cm×0.2 cm)为阳极电极材料, 铂片(4 cm×0.5 cm×0.2 cm)为阴极电极材料, 恒电流设置为 10 mA. 在室温(约 20 °C)下进行电解, TLC 监测反应过程, 直至底物被完全消耗. 反应结束后, 用饱和碳酸氢钠水溶液淬灭反应, 用乙酸乙酯萃取后少量水反洗有机相, 无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  干燥, 旋蒸除去溶剂, 少量氯仿溶解后再次旋蒸除去残留溶剂, 直接得到目标产物.

### 3.4 产物表征数据

苯甲酸乙酯(**3a**)<sup>[15]</sup>: 无色液体, 收率 86%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.05 (d,  $J=7.9$  Hz, 2H), 7.52 (t,  $J=7.3$  Hz, 1H), 7.41 (t,  $J=7.7$  Hz, 2H), 4.38 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.38 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.58, 132.76, 130.49, 129.50, 128.27, 60.89, 14.29; IR (film)  $\nu$ : 3093, 3034, 2967, 2907, 1708, 1486, 1463, 1392, 1316, 1253, 1057, 1029, 687  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 150, 122, 105, 77.

2-溴苯甲酸乙酯(**3b**)<sup>[16]</sup>: 无色液体, 收率 83%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.72 (d,  $J=7.2$  Hz, 1H), 7.59 (d,  $J=8.6$  Hz, 1H), 7.34~7.22 (m, 2H), 4.35 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.36 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.18, 134.21, 132.52, 132.38, 131.12, 127.11, 121.47, 61.59, 14.18; IR (film)  $\nu$ : 3064, 2967, 1708, 1667, 1486, 1453, 1348, 1219, 1153, 1088, 807, 674  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 230, 228, 202, 185, 183, 157, 155, 77.

2-氟苯甲酸乙酯(**3c**)<sup>[17]</sup>: 黄色液体, 收率 78%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.88 (t,  $J=7.5$  Hz, 1H), 7.46 (q,  $J=6.9, 6.4$  Hz, 1H), 7.19~7.03 (m, 2H), 4.35 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.35 (t,  $J=7.4$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 164.34 (d,  $J=3.5$  Hz), 161.88 (d,  $J=258.3$  Hz), 134.30 (d,  $J=8.9$  Hz), 131.97, 123.84 (d,  $J=3.9$  Hz), 118.99 (d,  $J=3.8$  Hz), 116.86 (d,  $J=22.3$  Hz), 61.21, 14.16;  $^{19}\text{F}$  NMR (376 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : -109.81; IR (film)  $\nu$ : 3064, 1713, 1627, 1496, 1393, 1337, 1189, 1153, 1088, 767, 624  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 168, 140, 123,

95.

2-甲基苯甲酸乙酯(**3d**)<sup>[17]</sup>: 黄色液体, 收率 82%, 反应时间 8 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.91 (d,  $J=8.2$  Hz, 1H), 7.37 (t,  $J=7.5$  Hz, 1H), 7.22 (t,  $J=6.8$  Hz, 2H), 4.35 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 2.59 (s, 3H), 1.38 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 167.65, 139.98, 131.79, 131.62, 130.47, 129.91, 125.64, 60.65, 21.70, 14.31; IR (film)  $\nu$ : 2982, 1720, 1602, 1366, 1269, 739  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 164, 135, 119, 105, 91, 65, 51, 39, 28.

2-甲氧基苯甲酸乙酯(**3e**)<sup>[17]</sup>: 无色液体, 收率 79%, 反应时间 8 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.63 (s, 1H), 7.50 (s, 2H), 6.83 (s, 1H), 4.30 (s, 2H), 3.89 (s, 3H), 1.33 (d,  $J=8.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 152.80, 148.41, 123.38, 122.82, 111.85, 111.78, 110.10, 60.77, 55.85, 14.28; IR (film)  $\nu$ : 3062, 2990, 2942, 1715, 1613, 1474, 1285, 1206, 1088, 759, 657  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 180, 151, 135, 77.

3-氯苯甲酸乙酯(**3f**)<sup>[18]</sup>: 无色液体, 收率 84%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.97 (s, 1H), 7.88 (d,  $J=7.3$  Hz, 1H), 7.47 (d,  $J=7.9$  Hz, 1H), 7.32 (t,  $J=7.7$  Hz, 1H), 4.34 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.36 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.20, 134.30, 132.67, 132.07, 129.50, 129.46, 127.53, 61.23, 14.13; MS (EI)  $m/z$ : 169, 149, 139, 85, 75, 29; IR (film)  $\nu$ : 3076, 2953, 1726, 1568, 1463, 1280, 1178, 1125, 1070, 837, 664  $\text{cm}^{-1}$ .

3-氟苯甲酸乙酯(**3g**)<sup>[17]</sup>: 无色液体, 收率 80%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.81 (d,  $J=7.6$  Hz, 1H), 7.69 (d,  $J=9.3$  Hz, 1H), 7.38 (q,  $J=7.9$  Hz, 1H), 7.21 (t,  $J=9.0$  Hz, 1H), 4.36 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.37 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.36 (d,  $J=2.8$  Hz), 162.49 (d,  $J=245.6$  Hz), 132.64 (d,  $J=7.3$  Hz), 129.88 (d,  $J=7.8$  Hz), 125.19 (d,  $J=3.1$  Hz), 119.87 (d,  $J=21.3$  Hz), 116.34 (d,  $J=22.9$  Hz), 61.26, 14.16;  $^{19}\text{F}$  NMR (376 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : -112.58; MS (EI)  $m/z$ : 168, 150, 95, 75, 29; IR (film)  $\nu$ : 2978, 1726, 1563, 1489, 1446, 1363, 1208, 1086, 1025, 807, 673  $\text{cm}^{-1}$ .

3-甲基苯甲酸乙酯(**3h**)<sup>[17]</sup>: 无色液体, 收率 84%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.84 (d,  $J=9.0$  Hz, 2H), 7.32 (d,  $J=12.0$  Hz, 2H), 4.36 (q,  $J=6.5, 6.1$  Hz, 2H), 2.38 (s, 3H), 1.38 (t,  $J=6.7$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.80, 138.05, 130.39, 130.04, 128.19, 126.65, 60.86, 21.23, 14.31; IR (film)  $\nu$ : 2983, 1725, 1603, 1587, 1476, 1385, 1284, 1203, 1107, 1025, 756, 683  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 164, 136, 120, 119, 91.

3-羟基苯甲酸乙酯(**3i**)<sup>[19]</sup>: 白色固体, 收率 76%, 反

应时间 7 h. m.p. 70.5~73.2 °C;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.66~7.57 (m, 2H), 7.29 (t,  $J=7.9$  Hz, 1H), 7.08 (d,  $J=7.9$  Hz, 1H), 6.76 (d,  $J=15.9$  Hz, 1H), 4.37 (q,  $J=7.0$  Hz, 2H), 1.37 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 167.25, 156.09, 131.47, 129.68, 121.71, 120.40, 116.40, 61.46, 14.19; IR (film)  $\nu$ : 3653, 1784, 1599, 1448, 1284, 1219, 1173, 1106, 763  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 166, 138, 121, 93, 65, 39.

4-碘苯甲酸乙酯(**3j**)<sup>[15]</sup>: 黄色液体, 收率 85%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.77 (d,  $J=8.5$  Hz, 2H), 7.73 (d,  $J=7.9$  Hz, 2H), 4.35 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.37 (t,  $J=7.2$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.07, 137.63, 130.99, 129.91, 100.60, 61.22, 14.30; IR (film)  $\nu$ : 2998, 1713, 1584, 1396, 1287, 1104, 1023, 846, 755, 679  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 276, 248, 231, 203, 76, 50.

4-溴苯甲酸乙酯(**3k**)<sup>[15]</sup>: 无色液体, 收率 83%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.85 (d,  $J=7.5$  Hz, 2H), 7.51 (d,  $J=7.5$  Hz, 2H), 4.32 (q,  $J=6.8$  Hz, 2H), 1.34 (t,  $J=6.8$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.75, 131.58, 131.03, 129.33, 127.84, 61.17, 14.26; IR (film)  $\nu$ : 3013, 1728, 1596, 1483, 1410, 1276, 1209, 1113, 1028, 857, 774, 659  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 230, 228, 202, 200, 185, 183, 157, 155, 76.

4-氯苯甲酸乙酯(**3l**)<sup>[15]</sup>: 黄色液体, 收率 78%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.81 (d,  $J=7.6$  Hz, 1H), 7.69 (d,  $J=9.3$  Hz, 1H), 7.38 (q,  $J=7.9$  Hz, 1H), 7.21 (t,  $J=9.0$  Hz, 1H), 4.36 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.37 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 163.71, 161.26, 132.66, 132.59, 129.93, 129.86, 125.23, 125.20, 119.90, 119.69, 116.48, 116.25, 61.28, 14.19; IR (film)  $\nu$ : 3008, 1715, 1596, 1508, 1417, 1453, 1279, 1190, 1153, 1002, 847, 764  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 184, 156, 141, 139, 111, 75.

4-氰基苯甲酸乙酯(**3m**)<sup>[17]</sup>: 白色固体, 收率 75%, 反应时间 6 h. m.p. 52.1~54.7 °C (Lit.<sup>[17b]</sup> 52~54 °C);  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.75 (t,  $J=8.4$  Hz, 1H), 7.42~7.30 (m, 2H), 7.26 (d,  $J=7.7$  Hz, 1H), 4.34 (p,  $J=7.3$  Hz, 2H), 1.34 (q,  $J=7.4$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.71, 132.36, 131.21, 131.19, 130.95, 130.93, 130.42, 126.49, 61.48, 14.17; IR (film)  $\nu$ : 2998, 2343, 1728, 1407, 1378, 1319, 1286, 1177, 1025, 863, 697  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 175, 135, 102, 77, 51, 43, 29.

4-甲基苯甲酸乙酯(**3n**)<sup>[15]</sup>: 无色液体, 收率 81%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.92 (d,  $J=8.1$  Hz, 2H), 7.20 (d,  $J=7.9$  Hz, 2H), 4.34 (q,  $J=7.1$  Hz,

2H), 2.37 (s, 3H), 1.36 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.64, 143.36, 129.53, 128.98, 127.75, 60.69, 21.56, 14.31; IR (film)  $\nu$ : 2988, 1719, 1708, 1667, 1486, 1453, 1348, 1219, 1153, 1088, 807, 674  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 164, 136, 119, 91, 65.

4-甲氧基苯甲酸乙酯(**3o**)<sup>[15]</sup>: 黄色液体, 收率 76%, 反应时间 8 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.96 (d,  $J=7.1$  Hz, 2H), 6.86 (d,  $J=6.6$  Hz, 2H), 4.30 (q,  $J=7.0$  Hz, 2H), 3.78 (d,  $J=5.9$  Hz, 3H), 1.32 (q,  $J=6.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.29, 163.21, 131.45, 122.87, 113.48, 60.54, 55.29, 14.31; IR (film)  $\nu$ : 2994, 2847, 1719, 1607, 1283, 1263, 1188, 1139, 743, 685, 671  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 180, 152, 135, 77.

4-羟基苯甲酸乙酯(**3p**)<sup>[20]</sup>: 白色固体, 收率 79%, 反应时间 9 h. m.p. 116.7~117.6 °C (Lit.<sup>[20b]</sup> 116.6~117.7 °C);  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.96 (d,  $J=8.7$  Hz, 2H), 6.89 (d,  $J=8.7$  Hz, 2H), 6.56 (s, 1H), 4.36 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.38 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 167.07, 160.27, 131.90, 122.52, 115.24, 60.99, 14.30; IR (film)  $\nu$ : 3320, 3056, 1674, 1607, 1591, 1478, 1396, 1288, 1169, 1019, 836, 773  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 166, 138, 121, 93, 65, 39.

2-萘甲酸乙酯(**3q**)<sup>[15]</sup>: 无色液体, 收率 80%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.62 (s, 1H), 8.08 (d,  $J=8.6$  Hz, 1H), 7.96 (d,  $J=7.9$  Hz, 1H), 7.88 (d,  $J=8.5$  Hz, 2H), 7.56 (dt,  $J=17.9, 6.9$  Hz, 2H), 4.45 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.45 (t,  $J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.80, 135.47, 132.49, 130.95, 129.34, 128.16, 128.09, 127.75, 126.59, 125.26, 61.12, 14.41; IR (film)  $\nu$ : 3574, 2927, 1728, 1496, 1453, 1388, 1219, 1133, 1082, 897, 714  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 150, 108, 91, 90, 79, 43.

2-吡啶甲酸乙酯(**3r**)<sup>[21]</sup>: 黄色液体, 收率 82%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.57 (d,  $J=5.6$  Hz, 1H), 7.95 (d,  $J=10.2$  Hz, 1H), 7.66 (t,  $J=9.7$  Hz, 1H), 7.36~7.22 (m, 1H), 4.29 (q,  $J=7.0, 5.2$  Hz, 2H), 1.25 (t,  $J=8.5$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.02, 149.67, 148.04, 136.87, 126.71, 124.93, 61.74, 14.17; IR (film)  $\nu$ : 3059, 1718, 1614, 1468, 1439, 1308, 1174, 1107, 1022, 874, 755, 692  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 151, 107, 79, 51, 29.

吡啶-5-甲酸乙酯(**3s**)<sup>[15]</sup>: 浅黄色固体, 收率 75%, 反应时间 6 h. m.p. 96.5~97.5 °C (Lit.<sup>[15b]</sup> 96.5~97.5 °C);  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.53 (s, 1H), 8.43 (s, 1H), 7.92 (d,  $J=8.5$  Hz, 1H), 7.39 (d,  $J=8.6$  Hz, 1H), 7.30~7.23 (m, 1H), 4.40 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.41 (t,

$J=7.1$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 167.86, 138.38, 127.44, 125.51, 123.69, 123.35, 122.22, 110.70, 103.96, 60.62, 14.45; IR (film)  $\nu$ : 3401, 2911, 1699, 1637, 1586, 1413, 1248, 1109, 1028, 687  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 189, 174, 161, 144, 116, 104, 89, 63, 29.

对苯二甲酸二乙酯(**3t**)<sup>[22]</sup>: 白色固体, 收率 77%, 反应时间 8 h. m.p. 42~45 °C (Lit.<sup>[22b]</sup> 44~45 °C);  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.09 (s, 4H), 4.39 (q,  $J=7.1$  Hz, 4H), 1.40 (t,  $J=7.1$  Hz, 6H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.84, 134.13, 129.44, 61.39, 14.26; IR (film)  $\nu$ : 3424, 2987, 1688, 1567, 1516, 1453, 1368, 1279, 1153, 1098, 778, 754  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 222, 194, 177, 166, 149, 121, 104, 76, 50, 29.

苯甲酸甲酯(**4a**)<sup>[23]</sup>: 无色液体, 收率 82%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.03 (d,  $J=7.8$  Hz, 2H), 7.53 (t,  $J=7.3$  Hz, 1H), 7.41 (t,  $J=7.4$  Hz, 2H), 3.89 (s, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 167.07, 132.87, 130.14, 129.54, 128.33, 52.04; IR (film)  $\nu$ : 2956, 1718, 1574, 1463, 1438, 1419, 1280, 1186, 1088, 836, 667  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 136, 105, 77, 51.

苯甲酸丙酯(**4b**)<sup>[23]</sup>: 无色液体, 收率 79%, 反应时间 7 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.04 (d,  $J=7.7$  Hz, 2H), 7.52 (t,  $J=7.3$  Hz, 1H), 7.41 (t,  $J=7.6$  Hz, 2H), 4.27 (t,  $J=6.6$  Hz, 2H), 1.77 (q,  $J=7.1$  Hz, 2H), 1.01 (t,  $J=7.4$  Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.62, 132.76, 130.51, 129.50, 128.28, 66.48, 22.10, 10.48; IR (film)  $\nu$ : 3008, 1716, 1603, 1567, 1476, 1453, 1378, 1279, 1173, 1098, 917, 673  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 123, 105, 77, 51.

苯甲酸正己酯(**4c**)<sup>[24]</sup>: 无色液体, 收率 71%, 反应时间 8 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.01 (d,  $J=7.8$  Hz, 2H), 7.45 (d,  $J=6.6$  Hz, 1H), 7.36 (t,  $J=6.9$  Hz, 2H), 4.26 (t,  $J=6.5$  Hz, 2H), 1.74~1.65 (m, 2H), 1.38 (s, 2H), 1.28 (s, 4H), 0.86 (s, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.55, 132.70, 130.52, 129.48, 128.24, 65.04, 31.45, 28.67, 25.69, 22.53, 13.96; IR (film)  $\nu$ : 3091, 2861, 1781, 1492, 1466, 1365, 1340, 1155, 1008, 992, 953, 806, 675  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 123, 105, 77, 56.

苯甲酸异丙酯(**4d**)<sup>[24]</sup>: 黄色液体, 收率 75%, 反应时间 9 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.04 (d,  $J=7.9$  Hz, 2H), 7.52 (t,  $J=7.3$  Hz, 1H), 7.41 (t,  $J=7.6$  Hz, 2H), 5.25 (p,  $J=6.3$  Hz, 1H), 1.36 (d,  $J=6.3$  Hz, 6H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.05, 132.67, 130.86, 129.47, 128.23, 68.27, 21.91; IR (film)  $\nu$ : 3096, 1719, 1468, 1278, 1106, 107, 851, 675  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 164, 123, 105, 77, 59.

对叔丁基苯甲酸甲酯(**4e**)<sup>[24]</sup>: 黄色液体, 收率 73%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.03~7.98 (m, 2H), 7.51 (t,  $J=8.0$  Hz, 1H), 7.40 (t,  $J=7.6$  Hz, 2H), 1.60 (s, 9H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.73, 132.40, 131.99, 129.39, 128.15, 80.88, 28.17; IR (film)  $\nu$ : 3568, 2956, 1728, 1447, 1426, 1313, 1827, 1192, 1053, 897, 714  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 123, 105, 77, 51.

4-碘苯甲酸叔丁酯(**4f**)<sup>[25]</sup>: 黄色固体, 收率 76%, 反应时间 10 h. m.p. 107.3~111.4 °C (Lit.<sup>[25b]</sup> 107~110 °C);  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.76 (d,  $J=6.9$  Hz, 2H), 7.68 (d,  $J=6.8$  Hz, 2H), 1.58 (s, 9H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.21, 137.45, 131.43, 130.92, 100.03, 81.45, 28.11; IR (film)  $\nu$ : 3438, 2969, 1606, 1507, 1386, 1253, 1148, 1019, 977, 834  $\text{cm}^{-1}$ .

4-溴苯甲酸叔丁酯(**4g**)<sup>[26]</sup>: 黄色液体, 收率 74%, 反应时间 10 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.84 (d,  $J=8.3$  Hz, 2H), 7.54 (d,  $J=8.6$  Hz, 2H), 1.58 (s, 9H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 164.99, 131.46, 130.99, 130.87, 127.42, 81.47, 28.14; IR (film)  $\nu$ : 3445, 2953, 1608, 1517, 1386, 1253, 1178, 1009, 957, 854  $\text{cm}^{-1}$ .

4-甲基苯甲酸叔丁酯(**4h**)<sup>[26]</sup>: 白色液体, 收率 72%, 反应时间 10 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.91~7.86 (m, 2H), 7.21 (d,  $J=7.9$  Hz, 2H), 2.39 (s, 3H), 1.59 (s, 9H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.91, 142.94, 129.43, 129.26, 128.88, 80.67, 28.22, 21.61; IR (film)  $\nu$ : 3438, 3064, 2112, 1942, 1857, 1768, 1592, 1299, 1053, 864 719, 697.

苯甲酸苯酯(**4i**)<sup>[24]</sup>: 白色固体, 柱层析 [ $V(\text{乙酸乙酯}) : V(\text{石油醚}) = 1 : 20$ ]. 收率 74%, 反应时间 7 h. m.p. 68.5~71.2 °C;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.21 (d,  $J=9.1$  Hz, 2H), 7.64 (t,  $J=7.4$  Hz, 1H), 7.52 (t,  $J=7.7$  Hz, 2H), 7.44 (t,  $J=7.9$  Hz, 2H), 7.28 (t,  $J=7.5$  Hz, 1H), 7.22 (d,  $J=8.5$  Hz, 2H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.21, 150.94, 133.59, 130.18, 129.56, 129.50, 128.58, 125.90, 121.72; IR (film)  $\nu$ : 3053, 1729, 1596, 1487, 1463, 1442, 1284, 1172, 1053, 1008, 752, 683  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 105, 77.

苯甲酸苄酯(**4j**)<sup>[27]</sup>: 白色液体, 柱层析 [ $V(\text{乙酸乙酯}) : V(\text{石油醚}) = 1 : 20$ ], 收率 68%, 反应时间 8 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.12 (d,  $J=7.8$  Hz, 2H), 7.58 (t,  $J=7.4$  Hz, 1H), 7.49 (d,  $J=7.4$  Hz, 2H), 7.43 (dd,  $J=14.4$ , 7.6 Hz, 4H), 7.38 (d,  $J=7.2$  Hz, 1H), 5.40 (s, 2H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.45, 136.09, 133.07, 130.16, 129.74, 128.64, 128.41, 128.28, 128.21, 66.71; IR (film)  $\nu$ : 3064, 2967, 1708, 1667, 1486, 1453, 1348, 1219,

1153, 1088, 807, 674  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 212, 105, 91, 77.

乙酸苄酯(**4k**)<sup>[28]</sup>: 无色液体, 柱层析 [ $V(\text{乙酸乙酯}) : V(\text{石油醚}) = 1 : 20$ ], 收率 76%, 反应时间 8 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.37~7.33 (m, 5H), 5.12 (s, 2H), 2.10 (s, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 170.80, 136.01, 128.57, 128.27, 128.24, 66.27, 20.96; IR (film)  $\nu$ : 3068, 2963, 2891 1948, 1607, 1586, 1494, 1395, 1219, 1078, 1018, 980, 907, 824, 686, 578  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 150, 108, 91, 90, 79, 43.

苯甲酸环己醇酯(**4l**)<sup>[24]</sup>: 无色液体, 柱层析 [ $V(\text{乙酸乙酯}) : V(\text{石油醚}) = 1 : 20$ ], 收率 53%.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.00 (d,  $J=7.4$  Hz, 2H), 7.43 (t,  $J=7.3$  Hz, 1H), 7.33 (t,  $J=7.6$  Hz, 2H), 4.97 (s, 1H), 1.85 (s, 2H), 1.68 (s, 2H), 1.52 (d,  $J=9.7$  Hz, 3H), 1.38~1.22 (m, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.69, 132.55, 130.95, 129.43, 128.15, 72.79, 31.54, 25.43, 23.58; IR (film)  $\nu$ : 2937, 1715, 1585, 1372, 1360, 1277, 1238, 1195, 1159, 1112, 1070, 1038, 1002, 943, 839, 711, 677  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 123, 105, 77, 55.

苯甲酸烯丙酯(**4m**)<sup>[29]</sup>: 无色液体, 收率 84%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.06 (d,  $J=8.2$  Hz, 2H), 7.55 (t,  $J=7.4$  Hz, 1H), 7.43 (t,  $J=7.7$  Hz, 2H), 6.03 (ddt,  $J=16.3, 10.5, 5.6$  Hz, 1H), 5.40 (d,  $J=17.2$  Hz, 1H), 5.28 (d,  $J=10.4$  Hz, 1H), 4.82 (d,  $J=6.6$  Hz, 2H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.24, 132.98, 132.22, 130.13, 129.62, 128.36, 118.20, 65.53; IR (film)  $\nu$ : 3072, 1722, 1602, 1584, 1413, 1361, 1160, 1027, 996, 846, 675  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 162, 117, 105, 77, 51, 39.

苯甲酸炔丙酯(**4n**)<sup>[29]</sup>: 黄色液体, 收率 87%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 8.08~8.02 (m, 2H), 7.54 (t,  $J=7.8$  Hz, 1H), 7.42 (t,  $J=7.5$  Hz, 2H), 4.90 (s, 2H), 2.53 (s, 1H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 165.75, 133.33, 129.79, 129.36, 128.43, 75.10, 52.44; IR (film)  $\nu$ : 3069, 1604, 1567, 1416, 1353, 1153, 1019, 987, 682  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 160, 131, 115, 105, 77, 63, 51, 39, 27.

苯并呋喃酮(**5a**)<sup>[30]</sup>: 黄色固体, 收率 74%, 反应时间 6 h. m.p. 48.7~51.2  $^{\circ}\text{C}$ ;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.33~7.25 (m, 2H), 7.16~7.06 (m, 2H), 3.73 (s, 2H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 174.13, 154.68, 128.87, 124.63, 124.09, 123.04, 110.77, 32.98; IR (film)  $\nu$ : 3057, 1782, 1723, 1618, 1478, 1389, 1223, 1013, 886, 825, 774, 762, 674, 493  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 134, 106, 78, 51.

1,2-苯并二氢吡喃酮(**5b**)<sup>[31]</sup>: 黄色液体, 收率 76%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.21~7.11

(m, 2H), 7.04 (d,  $J=6.1$  Hz, 1H), 6.95 (d,  $J=7.8$  Hz, 1H), 2.92 (s, 2H), 2.73~2.66 (m, 2H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 168.57, 151.93, 128.06, 124.37, 122.68, 116.81, 29.15, 23.62; IR (film)  $\nu$ : 3044, 1774, 1612, 1588, 1489, 1460, 1349, 1282, 1192, 1033, 941, 744, 468  $\text{cm}^{-1}$ ; MS (EI)  $m/z$ : 148, 120, 106, 91, 78, 51, 39.

4,5-二氢苯并[b]氧杂卓-2(3H)-酮(**5c**)<sup>[24]</sup>: 黄色液体, 收率 62%, 反应时间 6 h.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.16 (t,  $J=7.5$  Hz, 1H), 7.10 (d,  $J=6.6$  Hz, 1H), 7.05 (t,  $J=7.3$  Hz, 1H), 6.95 (d,  $J=7.9$  Hz, 1H), 2.69 (t,  $J=7.2$  Hz, 2H), 2.35 (t,  $J=7.2$  Hz, 2H), 2.06 (p,  $J=7.2$  Hz, 2H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 171.76, 151.67, 129.99, 129.69, 128.25, 125.91, 119.15, 31.01, 28.13, 26.48; IR (film)  $\nu$ : 3054, 1768, 1616, 1584, 1486, 1453, 1337, 12869, 1193, 1086, 785, 464  $\text{cm}^{-1}$ .

**辅助材料(Supporting Information)** 电化学酯化反应的循环伏安测试以及产物**3**、**4**和**5**的 $^1\text{H}$  NMR、 $^{19}\text{F}$  NMR和 $^{13}\text{C}$  NMR谱图. 这些材料可以免费从本刊网站(<http://sioc-journal.cn/>)上下载.

## References

- [1] (a) Larock, R. C. *Comprehensive Organic Transformations*, Wiley, New York, **2018**, pp. 1~81.  
(b) Khan, Z.; Javed, F.; Shamair, Z.; Hafeez, A.; Fazal, T.; Aslam, A.; Zimmerman, W. B.; Rehman, F. *J. Ind. Eng. Chem.* **2021**, *103*, 80.  
(c) Zheng, Y.; Zhao, Y.; Tao, S.; Li, X.; Cheng, X.; Jiang, G.; Wan, X. *Eur. J. Org. Chem.* **2021**, *18*, 2713.  
(d) Li, Y.; Wang, H.; Zhang, H.; Lei, A. *Chin. J. Chem.* **2021**, *39*, 3023.  
(e) Maeda, B.; Sakakibara, Y.; Murakami, K.; Itami, K. *Org. Lett.* **2021**, *23*, 5113.
- [2] (a) Zare, M.; Golmakani, M.-T.; Sardarian, A. *Green Chem. Lett. Rev.* **2020**, *13*, 83.  
(b) De Barros, D. P.; Azevedo, A. M.; Cabral, J. M.; Fonseca, L. P. *Food Biochem.* **2012**, *36*, 275.  
(c) SÁ, A. G.; De Meneses, A. C.; De Araújo, P. H.; Oliveira, D. *Trends Food Sci. Technol.* **2017**, *69*, 95.  
(d) Khan, N. R.; Rathod, V. K. *Process Biochem.* **2015**, *50*, 1793.  
(e) Zhu, Z.; Li, S.; Liu, R.; Yuan, J.; Wang, H.; Zhang, Y.; Liu, Y. *Chin. J. Chem.* **2010**, *28*, 2245.
- [3] (a) Yang, M.; Wang, X.; Zhao, J. *ACS Catal.* **2020**, *10*, 5230.  
(b) Li, Q.-C.; Jiang, L.; Bai, R.; Han, Y.-K.; Li, Z.-N. *Chin. J. Org. Chem.* **2021**, *41*, 3390 (in Chinese).  
(李泉城, 姜岚, 白瑞, 韩永康, 李争宁, 有机化学, **2021**, *41*, 3390.)  
(c) Bińczak, J.; Dziuba, K.; Chrobok, A. *Materials* **2021**, *14*, 2881.  
(d) Zhang, Q.; Li, Y.-H.; Xu, L.-C.; Ma, H.-Y.; Li, X.-D.; Wang, M.-A. *Chin. J. Org. Chem.* **2022**, *42*, 2438 (in Chinese).  
(张倩, 李益豪, 许磊川, 马好运, 李向东, 王明安, 有机化学, **2022**, *42*, 2438.)
- [4] (a) Iwasaki, T. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley, New York, **2000**, pp. 1~33.  
(b) Steele, J. H.; Bozor, M. X.; Boyce, G. R. *J. Chem. Educ.* **2020**, *97*, 4127.  
(c) Jyoti, G.; Keshav, A.; Anandkumar, J. *Int. J. Chem. React. Eng.*

- 2016, 14, 571.
- (d) Li, Y.-L.; Pang, J.-Y.; Lou, J.-C.; Sun, W.-W.; Liu, J.-K.; Wu, B. *Asian J. Org. Chem.* **2021**, 10, 1.
- [5] (a) Zhu, L.; Zhu, Y.; Meng, X.; Hao, J.; Li, Q.; Wei, Y.; Lin, Y. *Chem.-Eur. J.* **2008**, 14, 10923.
- (b) Neises, B.; Steglich, W. *Angew. Chem.* **1978**, 90, 556.
- (c) Zhang, J.; Wang, Y.; Du, G.; Gu, C.-Z.; Dai, B. *Chin. J. Chem.* **2015**, 33, 1211.
- [6] (a) Jyoti, G.; Keshav, A.; Anandkumar, J.; Bhoi, S. *Int. J. Chem. Kinet.* **2018**, 50, 370.
- (b) Sert, E.; Atalay, F. S. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2012**, 51, 6666.
- (c) Buluklu, A. D.; Sert, E.; Karakuş, S.; Atalay, F. S. *Int. J. Chem. Kinet.* **2014**, 46, 197.
- (d) Chen, X.; Mao, J.; Liu, C.; Chen, C.; Cao, H.; Yu, L. *Chin. Chem. Lett.* **2020**, 31, 3205.
- (e) Zhang, L.; Zhang, H.; Shang, H. *Can. J. Chem. Eng.* **2021**, 99, 1107.
- (f) Xiao, X.; Shao, Z.; Yu, L. *Chin. Chem. Lett.* **2021**, 32, 2933.
- (g) Li, W.; Wang, F.; Shi, Y.; Yu, L. *Chin. Chem. Lett.* **2023**, 34, 107505.
- (h) Zeng, Z.; Chen, Y.; Zhu, X.; Yu, L. *Chin. Chem. Lett.* **2023**, 34, 107728.
- [7] (a) Pongpamorn, P.; Kiattisewee, C.; Kittipanukul, N.; Jaroensuk, J.; Trisrivirat, D.; Maenpuen, S.; Chaiyen, P. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2021**, 60, 5749.
- (b) Li, N.-G.; Shi, Z.-H.; Tang, Y.-P.; Li, B.-Q.; Duan, J.-A. *Molecules* **2009**, 14, 2118.
- (c) Maester, T. C.; Pereira, M. R.; Malaman, A. M.; Borges, J. P.; Pereira, P. A.; Lemos, E. G. *Catalysts* **2020**, 10, 1100.
- (d) Shi, H.; Zhu, W.; Li, H.; Liu, H.; Zhang, M.; Yan, Y.; Wang, Z. *Catal. Commun.* **2010**, 11, 588.
- (e) Nguyen, H. C.; Wang, F.-M.; Dinh, K. K.; Pham, T. T.; Juan, H.-Y.; Nguyen, N. P.; Ong, H. C.; Su, C.-H. *Energies* **2020**, 13, 2167.
- [8] (a) Stergiou, P.-Y.; Foukis, A.; Filippou, M.; Koukouritaki, M.; Parapoulis, M.; Theodorou, L. G.; Hatziloukas, E.; Afendra, A.; Pandey, A.; Papamichael, E. M. *Biotechnol. Adv.* **2013**, 31, 1846.
- (b) Guldhe, A.; Singh, B.; Mutanda, T.; Permaul, K.; Bux, F. *Renewable Sustainable Energy Rev.* **2015**, 41, 1447.
- (c) Moseley, J. D.; Kappe, C. O. *Green Chem.* **2011**, 13, 794.
- (d) Li, X.-Y.; Tao, P.-F.; Cheng, Y.-Y.; Hu, Q.; Huang, W.-J.; Li, Y.; Luo, Z.-H.; Huang, G.-B. *Chin. J. Org. Chem.* **2022**, 42, 4169 (in Chinese).
- (李秀英, 陶萍芳, 程泳渝, 胡琼, 黄伟娟, 李芸, 罗志辉, 黄国保, 有机化学, **2022**, 42, 4169.)
- [9] (a) Sperry, J. B.; Wright, D. L. *Chem. Soc. Rev.* **2006**, 35, 605.
- (b) Yoshida, J.-I.; Kataoka, K.; Horcajada, R.; Nagaki, A. *Chem. Rev.* **2008**, 108, 2265.
- (c) Frontana-Urbe, B. A.; Little, R. D.; Ibanez, J. G.; Palma, A.; Vasquez-Medrano, R. *Green Chem.* **2010**, 12, 2099.
- (d) Horn, E. J.; Rosen, B. R.; Baran, P. S. *ACS Cent. Sci.* **2016**, 2, 302.
- (e) Wiebe, A.; Gieshoff, T.; Mohle, S.; Rodrigo, E.; Zirbes, M.; Waldvogel, S. R. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, 57, 5594.
- (f) Wen, L. R.; Wang, N. N.; Du, W. B.; Zhu, M. Z.; Pan, C.; Zhang, L. B.; Li, M. *Chin. J. Chem.* **2021**, 39, 1831.
- [10] (a) Little, R. D.; Moeller, K. D. *Chem. Rev.* **2018**, 118, 4483.
- (b) Minter, S. D.; Baran, P. *Acc. Chem. Res.* **2020**, 53, 545.
- (c) Yuan, Y.; Lei, A. *Nat. Commun.* **2020**, 11, 802.
- (d) Mohle, S.; Zirbes, M.; Rodrigo, E.; Gieshoff, T.; Wiebe, A.; Waldvogel, S. R. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, 57, 6018.
- (e) Wen, L. R.; Wang, N. N.; Du, W. B.; Zhu, M. Z.; Pan, C.; Zhang, L. B.; Li, M. *Chin. J. Chem.* **2021**, 39, 1831.
- [11] (a) Waldvogel, S. R.; Janza, B. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2014**, 53, 7122.
- (b) Yan, M.; Kawamata, Y.; Baran, P. S. *Chem. Rev.* **2017**, 117, 13230.
- (c) Schotten, C.; Nicholls, T. P.; Bourne, R. A.; Kapur, N.; Nguyen, B. A.; Willans, C. E. *Green Chem.* **2020**, 22, 3358.
- (d) Wang, P.; Tang, S.; Huang, P.; Lei, A. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2017**, 56, 3009.
- (e) Zhang, L.; Cheng, X.; Zhou, Q. L. *Chin. J. Chem.* **2022**, 40, 1687.
- [12] Kaboudin, B.; Behrouzi, L.; Kazemi, F.; Najafpour, M. M.; Aoyama, H. *ACS Omega* **2020**, 5, 17947.
- [13] Cheng, S.-Y.; Ou, C.-H.; Lin, H.-M.; Jia, J. S.; Tang, H.-T.; Pan, Y.-M.; Huang, G.-B.; Meng, X.-J. *Chin. J. Org. Chem.* **2021**, 41, 4718 (in Chinese).
- (程诗砚, 欧楚鸿, 林洪敏, 贾均松, 唐海涛, 潘英明, 黄国保, 蒙秀金, 有机化学, **2021**, 41, 4718.)
- [14] (a) Devadas B.; Svoboda J.; Krupicka M. *Electrochim. Acta* **2020**, 342, 136080.
- (b) Gil, D. M. D.; Rebelo, M. J. F. *Microchim. Acta* **2009**, 167, 253.
- (c) Zhang, Z.; Wang, Y.; Tang, H.; Pan, Y.; Meng, X. *Org. Biomol. Chem.* **2023**, 21, 3177.
- (d) Villoria-del-Álamo, B.; Rojas-Buzo, S.; García-García, B.; Corma, A. *Chem.-Eur. J.* **2021**, 27, 4588.
- (e) Lawal, M. M.; Govender, T.; Maguire, G. E.; Kruger, H. G.; Honarparvar, B. *Int. J. Quantum Chem.* **2018**, 118, e25497.
- [15] (a) Jagadeesh, R. V.; Junge, H.; Pohl, M. M.; Radnik, J.; Bruckner, A.; Beller, M. *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, 135, 10776.
- (b) Trost, B. M.; McClory, A. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2007**, 46, 2074.
- [16] Sun, X. Y.; Shan, G.; Sun, Y. H.; Rao, Y. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2013**, 52, 4440.
- [17] (a) Liang, A. P.; Han, S. J.; Wang, L.; Li, J. Y.; Zou, D. P.; Wu, Y. J.; Wu, Y. S. *Adv. Synth. Catal.* **2015**, 357, 3104.
- (b) Wang, X.-J.; Zhang, S.-L. *New J. Chem.* **2017**, 41, 14826.
- [18] Garcia-Alvarez, P.; Graham, D. V.; Hevia, E.; Kennedy, A. R.; Klett, J.; Mulvey, R. E.; O'Hara, C. T.; Weatherstone, S. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, 47, 8079.
- [19] Karmakar, A.; da Silva, M.; Pombeiro, A. J. L. *Dalton Trans.* **2014**, 43, 7795.
- [20] (a) Salman, B. S.; Ahmed, M. R. *Chem. Methodol.* **2022**, 6, 997.
- (b) Day, C.; Jia, X.; Wei, L.; Xu, L.; Zu, W. *Chem. Commun.* **2020**, 56, 8273.
- [21] Tian, H. T.; Xue, W. X.; Wu, J. T.; Yang, Z. G.; Lu, H. C.; Tang, C. H. *Org. Chem. Front.* **2022**, 9, 4554.
- [22] (a) Tollini, F.; Brivio, L.; Innocenti, P.; Sponchioni, M.; Moscatelli, D. *Chem. Eng. Sci.* **2022**, 260, 117875.
- (b) Zhou, Y.; Yang, D.; Luo, G.; Zhao, Y.; Luo, Y.; Xue, N.; Qu, J. *Tetrahedron* **2014**, 70, 4668.
- [23] Karthik, S.; Sreedharan, R.; Gandhi, T. *ChemistrySelect* **2019**, 4, 175.
- [24] Gan, S. Y.; Yin, J. R.; Yu, Z. Y.; Song, L. J.; Shi, L. *Green Chem.* **2022**, 24, 2232.
- [25] (a) Sarjeant, A. A.; Snurr, R. Q.; Stoddart, J. F.; Hupp, J. T.; Farha, O. K. *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, 137, 3585.
- (b) Reed, M. A.; Chang, M. T.; Snieckus, V. *Org. Lett.* **2004**, 6, 2297.
- [26] Luo, H. H.; Yang, Y. K.; Yang, B. B.; Xu, Z. J.; Wang, D. W. *J. Chem. Res.* **2021**, 45, 708.
- [27] Tabasi, N. S.; Genc, S.; Gulcemal, D. *Org. Biomol. Chem.* **2022**, 20, 6582.
- [28] Azadi, S.; Goudarzian, N.; Parish, M. H.; Hosseini, F. N. *Monatsh. Chem.* **2023**, 154, 239.
- [29] Chakraborti, A. K.; Singh, B.; Chankeshwara, S. V.; Patel, A. R. *J. Org. Chem.* **2009**, 74, 5967.
- [30] Miah, M. A. J.; Sibi, M. P.; Chattopadhyay, S.; Familoni, O. B.; Snieckus, V. *Eur. J. Org. Chem.* **2018**, 2018, 440.
- [31] Bhatia, A.; Kannan, M.; Muthaiah, S. *Synlett* **2019**, 30, 721.

(Cheng, F.)