

水相中电化学促进铜催化苯甲醇氧化合成喹唑啉酮

吴 媚^a 于 玲^b 侯慧青^a 陈厚铮^a 庄庆龙^a
周孙英^a 林小燕^{*,a}

(^a 福建医科大学药学院 福州 350004)

(^b 邢台学院 河北邢台 054001)

摘要 喹唑啉酮类化合物是一种重要的含氮杂环化合物,也是多种天然产物以及合成药物的骨架分子.利用廉价易得的苯甲醇以及邻氨基苯甲酰胺为原料,通过 CuCl_2 和电流共同氧化苯甲醇,在室温条件下于水相中一锅法合成喹唑啉酮及其衍生物,目标化合物可获得中等至优秀的产率.该方法用电流代替价格昂贵、毒性大的氧化剂,为合成喹唑啉酮类化合物提供了一条操作简便、绿色可持续的合成途径.

关键词 电合成;喹唑啉酮;绿色化学;铜催化剂;水相

Electrochemistry-Enabled Copper-Catalyzed Oxidation of Benzyl Alcohols for the Preparation of Quinazolinones in Water

Wu, Mei^a Yu, Ling^b Hou, Huiqing^a Chen, Houzheng^a Zhuang, Qinglong^a
Zhou, Sunying^a Lin, Xiaoyan^{*,a}

(^a Department of Pharmacy, Fujian Medical University, Fuzhou 350004)

(^b Xingtai University, Xingtai, Hebei 054001)

Abstract Quinazolinone is one of the most important nitrogen-containing heterocyclic compound, which is widely found in numerous natural products and synthetic drugs. Quinazolinone derivatives were synthesized by one-pot co-oxidation of benzyl alcohol with CuCl_2 and electric current in aqueous phase. The reaction provides an efficient protocol to a series of quinazolinones derivatives in good to high yields. This synthesis process features convenient operation and environmental friendliness, which make it a promising method for the preparation of quinazolinone derivatives instead of expensive and toxic oxidants with electric current.

Keywords electrochemistry; quinazolinone; green chemistry; copper catalysis; water

喹唑啉酮及其衍生物是一类重要的五元含氮杂环化合物^[1],广泛存在于天然产物中^[2],如色胺酮(Tryptanthrin)^[3]和骆驼碱 A (Luotonin A)^[4].许多合成药物也存在喹唑啉酮骨架结构^[5],如治疗 II 型糖尿病的巴格利酮(Balaglitazone)^[6]以及用于镇静催眠的甲喹酮(Methaqualone)^[7](图 1).此外,喹唑啉酮类化合物还具有其他药理作用,如抗癌、抗菌、抗炎等^[8].鉴于其诸多优越的生物活性,许多合成喹唑啉酮及其衍生物的方法被报道^[9].目前,常用邻氨基苯甲酰胺与醛为原料合成制备喹唑啉酮^[10],合成方法是将邻氨基苯甲酰胺与醛缩合

得到胺中间体,然后经氧化剂(如 MnO_2 、 KMnO_4 、 $\text{PhI}(\text{OAc})_2$ 等)^[11]氧化得到喹唑啉酮.例如: Bakavoli 等^[12]报道了一种在微波辐射下,以 KMnO_4 为氧化剂,邻氨基苯甲酰胺与醛为原料一锅法氧化环化合成 2-芳基喹唑啉-4(3H)酮的反应.虽然这种方法原料易得,反应时间短,但是强氧化剂的使用容易造成底物选择性低.因此,为了避免强氧化剂的使用,以过渡金属催化剂催化合成喹唑啉酮的方法引起了科研人员的关注.许多以邻氨基苯甲酰胺和醇为底物,通过过渡金属催化剂来制备喹唑啉酮的合成策略被报道^[13].例如: 2011 年, Zhou 小组^[14]

* Corresponding author. E-mail: linxiaoyan@fjmu.edu.cn

Received December 18, 2020; revised March 3, 2021; published online March 19, 2021.

Project supported by the Natural Science Foundation of Fujian Province (Nos. 2015MP008, 2017J01820), and the Fujian Medical University Sailing Foundation (No. 2018QH2021).

福建省自然科学基金(Nos. 2015MP008, 2017J01820)、福建医科大学启航基金(No. 2018QH2021)资助项目.

在无碱条件下,以铱配合物 $[\text{Cp}^*\text{IrCl}_2]_2$ (Cp^* =五甲基环戊二烯基)为催化剂,成功实现了伯醇与邻氨基苯甲酰胺氧化环化制备喹唑啉酮. 2014年, Siddiki 课题组^[15]开发了一种使用 HBEA 分子筛负载的铂纳米簇催化剂,在非均相体系中直接以伯醇与邻氨基苯甲酰胺合成喹唑啉酮的策略. 此类方法底物适用范围广,但是由于大部分过渡金属催化剂反应时间较长,限制了其进一步的应用(Scheme 1b). 此外以其它原料,如以邻氨基苯腈与醇氧化制备喹唑啉酮的合成路线也鲜有报道(Scheme 1c)^[16]. 2019年, Xu 课题组^[17]采用醇与邻氨基苯腈在无过渡金属催化剂下,以空气用作氧化剂高效合成喹唑啉酮. 整个反应体系中,采用空气作为氧化剂,并且生成的唯一副产物是水,这与可持续化学的理念相嵌合,但是存在催化体系活性较低,产物产率较低等不足. 因此,继续探索一种绿色高效、反应体系温和的喹唑啉酮合成方法仍具有重要的意义.

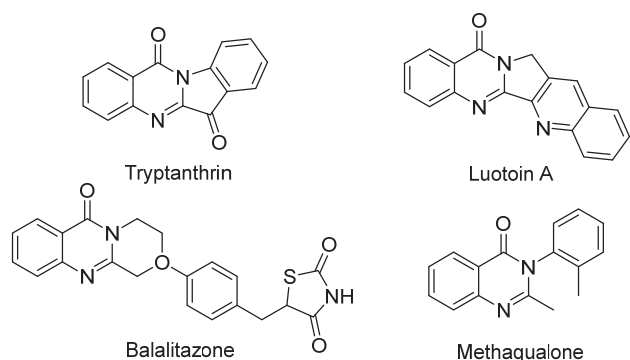


图1 具有喹唑啉酮结构的活性化合物

Figure 1 Quinazolinone-containing bioactive compounds

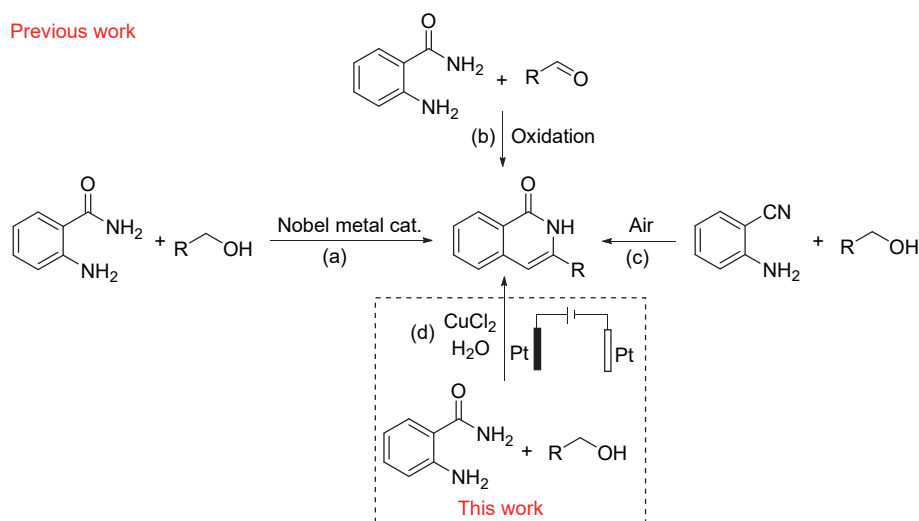
有机电化学合成是通过电极上的电子得失来实现底物的转换,可用于合成众多具有重要价值的化合

物^[18]. 在此过程中,由于使用电子作为“氧化剂”,可避免毒性大的氧化剂的利用,已成功应用于各种类型的功能化反应中. 鉴于其对 C—杂原子键^[19]的强大构建能力,有机电化学合成已被认为是最新型有效合成功能有机分子的合成策略. 2019年, Wang 小组^[20]通过电化学氧化,以易得的醇为底物,各种唑类和酰胺类为亲核试剂,在 PPh_3 辅助下进行脱羟基 C—N 偶联反应. 该方法提供了一种在温和条件下活化羟基形成碳氮键的有效电化学策略. 另一方面,水作为一种环境友好的反应溶剂,可避免传统有机溶剂的大量使用,是减少污染,实现绿色化学的有益举措^[21]. 因此,基于本课题组前期对绿色催化反应体系的研究^[22],本文以苯甲醇与邻氨基苯甲酰胺作为底物,在 CuCl_2 以及电流的共同氧化作用下,在水相中以有机电合成方式合成去喹唑啉酮及其衍生物(Scheme 1d).

1 结果与讨论

1.1 反应条件的优化

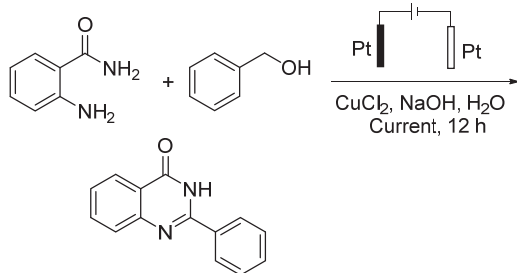
反应以邻氨基苯甲酰胺、苯甲醇为底物模板,以 Pt-Pt 电极提供电流,对反应条件进行优化. 具体的条件筛选如 Table 1 所示. 首先对溶剂进行筛选,结果显示在使用 CH_3CN 、二甲基亚砜(DMSO)、 N,N -二甲基甲酰胺(DMF)为溶剂时,反应效果较差(Table 1, Entries 1~3),相较之下,当使用甲苯(Toluene)与水为溶剂时,都达到了较高的产率(Table 1, Entries 4, 5),但由于甲苯毒性大、高污染且导电性差,所以选择绿色环保的纯水作为溶剂最为妥当. 随后,以水为溶剂考察了催化剂对反应的影响,实验结果表明当使用 CuSO_4 、 $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 时给出的产率较低(Table 1, Entries 6~8). 当选择



图式1 喹唑啉酮及其衍生物的合成
Scheme 1 Synthesis of quinazolones

表 1 反应条件优化^a

Table 1 Optimization of reaction conditions



Entry	Solvent	Cat.	Base	Current/ mA	t/h	Electrode	Yield ^b / %
1	CH ₃ CN	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	51
2	DMSO	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	72
3	DMF	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	60
4	Toluene	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	80
5	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	91
6	H ₂ O	CuSO ₄	NaOH	40	12	Pt-Pt	53
7	H ₂ O	Cu(OAc) ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	67
8	H ₂ O	Cu(NO ₃) ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	57
9	H ₂ O	—	NaOH	40	12	Pt-Pt	Trace
10	H ₂ O	CuCl ₂	K ₂ CO ₃	40	12	Pt-Pt	51
11	H ₂ O	CuCl ₂	Cs ₂ CO ₃	40	12	Pt-Pt	66
12	H ₂ O	CuCl ₂	KOH	40	12	Pt-Pt	72
13	H ₂ O	CuCl ₂	—	40	12	Pt-Pt	Trace
14	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	30	12	Pt-Pt	82
15	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	50	12	Pt-Pt	68
16 ^c	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	—	12	Pt-Pt	Trace
17	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	40	11	Pt-Pt	84
18	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	40	13	Pt-Pt	91
19	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-C	86
20	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Ag	79
21 ^d	H ₂ O	CuCl ₂	NaOH	40	12	Pt-Pt	90

^a Reaction conditions: *o*-aminobenzamide (0.5 mmol), benzyl alcohol (1 mL), Cu source (0.05 mmol), base (2.0 equiv.), H₂O (3.0 mL), constant current, Pt-Pt electrode, r.t.; ^b isolated yields; ^c without current; ^d at 40 °C.

以 CuCl₂ 作为催化剂时, 产率较高。另外, 对碱进行筛选: 用 K₂CO₃、Cs₂CO₃ 以及 KOH 为碱时(Table 1, Entries 10~12), 反应相较 NaOH 而言, 收率较低。另外, 在分别不加入 CuCl₂ 和 NaOH 时, 反应几乎检测不到目标产物(Table 1, Entries 9, 13)。同时, 对电流进行筛选, 结果显示, 相较于电流为 30、50 mA 时(Table 1, Entries 14, 15), 40 mA 的电流能得到更高的产率, 且当反应体系未通入电流时(Table 1, Entry 16), 几乎未检测到目标产物, 因此可知, 电是促进整个反应体系实现底物转换的重要因素。此外, 对反应时间进行了考察, 当反应时间为 12 h 时产率达到最优。之后探索了各种电极对反应的影响, 在考察的 Pt-Pt、Pt-Ag、Pt-C 等电极中, Pt-Pt 的反应效果最佳。最后, 尝试提高反应温度, 实验结果说明当温度达到 40 °C 时所得到的产率与室温下的反应产率相近, 所以选择于室温下进行反应。基于以上结果, 最优

的反应条件为: 室温条件下以 Pt-Pt 为电极, 通入 40 mA 电流, CuCl₂ 为催化剂、NaOH (2.0 equiv.) 为碱、H₂O (3.0 mL) 为反应溶剂。

1.2 反应底物的拓展

在获得最优反应条件后, 对反应底物的适用范围进行了研究(Table 2)。结果表明, 该反应体系对于各种邻氨基苯甲酰胺与各类取代苯甲醇衍生物均有较高的催化活性, 不同取代基如甲基、甲氧基、硝基、卤素(Cl、Br、F)等均能适应此催化体系, 且能以中等至优秀的产率生成相应的目标产物。首先, 考察取代苯甲醇的适应性。结果显示, 含有不同电子性质基团如给电子基团和吸电子基团的苯甲醇均能兼容此反应, 但给电子基团的底物产率略高于吸电子基团的底物, 其原因可能是给电子基团的电子云密度比吸电子基团高, 从而能使反应过程中所产生的中间体更加稳定。值得一提的是, 含有杂环醇类底物对该体系也表现出了较高的活性, 以良好的产率得到目标产物 **3p**, **3q**。另外, 该体系对脂肪族醇类化合物同样适用, 如苯乙醇也表现出较好的催化活性, 但是目标化合物 **3r** 产率相较芳香族醇类化合物略有下降。随后, 考察各种邻氨基苯甲酰胺底物的适应性。邻氨基苯甲酰胺上含有给电子基团比吸电子基团更容易反应, 如 2-氨基-5-甲氧基苯甲酰胺与苯甲醇反应产率为 90%, 2-氨基-5-溴苯甲酰胺与苯甲醇反应产率 79% (**3m**)。当酰胺类底物含有杂环时也能进行转化, 以良好的产率得到目标产物。尝试了 2-苯基乙烯-1-醇作为底物, 实验结果表明, 在电流条件下含双键的烯醇的产率很低, 其原因可能是烯醇双键在该反应体系下不稳定(**3t**)。

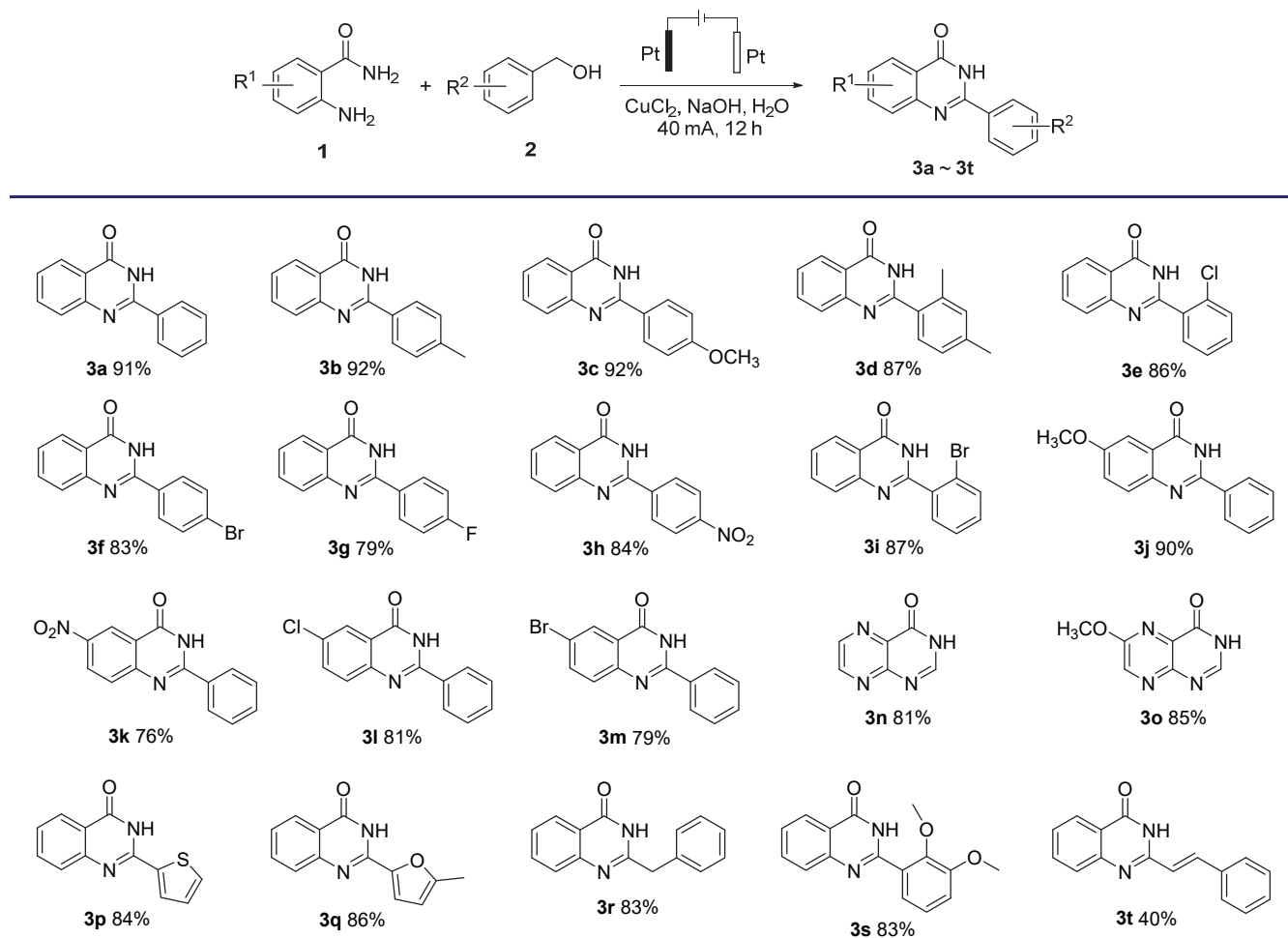
1.3 克级反应

根据最优的反应条件, 对底物进行克级放大实验。以邻氨基苯甲酰胺(5 mmol)、苯甲醇(10 mmol)为原料, 在 CuCl₂ (0.50 mmol)、20 mmol NaOH 作为碱, 30 mL 水作为溶剂, 采用 Pt-Pt 电极通入 40 mA 电流反应 12 h, 最终顺利得到目标产物 2-苯基喹唑啉-4(3H)-酮, 产率为 76%。

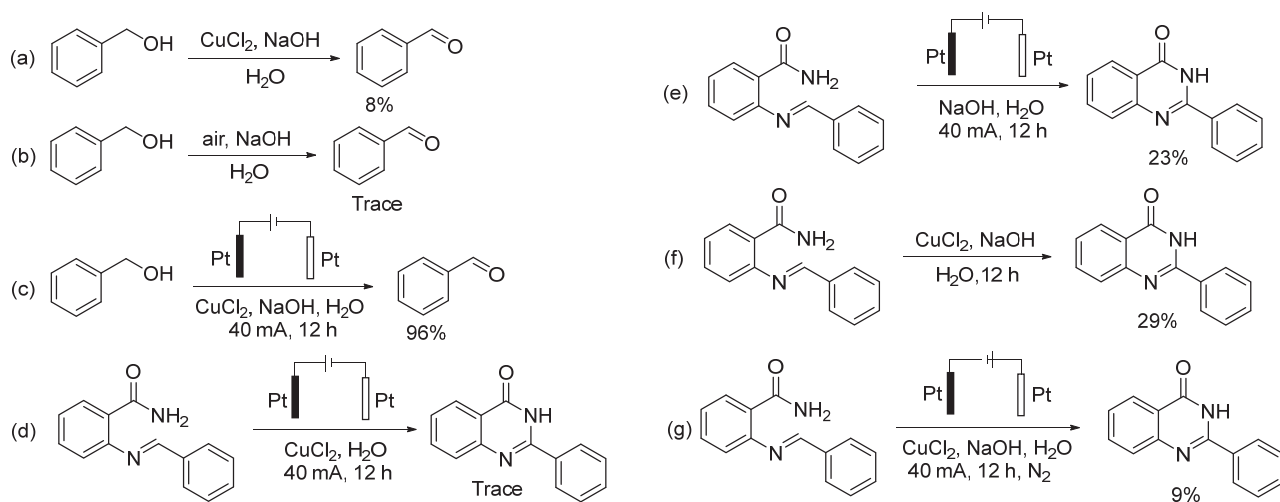
1.4 反应机理的探索

为了阐明反应机理进行了中间体控制实验。首先, 在最优条件下, 以苯甲醇为底物, 在通入电流条件下反应可检测到苯甲醛的存在(Scheme 2c), 而当未通入电流时, 只检测到少量的苯甲醛(Scheme 2a), 说明电流的使用能促进苯甲醇的转换。另外, 当体系只处在空气氛围中, 不加入 CuCl₂ 且不通入电流时, 几乎检测不出苯甲醛, 表明空气中的氧气对苯甲醇的氧化影响极小(Scheme 2b)。邻氨基苯甲酰胺与苯甲醛为底物时, 有亚

表 2 喹唑啉酮的底物拓展
Table 2 Substrate scope of quinazolones



^a Reaction conditions: **1** (0.5 mmol), **2** (1 mL), CuCl_2 (0.05 mmol), NaOH (2.0 equiv.), H_2O (3.0 mL), constant current 40 mA, Pt-Pt electrode, 12 h; ^b Isolated yields.



图式 2 控制实验
Scheme 2 Control experiments

胺中间体的生成, 且能进一步转换形成喹唑啉酮, 在此基础上, 我们利用亚胺, 分别研究 NaOH、 CuCl_2 、电流

以及 O_2 对生成目标产物的影响, 结果显示当无 NaOH 的情况下, 几乎没有喹唑啉酮的生成(Scheme 2d), 当体

系没有 CuCl_2 或者电流时, 反应不能顺利进行(Schemes 2e, 2f). 此外, 当体系处在 N_2 氛围中, 产物产率下降(Scheme 2g), 说明 O_2 能促进目标产物的生成.

为了进一步探讨反应机理, 在水中进行了循环伏安法(CV)实验. 以玻碳电极为工作电极、铂丝为对电极, SCE 为参比电极, 扫描速率为 0.1 V^{-1} (图 2). 对曲线 A 和 B 进行考察: 当有 CuCl_2 存在时电流增大, 并且从曲线 B 中 $E_p=0.66 \text{ V}$ 处可观察到氧化峰, 表明醇在 CuCl_2 存在下被氧化; 另外, 通过曲线 C 和 D 的比较, 可观察到电流发生改变, 并且在 $E_p=1.989 \text{ V}$ 范围内观察到氧化峰(曲线 D), 说明邻氨基苯甲酰胺、苯甲醇与 CuCl_2 在反应体系中发生反应. 最后于 $E_p=1.732 \text{ V}$ 处可观测到明显的氧化峰(曲线 E), 且氧化峰出现在曲线 D 左侧, 说明碱加入后可能有目标化合物生成.

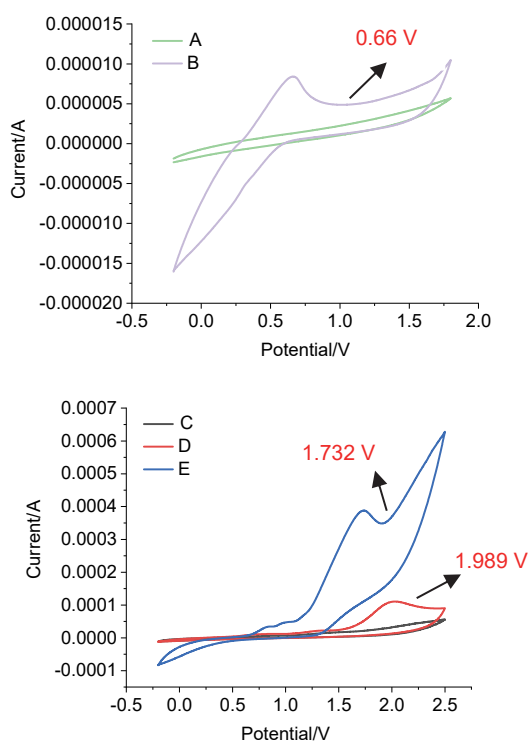


图 2 循环伏安实验

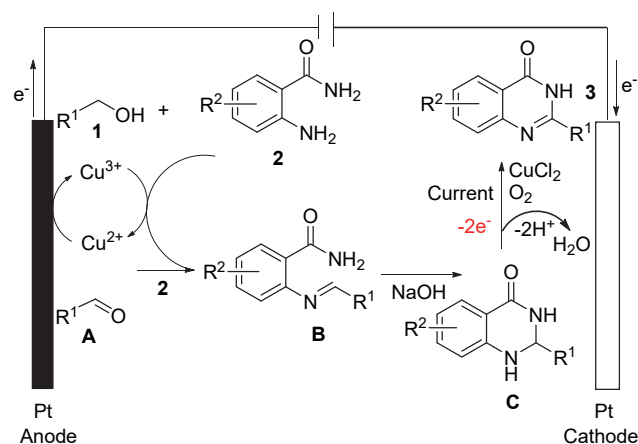
Figure 2 Cyclic voltammogram

(A) Benzyl alcohol; (B) benzyl alcohol + CuCl_2 ; (C) benzyl alcohol + *o*-aminobenzamide; (D) *o*-aminobenzamide + benzyl alcohol + CuCl_2 ; (E) *o*-aminobenzamide + benzyl alcohol + CuCl_2 + NaOH

1.5 反应机理

结合实验结果及文献报道^[23], 提出了一种可行的反应机理(Scheme 3). 首先, 当电流通过反应体系时, Cu^{2+} 在阳极氧化生成 Cu^{3+} ^[23a], 在此转化过程中, 醇 **1** 首先生成醛 **A**^[23b], 随后醛 **A** 与邻氨基苯甲酰胺合成亚胺中间体 **B**^[23c], 亚胺中间体 **B** 在碱的作用下快速环合成中间体 **C**^[23d], 中间体 **C** 经 CuCl_2 、 O_2 以及电流氧化脱氢

成喹啉酮^[23e-23f], H^+ 在阴极生成 H_2O .



图式 3 可能的反应机理

Scheme 3 Possible reaction mechanism

2 结论

利用廉价易得的苯甲醇和邻氨基苯甲酰胺为原料, 以 CuCl_2 为催化剂, 在水相中经电促进合成了一系列喹啉酮及其衍生物. 该催化体系在廉价易得的 CuCl_2 以及“清洁试剂”电子共同起氧化作用的条件下, 实现了喹啉酮骨架的有效构筑. 此外, 在该反应过程中以水作为溶剂, 可避免大量有毒有机溶剂的使用, 并且相较于有机溶剂而言, 水的导电性能更佳, 可以对一系列喹啉酮衍生物的生成起促进作用. 最后, 该方法反应条件温和, 底物适用范围广, 反应选择性高、操作简单, 是一种绿色经济且极具潜力的合成策略.

3 实验部分

3.1 仪器与试剂

^1H NMR (400 MHz)和 ^{13}C NMR (100 MHz)采用 Bruker AM 400 型核磁共振仪测定(CDCl_3 和 $\text{DMSO}-d_6$ 为溶剂, TMS 作为内标); 质谱采用 Agilent 6890N 气相色谱/质谱(GC/MS)测试[5973N 质量检测器(EI)和 HP5-MS 30 $\text{m} \times 0.25 \text{ mm}$ 毛细管非极性柱]; 电泳采用 WIX-EP300 型电泳仪. 上海晨华 CHI600E 型电化学工作站, 申光 WRS-1B 型熔点仪. 柱色谱用硅胶(200~300 目)进行, 乙酸乙酯和石油醚为洗脱剂; 薄层色谱(TLC)用硅胶 GF254 板. 所用试剂均为市售分析纯或化学纯试剂, 使用时无需进一步纯化, 所有的溶剂都用标准方法干燥.

3.2 实验方法

向 10 mL 的圆底烧瓶中加入邻氨基苯甲酰胺(0.5 mmol), 苯甲醇(1 mL), CuCl_2 (0.05 mmol), NaOH (2 mmol)和纯水(3 mL). 将采用 Pt-Pt 电极, 将该反应设置

40 mA 的恒定电流, 直到通过 TLC 分析监测反应完全 (反应时间 12 h). 将所得反应液通过乙酸乙酯萃取, 然后旋转蒸发仪除去溶剂, 最后以乙酸乙酯和石油醚混合物 ($V:V=1:5$) 作为洗脱剂, 柱层析后旋蒸得到目标产物. 目标产物通过 ^1H NMR, ^{13}C NMR 进行结构表征.

2-苯基喹啉-4(3*H*)-酮(**3a**): 白色固体, m.p. 235~237 °C (Lit.^[24a]: 236~238 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.53 (s, 1H), 8.21~8.14 (m, 3H), 7.87~7.81 (m, 1H), 7.76~7.73 (m, 1H), 7.60~7.50 (m, 4H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 162.14, 152.22, 148.65, 134.51, 132.63, 131.30, 128.51, 127.67, 127.41, 126.49, 125.76, 120.89; MS (EI) m/z : 222 [M^+].

2-(对甲苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3b**): 白色固体, m.p. 243~244 °C (Lit.^[24b]: 245~246 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.46 (s, 1H), 8.14 (dd, $J=7.91$, 1.23 Hz, 1H), 8.10 (d, $J=8.27$ Hz, 1H), 7.87~7.78 (m, 1H), 7.72 (d, $J=7.64$ Hz, 1H), 7.54~7.48 (m, 1H), 7.36 (d, $J=8.08$ Hz, 2H), 2.39 (s, 3H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 162.16, 152.14, 148.74, 141.37, 134.49, 129.80, 129.11, 127.59, 127.33, 126.32, 125.75, 120.81, 20.90; MS (EI) m/z : 236 [M^+].

2-(4-甲氧基苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3c**): 白色固体, m.p. 246~249 °C (Lit.^[24a]: 248~251 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.40 (s, 1H), 8.23~8.16 (m, 2H), 8.15~8.11 (m, 1H), 7.84~7.77 (m, 1H), 7.70 (d, $J=7.62$ Hz, 1H), 7.51~7.45 (m, 1H), 7.12~7.05 (m, 2H), 3.85 (s, 3H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 162.21, 161.79, 151.78, 148.85, 134.46, 129.37, 127.20, 126.04, 125.74, 124.71, 120.60, 113.91, 55.38; MS (EI) m/z : 252 [M^+].

2-(2,4-二甲基苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3d**): 白色固体, m.p. 159~161 °C (Lit.^[24d]: 160~162 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.37 (s, 1H), 8.16 (dd, $J=7.93$, 1.18 Hz, 1H), 7.87~7.78 (m, 1H), 7.67 (d, $J=7.63$ Hz, 1H), 7.57~7.48 (m, 1H), 7.40 (d, $J=7.73$ Hz, 1H), 7.20~7.10 (m, 2H), 2.35 (d, $J=8.00$ Hz, 6H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 161.77, 154.33, 148.64, 139.39, 135.96, 134.33, 131.31, 131.10, 129.08, 127.20, 126.42, 126.15, 125.67, 120.78, 20.74, 19.49; MS (EI) m/z : 250 [M^+].

2-(2-氯苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3e**): 白色固体, m.p. 192~194 °C (Lit.^[24c]: 194~196 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.64 (s, 1H), 8.21~8.14 (m, 1H), 7.89~7.81 (m, 1H), 7.74~7.65 (m, 2H), 7.63~7.53 (m, 1H), 7.49 (dt, $J=7.37$, 1.36 Hz, 1H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 161.34,

152.17, 148.50, 134.50, 133.73, 131.52, 131.41, 130.79, 129.51, 127.39, 127.14, 126.98, 125.76, 121.17; MS (EI) m/z : 257 [M^+].

2-(4-溴苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3f**): 白色固体, m.p. 291~293 °C (Lit.^[24a]: 294~296 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.60 (s, 1H), 8.18~8.08 (m, 3H), 7.87~7.82 (m, 1H), 7.78~7.73 (m, 3H), 7.56~7.50 (m, 1H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 162.17, 151.48, 148.49, 134.67, 131.88, 131.59, 129.77, 127.48, 126.78, 125.84, 125.20, 120.94; MS (EI) m/z : 301 [M^+].

2-(4-氟苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3g**): 白色固体, m.p. 258~260 °C (Lit.^[24b]: 257~259 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.55 (s, 1H), 8.28~8.20 (m, 2H), 8.15 (dd, $J=7.93$, 1.28 Hz, 1H), 7.90~7.80 (m, 1H), 7.73 (d, $J=7.62$ Hz, 1H), 7.55~7.48 (m, 1H), 7.42~7.35 (m, 2H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 165.20, 162.72, 162.25, 151.41, 148.52, 134.52, 130.33, 130.24, 129.22, 129.20, 127.29, 126.50, 125.77, 120.79, 115.65, 115.43; MS (EI) m/z : 240 [M^+].

2-(4-硝基苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3h**): 白色固体, m.p. >300 °C (Lit.^[24a]: >300 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.84 (s, 1H), 8.47~8.36 (m, 4H), 8.21~8.18 (m, 1H), 7.92~7.86 (m, 1H), 7.81 (d, $J=7.56$ Hz, 1H), 7.62~7.57 (m, 1H); ^{13}C NMR (126 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 162.03, 150.71, 148.95, 148.30, 138.51, 134.81, 129.29, 127.99, 127.76, 127.36, 125.90, 123.64, 121.20; MS (EI) m/z : 267 [M^+].

2-(2-溴苯基)喹啉-4(3*H*)-酮(**3i**): 白色固体, m.p. 184~186 °C (Lit.^[24c]: 185~187 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.61 (s, 1H), 8.19 (dd, $J=7.94$, 1.39 Hz, 1H), 7.90~7.82 (m, 1H), 7.80~7.75 (m, 1H), 7.71 (d, $J=7.60$ Hz, 1H), 7.66~7.62 (m, 1H), 7.60~7.44 (m, 3H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 161.33, 153.24, 148.46, 135.77, 134.50, 132.54, 131.57, 130.68, 127.58, 127.38, 126.96, 125.74, 121.17, 120.87; MS (EI) m/z : 301 [M^+].

6-甲氧基-2-苯基喹啉-4(3*H*)-酮(**3j**): 白色固体, m.p. 241~243 °C (Lit.^[23e]: 244~246 °C); ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.50 (s, 1H), 8.21~8.10 (m, 2H), 7.69 (d, $J=8.90$ Hz, 1H), 7.59~7.50 (m, 4H), 7.47~7.41 (m, 1H), 3.89 (s, 3H); ^{13}C NMR (101 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 161.96, 157.67, 150.01, 143.13, 132.71, 130.97, 129.15, 128.50, 127.41, 124.04, 121.71, 105.78, 55.57; MS (EI) m/z : 252 [M^+].

6-硝基-2-苯基喹啉-4(3*H*)-酮(**3k**): 白色固体,

m.p. 293~295 °C (Lit.^[23c]: 296~298 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.98 (s, 1H), 8.83 (d, *J*=2.61 Hz, 1H), 8.55 (dd, *J*=8.97, 2.69 Hz, 1H), 8.22 (d, *J*=7.41 Hz, 2H), 7.91 (d, *J*=8.97 Hz, 1H), 7.67~7.55 (m, 3H); ¹³C NMR (126 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 161.60, 155.68, 152.89, 144.63, 132.28, 132.00, 129.16, 128.73, 128.51, 128.22, 122.01, 120.95; MS (EI) *m/z*: 267 [M⁺].

6-氯-2-苯基喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3l**): 白色固体, m.p. (Lit.^[13d]: 276~278 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.70 (s, 1H), 8.19~8.15 (m, 2H), 8.09 (d, *J*=2.40 Hz, 1H), 7.86 (dd, *J*=8.72, 2.53 Hz, 1H), 7.76 (d, *J*=8.80 Hz, 1H), 7.61~7.53 (m, 3H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 161.19, 152.73, 147.39, 134.61, 132.35, 131.50, 130.67, 129.65, 128.53, 127.74, 124.77, 122.15; MS (EI) *m/z*: 257 [M⁺].

6-溴-2-苯基喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3m**): 白色固体, m.p. 286~286 °C (Lit.^[23e]: 284~286 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.71 (s, 1H), 8.23 (d, *J*=2.40 Hz, 1H), 8.19~8.16 (m, 2H), 7.98 (dd, *J*=8.80, 2.40 Hz, 1H), 7.70 (d, *J*=8.80 Hz, 1H), 7.61~7.53 (m, 3H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 161.06, 152.85, 147.86, 137.34, 132.37, 131.52, 129.81, 128.55, 127.90, 127.76, 122.52, 118.84; MS (EI) *m/z*: 301 [M⁺].

蝶啶-4(3*H*)-酮(**3n**): 白色固体, m.p. 265~268 °C (Lit.^[24e]: 268~270 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.82 (s, 1H), 8.99 (d, *J*=2 Hz, 1H), 8.84 (d, *J*=2 Hz, 1H), 8.36 (s, 1H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 160.20, 155.23, 150.05, 149.19, 144.37, 134.52; MS (EI) *m/z*: 148 [M⁺].

6-甲氧基蝶啶-4(3*H*)-酮(**3o**): 白色固体, m.p. 245~247 °C (Lit.^[24e]: 243~244 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.74 (s, 1H), 8.68 (s, 1H), 8.22 (s, 1H), 4.01 (s, 3H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 160.03, 157.85, 150.76, 146.03, 142.95, 129.86, 54.20; MS (EI) *m/z*: 178 [M⁺].

2-(2-噻吩基)喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3p**): 白色固体, m.p. 275~276 °C (Lit.^[24a]: 277~278 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.45 (s, 1H), 8.60 (dd, *J*=2.89, 1.28 Hz, 1H), 8.17~8.08 (m, 1H), 7.88 (dd, *J*=5.09, 1.26 Hz, 1H), 7.84~7.76 (m, 1H), 7.72~7.66 (m, 2H), 7.53~7.45 (m, 1H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 161.98, 148.78, 148.21, 135.32, 134.50, 128.56, 127.27, 127.21, 126.96, 126.27, 125.79, 120.87; MS (EI) *m/z*: 228 [M⁺].

2-(5-甲基呋喃-2-基)喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3q**): 白色固体, m.p. 245~246 °C (Lit.^[24f]: 247~248 °C); ¹H NMR

(400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.36 (s, 1H), 8.10 (dd, *J*=7.92, 1.22 Hz, 1H), 7.81~7.76 (m, 1H), 7.68 (d, *J*=7.67 Hz, 1H), 7.55 (d, *J*=3.20 Hz, 1H), 7.50~7.41 (m, 1H), 6.37 (dd, *J*=3.42, 0.91 Hz, 1H), 2.40 (s, 3H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 161.51, 156.07, 148.75, 144.36, 143.85, 134.51, 127.06, 126.10, 125.81, 120.90, 115.77, 108.86, 13.48; MS (EI) *m/z*: 226 [M⁺].

2-苄基喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3r**): 白色固体, m.p. 242~244 °C (Lit.^[13d]: 245~247 °C); ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.40 (s, 1H), 8.10~8.05 (m, 1H), 7.80~7.74 (m, 1H), 7.60 (d, *J*=7.69 Hz, 1H), 7.49~7.43 (m, 1H), 7.40~7.35 (m, 2H), 7.34~7.29 (m, 2H), 7.26~7.21 (m, 1H), 3.93 (s, 2H); ¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 161.80, 155.94, 148.69, 136.44, 134.31, 128.78, 128.40, 126.71, 126.13, 125.62, 120.63; MS (EI) *m/z*: 236 [M⁺].

2-(2,3-二甲氧基苯基)喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3s**): 白色固体, m.p. 176~178 °C (Lit.^[25a]: 175~177 °C); ¹H NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.43 (s, 1H), 8.14 (dd, *J*=8.0, 1.6 Hz, 1H), 7.88 (dd, *J*=8.4, 2.3 Hz, 1H), 7.83~7.79 (m, 2H), 7.72 (d, *J*=6.9 Hz, 1H), 7.50~7.46 (m, 1H), 7.11 (d, *J*=8.5 Hz, 1H), 3.89 (s, 3H), 3.85 (s, 3H); ¹³C NMR (151 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 162.84, 152.31, 152.04, 149.36, 149.00, 135.00, 127.77, 126.59, 126.30, 125.20, 121.60, 121.14, 111.81, 111.11, 60.222, 56.13; MS (EI) *m/z*: 282 [M⁺].

2-苯乙基喹唑啉-4(3*H*)-酮(**3t**): 白色固体, m.p. 245~247 °C (Lit.^[25e]: 247~249 °C); ¹H NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.38 (s, 1H), 8.12 (d, *J*=8.0 Hz, 1H), 7.96 (d, *J*=16.2 Hz, 1H), 7.80 (s, 1H), 7.73~7.58 (m, 3H), 7.52~7.37 (m, 4H), 7.02 (d, *J*=16.3 Hz, 1H); ¹³C NMR (151 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 162.20, 151.87, 149.48, 138.72, 135.47, 134.97, 130.23, 129.53, 128.09, 127.62, 126.68, 126.33, 121.56; MS (EI) *m/z*: 248 [M⁺].

辅助材料(Supporting Information) 化合物 **3a**~**3t** 的 ¹H NMR 和 ¹³C NMR 图谱. 这些材料可以免费从本刊网站(<http://sioc-journal.cn/>)上下载.

References

- [1] (a) Kametani, T.; Loc, C. V.; Higa, T.; Koizumi, M.; Ihara, M.; Fukushima, K. *J. Am. Chem. Soc.* **1977**, *99*, 2306.
(b) Ma, Z.-Z.; Hano, Y.; Nomura, T.; Chen, Y.-J. *Heterocycles* **1999**, *51*, 1883.
- [2] (a) Horton, D. A.; Bourne, G. T.; Smythe, M. L. *Chem. Rev.* **2003**, *103*, 893.
(b) Xu, L.; Jiang, Y.; Ma, D. *Org. Lett.* **2012**, *14*, 1150.
(c) Mhaske, S. B.; Argade, N. P. *Tetrahedron* **2006**, *62*, 9787.
(d) Witt, A.; Bergman, J. *Curr. Org. Chem.* **2003**, *7*, 659.
(e) Khan, I.; Ibrar, A.; Abbas, N.; Saeed, A. *Eur. J. Med. Chem.*

- 2014, 76, 193.
- [3] (a) Kaur, R.; Manjal, S. K.; Rawal, R. K.; Kumar, K. *Bioorg. Med. Chem.* **2017**, 25, 4533.
(b) Lin, C.-J.; Chang, Y.-L.; Yang, Y.-L.; Chen, Y.-L. *Med. Mycol.* **2020**, DOI: 10.1093/mmy/myaa074.
- [4] (a) Jahng, Y.; Kwon, O. K.; Lee, S. *Arch. Pharm. Res.* **2012**, 35, 2199.
(b) Bowman, W. R.; Elsegood, M. R.; Stein, T.; Weaver, G. W. *Org. Biomol. Chem.* **2007**, 5, 103.
- [5] (a) Romero, A. H.; Salazar, J.; Lopez, S. E. *Synthesis* **2013**, 45, 2043.
(b) Hikawa, H.; Ino, Y.; Suzuki, H.; Yokoyama, Y. *J. Org. Chem.* **2012**, 77, 7046.
- [6] Larsen, P. J.; Lykkegaard, K.; Larsen, L. K.; Fleckner, J.; Sauerberg, P.; Wassermann, K.; Wulff, E. M. *Eur. J. Pharmacol.* **2008**, 596, 173.
- [7] Ionescu-Pioggia, M.; Bird, M.; Orzack, M. H.; Benes, F.; Beake, B.; Cole, J. O. *Int. Clin. Psychopharm.* **1988**, 3, 97.
- [8] (a) Wan, Z.-K.; Wacharasindhu, S.; Levins, C. G.; Lin, M.; Tabei, K.; Mansour, T. S. *J. Org. Chem.* **2007**, 72, 10194.
(b) McLaughlin, N. P.; Evans, P.; Pines, M. *Bioorg. Med. Chem.* **2014**, 22, 1993.
(c) Sridharan, V.; Suryavanshi, P. A.; Menéndez, J. C. *Chem. Rev.* **2011**, 111, 7157.
- [9] (a) Chen, J.; Natta, K.; Spannenberg, A.; Neumann, H.; Langer, P.; Beller, M.; Wu, X.-F. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 7579.
(b) Chen, J.; Neumann, H.; Beller, M.; Wu, X.-F. *Org. Biomol. Chem.* **2014**, 12, 5835.
(c) Rather, B. A.; Raj, T.; Reddy, A.; Ishar, M. P. S.; Sivakumar, S.; Paneerselvam, P. *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.* **2010**, 343, 108.
(d) Maiden, T. M. M.; Harrity, J. P. A. *Org. Biomol. Chem.* **2016**, 14, 8014.
(e) Rohokale, R. S.; Kshirsagar, U. A. *Synthesis* **2016**, 48, 1253.
(f) Nguyen, T. B.; Ermolenko, L.; Al-Mourabit, A. *Green Chem.* **2013**, 15, 2713.
(g) He, L.; Li, H.; Chen, J.; Wu, X.-F. *RSC Adv.* **2014**, 4, 12065.
(h) Teng, Q.-H.; Sun, Y.; Yao, Y.; Tang, H.-T.; Li, J.-R.; Pan, Y.-M. *ChemElectroChem* **2019**, 6, 3120.
(i) Yao, Y.; Meng, X.-J.; Teng, Q.-H.; Chen, Y.-Y. *Synlett* **2020**, 31, 1795.
(j) Chen, X.; Xia, F.; Zhao, Y.; Ma, J.; Ma, Y.; Zhang, D.; Yang, L. *Chin. J. Chem.* **2020**, 38, 1239.
(k) Yang, Q.-L.; Wang, X.-Y.; Weng, X.-J.; Yang, X.; Xu, X.-T.; Tong, X.; Fang, P.; Wu, X.-Y.; Mei, T.-S. *Acta Chim. Sinica* **2019**, 77, 866 (in Chinese).
(杨启亮, 王向阳, 翁信军, 杨祥, 徐学涛, 童晓峰, 方萍, 伍新燕, 梅天胜, 化学学报, **2019**, 77, 866.)
- [10] (a) Bie, Z.; Li, G.; Wang, L.; Lv, Y.; Niu, J.; Gao, S. *Tetrahedron Lett.* **2016**, 57, 4935.
(b) Du, Y.; Zhao, K.; Cheng, R.; Guo, T.; Zhang-Negrerie, D. *Synthesis* **2013**, 45, 2998.
(c) Zhan, D.; Li, T.; Zhang, X.; Dai, C.; Wei, H.; Zhang, Y.; Zeng, Q. *Synth. Commun.* **2013**, 43, 2493.
(d) Sharif, M.; Opalach, J.; Langer, P.; Beller, M.; Wu, X.-F. *RSC Adv.* **2014**, 4, 8.
(e) Juvalle, K.; Wiese, M. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2012**, 22, 6766.
(f) Jia, F.-C.; Zhou, Z.-W.; Xu, C.; Wu, Y.-D.; Wu, A.-X. *Org. Lett.* **2016**, 18, 2942.
(g) Shang, Y.-H.; Fan, L.-Y.; Li, X.-X.; Liu, M.-X. *Chin. Chem. Lett.* **2015**, 26, 1355.
(h) Cheng, R.; Guo, T.; Zhang-Negrerie, D.; Du, Y.; Zhao, K. *Synthesis* **2013**, 45, 2998.
- [11] (a) Zhang, Z.; Wang, M.; Zhang, C.; Zhang, Z.; Lu, J.; Wang, F. *Chem. Commun.* **2015**, 51, 9205.
(b) Zheng, Y.; Bian, M.; Deng, X.-Q.; Wang, S.-B.; Quan, Z.-S. *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.* **2013**, 346, 119.
(c) Du, Y.; Zhao, K.; Cheng, R.; Guo, T.; & Zhang-Negrerie, D. *Synthesis* **2013**, 45, 2998.
- [12] Bakavoli, M.; Sabzevari, O.; Rahimizadeh, M. *Chin. Chem. Lett.* **2007**, 18, 1466.
- [13] (a) Majumdar, B.; Sarma, D.; Jain, S.; Sarma, T. K. *Adv. Synth. Catal.* **2013**, 355, 2308.
(b) Dandia, A.; Sharma, R.; Indora, A.; Parewa, V. *ChemistrySelect* **2018**, 3, 8285.
(c) Sun, J.; Tao, T.; Xu, D.; Cao, H.; Kong, Q.; Wang, X.; Yun L.; Zhao, J.; Wang, Y.; Pan, Y. *Tetrahedron Lett.* **2018**, 59, 2099.
(d) Hu, Y.; Chen, L.; Li, B. *RSC Adv.* **2016**, 6, 65196.
(e) Oveisi, A. R.; Khorramabadizad, A.; Daliran, S. *RSC Adv.* **2016**, 6, 1136.
(f) Zhao, D.; Zhou, Y.-R.; Shen, Q.; Li, J.-X. *RSC Adv.* **2014**, 4, 6486.
(g) Li, F.; Lu, L.; Liu, P. C. *Org. Lett.* **2016**, 18, 2580.
(h) Ding, G.; Wang, Z.; Yin, Z.; Yue, G. *Chin. J. Org. Chem.* **2016**, 36, 43 (in Chinese).
(丁刚, 王泽宇, 殷中琼, 乐贵洲, 有机化学, **2016**, 36, 43.)
- [14] Zhou, J. G.; Fang, J. J. *Org. Chem.* **2011**, 76, 7730.
- [15] Siddiki, S. M. A. H.; Kon, K.; Touchy, A. S.; Shimizu, K. *Catal. Sci. Technol.* **2014**, 4, 1716.
- [16] (a) Wu, X.-F.; Oschatz, S.; Block, A.; Spannenberg, A.; Langer, P. *Org. Biomol. Chem.* **2014**, 12, 1865.
(b) Tang, L.; Zhao, X.; Zou, G.; Zhou, Y.; Yang, X. *Asian J. Org. Chem.* **2016**, 5, 335.
- [17] Wang, Q.; Lv, M.; Liu, J.; Li, Y.; Cao, H.; Zhang, X.; Xu, Q. *ChemSusChem* **2019**, 12, 3043.
- [18] (a) Adeli, Y.; Huang, K.; Liang, Y.; Jiang, Y.; Liu, J.; Song, S.; Zeng, C.-C.; Jiao, N. *ACS Catal.* **2019**, 9, 2063.
(b) Zheng, M.-W.; Yuan, X.; Cui, Y.-S.; Qiu, J.-K.; Li, G.; Guo, K. *Org. Lett.* **2018**, 20, 7784.
(c) Singh, V. K.; Dubey, R.; Upadhyay, A.; Sharma, L. K.; Singh, R. K. P. *Tetrahedron Lett.* **2017**, 58, 4227.
(d) Cardoso, D. S. P.; Šljukić, B.; Santos, D. M. F.; Sequeira, C. A. C. *Org. Process Res. Dev.* **2017**, 21, 1213.
(e) Röse, P.; Emge, S.; König, C. A.; Hilt, G. *Adv. Synth. Catal.* **2017**, 359, 1358.
(f) Huang, P.; Wang, P.; Wang, S.; Tang, S.; Lei, A. *Green Chem.* **2018**, 20, 4870.
(g) Chen, J.-Y.; Wu, H.-Y.; Gui, Q.-W.; Han, X.-R.; Wu, Y.; Du, K.; Cao, Z.; Lin, Y.-W.; He, W.-M. *Org. Lett.* **2020**, 22, 2206.
(h) Li, L.; Xue, M.; Yan, X.; Liu, W.; Xu, K.; Zhang, S. *Org. Biomol. Chem.* **2018**, 16, 4615.
- [19] (a) Shao, X.; Tian, L.; Wang, Y. *Eur. J. Org. Chem.* **2019**, 2019, 4089.
(b) Yu, Y.; Yuan, Y.; Liu, H.; He, M.; Yang, M.; Liu, P.; Yu, B.; Dong, X.; Lei, A. *Chem. Commun.* **2019**, 55, 1809.
(c) Wiebe, A.; Gieshoff, T.; Möhle, S.; Rodrigo, E.; Zirbes, M.; Waldvogel, S. R. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, 57, 5594.
(d) Hou, Z.-W.; Mao, Z.-Y.; Melcamu, Y. Y.; Lu, X.; Xu, H.-C. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, 57, 1636.
(e) Yang, Z.; Zhang, J.; Hu, L.; Li, A.; Li, L.; Liu, K.; Yang, T.; Zhou, C. *J. Org. Chem.* **2020**, 85, 5952.
(f) Song, T.; Ren, P.; Ma, Z.; Xiao, J.; Yang, Y. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2020**, 8, 267.
- [20] Xu, Z.; Zheng, Y.; Wang, Z.; Shao, X.; Tian, L.; Wang, Y. *Chem. Commun.* **2019**, 55, 15089.
- [21] (a) Peng, S.; Song, Y.-X.; He, J.-Y.; Tang, S.-S.; Tan, J.-X.; Cao, Z.; Lin, Y.-W.; He, W.-M. *Chin. Chem. Lett.* **2019**, 30, 2287.
(b) Peng, S.; Hu, D.; Hu, J.-L.; Lin, Y.-W.; Tang, S.-S.; Tang, H.-S.; He, J.-Y.; Cao, Z.; He, W.-M. *Adv. Synth. Catal.* **2019**, 361, 5721.
(c) Yang, J.; Fu, T.; Long, Y.; Zhou, X. G. *Chin. J. Org. Chem.* **2017**, 37, 1111 (in Chinese).
(杨军, 付婷, 龙洋, 周向葛, 有机化学, **2017**, 37, 1111.)
(d) Luo, F. H.; Long, Y.; Li, Z. K.; Zhou, X. G. *Acta Chim. Sinica* **2016**, 74, 805 (in Chinese).
(罗飞华, 龙洋, 李正凯, 周向葛, 化学学报, **2016**, 74, 805.)
(e) Pradhan, T. R.; Park, J. K. *Adv. Synth. Catal.* **2020**, 362, 4833.
- [22] (a) Ke, F.; Xu, Y.; Zhu, S.; Lin, X.; Chen, L.; Zhou, S.; Su, H.

- Green Chem.* **2019**, *21*, 4329.
- (b) Ke, F.; Zhang, P.; Xu, Y.; Lin, X.; Lin, J.; Lin, C.; Xu, J. *Synlett* **2018**, *29*, 2722.
- (c) Ke, F.; Liu, C.; Zhang, P.; Xu, J.; Chen, X. *Synth. Commun.* **2018**, *48*, 3089.
- [23] (a) Yang, Q.-L.; Wang, X.-Y.; Lu, J.-Y.; Zhang, L.-P.; Fang, P.; Mei, T.-S. *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 11487.
- (b) Lin, D.-Z.; Lai, Y.-L.; Huang, J.-M. *ChemElectroChem* **2019**, *6*, 4188.
- (c) Liu, Z.; Zeng, L.-Y.; Li, C.; Yang, F.; Qiu, F.; Liu, S.; Xi, B. *Molecules* **2018**, *23*, 2325.
- (d) Kumar, M.; Richa; Sharma, S.; Bhatt, V.; Kumar, N. *Adv. Synth. Catal.* **2015**, *357*, 2862.
- (e) Hu, Y.; Li, S.; Li, H.; Li, Y.; Li, J.; Duanmu, C.; Li, B. *Org. Chem. Front.* **2019**, *6*, 2744.
- (f) Cao, L.; Huo, H.; Zeng, H.; Yu, Y.; Lu, D.; Gong, Y. *Adv. Synth. Catal.* **2018**, *360*, 4764.
- [24] (a) Chen, X.; Qi, H.; Wu, S.; Liu, L.; Wen, J.; Li, W.; Guo, F.; Bian, Y.; Li, J. *Heterocycles* **2017**, *94*, 86.
- (b) Parua, S.; Das, S.; Sikari, R.; Sinha, S.; Paul, N. D. *J. Org. Chem.* **2017**, *82*, 7165.
- (c) Das, S.; Sinha, S.; Samanta, D.; Mondal, R.; Chakraborty, G.; Brandao, P.; Paul, N. D. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 10160.
- (d) Rao, K. R.; Mekala, R.; Raghunadh, A.; Meruva, S. B.; Kumar, S. P.; Kalita, D.; Laxminarayana, E.; Prasad, B.; Pal, M. *RSC Adv.* **2015**, *5*, 61575.
- (e) Duan, C.; Jia, J.; Zhu, R.; Wang, J. *J. Heterocycl. Chem.* **2012**, *49*, 865.
- (f) Latha, G.; Devarajan, N.; Suresh, P. *ChemistrySelect* **2020**, *5*, 10041.
- [25] (a) López, S.; Romero, A.; Salazar, J. *Synthesis* **2013**, *45*, 2043.
- (b) Hudwekar, A. D.; Reddy, G. L.; Verma, P. K.; Gupta, S.; Vishwakarma, R. A.; Sawant, S. D. *ChemistrySelect* **2017**, *2*, 4963.
- (c) Tian, X.; Song, L.; Li, E.; Wang, Q.; Yu, W.; Chang, J. *RSC Adv.* **2015**, *5*, 62194.

(Fan, Y.)