

文章编号: 1000-5862(2017)02-0145-05

一锅法合成 α -酮酰胺

刘福炎 林 常* 王 博*

(海南大学材料与化工学院 海南 海口 570228)

摘要: 介绍了一种以芳基甲基酮为原料、以碘化亚铜为催化剂和过氧化叔丁醇为氧化剂的一锅法合成 α -酮酰胺的简便方法。该方法反应条件温和, 产率高, 有较好的原子经济性。在 3 倍的过氧化叔丁醇下, 绝大部分的芳基甲基酮和胺类反应都能很好地转化成 α -酮酰胺。通过柱层析对粗产物进行纯化以及采用 ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 对产物结构进行表征。 α -酮酰胺在有机合成上具有潜在应用价值。

关键词: α -酮酰胺; 芳基甲基酮; 碘化亚铜; 过氧化叔丁醇

中图分类号: O 621.3 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.02.07

0 引言

α -酮酰胺是功能蛋白质、合成药物、生物活性物质和很多天然药物的核心结构, 同时也是合成一些重要的化合物的关键中间体^[1-3]。比如在药物合成中, 大量的维生素药物和激素药物都含有 α -酮酰胺基团; 在生物体内的生化反应, 以 α -酮酰胺为结构单元的蛋白质, 起到较多的功能性调节、调控、免疫作用; 在有机合成中, 可用做合成反应的重要中间体。因此 α -酮酰胺的结构在药物化学、生物化学及有机化学领域中具有非常重要的研究价值。传统合成 α -酮酰胺的方法主要有: 通过胺与 α -酮基羧酸及其衍生物直接酰胺化得到 α -酮酰胺^[4]; 胺与 α -酮基卤代芳烃的氧化反应^[5]; 通过 α - β -二酮基腈类直接酰胺化得到 α -酮酰胺^[6]; 由 α -羟基酰胺或者 α -氨基酰胺直接氧化得到 α -酮酰胺^[7-8]; 通过芳卤的双羰基化酰胺化得到 α -酮酰胺^[9]。但是传统方法大都存在着诸如需要昂贵的催化剂、苛刻的反应条件、收率低、对环境不友好等缺陷。为解决这些问题, 人们通过不断探索, 其一, 探索新的催化剂, 促进 α -酮基酰胺化反应, 如钯或铜催化的芳基卤化物的插羰基酰胺化反应^[10]; 其二, 寻找新的反应底物, 例如醛^[11]、醇^[12]、烷烃^[13]、烯烃^[14]、炔烃^[15]等, 并最终得到较多新颖高效的 α -酮酰胺合成方法。

本文提出了一种新的 α -酮酰胺的合成方法(见

图 1), 即通过碘化亚铜(CuI) 和过氧化叔丁醇(TBHP) 的催化氧化体系, 催化氧化芳基甲基酮和胺直接反应得到 α -酮酰胺。并且通过 ^1H NMR、 ^{13}C NMR 结构验证了该方法的可行性。该方法具有原料易得, 不用有机溶剂、低温, 即在温和的条件下即可得到 α -酮酰胺且产率较高。

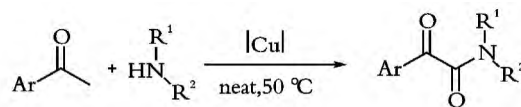


图 1 芳基甲基酮和胺合成 α -酮酰胺的反应式

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

电子天平(Ohaus Instrument); 集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义予华仪器责任有限公司); 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); 三用紫外线分析仪(金坛市盛蓝仪器制造有限公司); Bruker Avance 400 MHz 型核磁共振仪(TMS 为内标, 溶剂为 CDCl_3); 柱层析硅胶为青岛海洋化工厂产品(200 ~ 300 目)。所用溶剂和试剂是分析纯或者化学纯, 必要时需经过干燥或蒸馏处理。

1.2 实验方法

把 1.0 mmol 苯乙酮、5.0 mmol 吗啡啉、摩尔分数为 20% 的碘化亚铜和过氧化叔丁醇(3 equiv) 加

收稿日期: 2016-12-08

基金项目: 国家自然科学基金(21502036) 和海南省自然科学基金团队研究(2016CXTD006) 资助项目。

通信作者: 王 博(1983-) 男, 山东菏泽人, 教授, 博士, 主要从事有机合成、生物催化方面的研究。E-mail: wboorganic@163.com

林 常(1982-) 男, 广东湛江人, 讲师, 博士, 主要从事绿色材料合成研究。E-mail: cl.changlin@yahoo.com

入到一个带有聚四氟乙烯管帽的密封管里,放到集热式恒温加热磁力搅拌器中加热到 50 °C 后反应 20 h. 反应结束后冷却至室温,加水稀释,然后通过乙酸乙酯萃取 3 遍(20 mL \times 3). 有机层用饱和食盐水洗涤后用无水硫酸镁干燥. 之后通过旋转蒸发仪把有机溶剂抽走得到残余物. 残余物通过硅胶柱色谱分离纯化 [v (正己烷): v (乙酸乙酯) = 5: 1] 得到最终的产物.

1.3 产物表征

1-吗啉-2-苯基-1,2-二酮(**3aa**)^[4]: 黄色油状, 收率 94%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.92(d , J = 7.2 Hz, 2H), 7.62(t , J = 7.6 Hz, 1H), 7.49(t , J = 8 Hz, 1H), 3.75(Br , s , 4H), 3.61(t , J = 5.2 Hz, 2H), 3.34(t , J = 5.2 Hz, 2H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 191.19, 165.46, 134.95, 133.03, 129.62, 129.11, 66.67, 66.59, 46.23, 41.59.

1-吗啉-2-(4-硝基苯基)-1,2-二酮(**3ba**)^[13]: 黄色固体, 收率 90%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 8.37(d , J = 8.8 Hz, 2H), 8.185 ~ 8.163(m , 2H), 3.83(Br , s , 4H), 3.72 ~ 3.70(m , 2H), 3.44(t , J = 4.8 Hz, 2H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 188.70, 164.04, 151.19, 137.49, 130.83, 124.16, 66.73, 66.61, 46.35, 41.95.

1-吗啉-2-(4-溴苯基)-1,2-二酮(**3ca**)^[12]: 黄色固体, 收率 86%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.83(d , J = 8.8 Hz, 2H), 7.66(d , J = 8.4 Hz, 2H), 3.78(Br , s , 4H), 3.65(t , J = 5.2 Hz, 2H), 3.38(t , J = 4.8 Hz, 2H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 189.91, 164.86, 132.50, 131.90, 131.06, 130.45, 66.72, 66.62, 46.28, 47.72.

1-哌啶-2-苯基-1,2-二酮(**3ac**)^[11]: 黄色油状, 收率 81%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.95(d , J = 8.4 Hz, 2H), 7.66 ~ 7.62(m , 1H), 7.52(t , J = 7.6 Hz, 2H), 3.71(Br , s , 2H), 3.29(t , J = 5.6 Hz, 2H), 1.70(t , J = 2.8 Hz, 4H), 1.55(d , J = 5.2 Hz, 2H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 191.97, 165.47, 134.66, 133.29, 129.55, 129.01, 47.03, 42.15, 26.19, 25.45, 24.36.

N,N-二乙基-2-氧-2-苯基-乙酰胺(**3ad**)^[4]: 黄色油状, 收率 58%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.97(d , J = 7.6 Hz, 2H), 7.67(t , J = 7.6 Hz, 1H), 7.54(t , J = 7.2 Hz, 2H), 3.60(q , J = 7.2 Hz, 2H), 3.28(q , J = 7.2 Hz, 2H), 1.32(t , J = 7.2 Hz, 3H), 1.19(t , J = 7.2 Hz, 3H); ¹³C NMR(100 MHz,

CDCl₃) δ : 191.61, 166.76, 134.58, 133.28, 129.63, 128.97, 42.13, 38.82, 14.12, 12.86.

2-(4-氟苯基)-2-氧-乙酰胺(**3ae**)^[19]: 黄色固体, 产率 32%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 8.32 ~ 8.29(m , 2H), 7.48 ~ 7.45(m , 2H), 7.0(br , s , 1H), 5.89(br , s , 1H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 185.8, 163.3, 141.3, 132.6, 131.3, 128.9.

1-苯胺-2-苯基-1,2-二酮(**3af**)^[5]: 黄色油状, 产率 48%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 8.95(s , 1H), 8.46 ~ 8.38(t , J = 11.5 Hz, 2H), 7.76 ~ 7.62(m , 1H), 7.51(t , J = 7.8 Hz, 2H), 7.40(t , J = 7.9 Hz, 2H), 7.20(t , J = 7.4 Hz, 1H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 187.5, 158.9, 136.7, 134.7, 133.1, 131.5, 129.2, 128.6, 125.3, 119.9.

N-甲基-2-氧-2-苯基-甲酰胺(**3ag**)^[4]: 黄色油状, 产率 44%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 8.36 ~ 8.35(m , 2H), 7.65 ~ 7.61(m , 1H), 7.51 ~ 7.47(m , 2H), 7.11(s , 1H), 2.98(d , J = 4.8 Hz, 3H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 187.65, 162.42, 134.34, 133.36, 131.20, 128.46, 25.98.

1-哌啶-2-(4-甲基)-1,2-二酮(**3ee**)^[5]: 黄色油状, 收率 72%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.82(d , J = 7.6 Hz, 2H), 7.29(d , J = 7.6 Hz, 2H), 3.68(Br , s , 2H), 3.026(t , J = 5.2 Hz, 2H), 2.41(s , 3H), 1.67(s , 4H), 1.53(d , J = 5.2 Hz, 3H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 191.73, 165.66, 145.91, 129.73, 129.65, 47.01, 42.07, 26.18, 25.44, 24.36, 21.87.

1-吗啉-2-(4-溴苯基)-1,2-二酮(**3fa**)^[13]: 黄色固体, 收率 86%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.84(d , J = 7.2 Hz, 1H), 7.67(d , J = 7.2 Hz, 1H), 7.51 ~ 7.43(m , 2H), 3.84 ~ 3.80(m , 4H), 3.76(d , J = 4.0 Hz, 2H), 3.60(t , J = 4.4 Hz, 2H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 190.44, 164.86, 135.50, 134.30, 134.06, 132.70, 127.89, 121.50, 66.32, 66.26, 46.32, 42.07.

1-吡咯-2-溴苯基-1,2-二酮(**3gb**)^[11]: 黄色油状, 收率 75%. ¹H NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 7.85(d , J = 8.4 Hz, 2H), 7.62(t , J = 8.4 Hz, 2H), 3.62(t , J = 6.4 Hz, 2H), 7.62(t , J = 6.4 Hz, 2H), 1.93(m , 4H); ¹³C NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 190.29, 164.21, 132.28, 131.79, 131.33, 130.04, 46.75, 45.38, 25.92, 23.97.

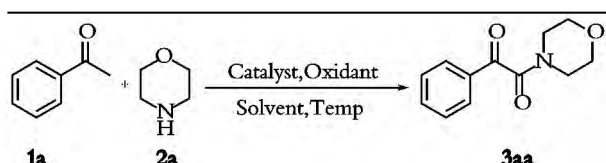
2 结果与讨论

为了得到最优的反应条件, 用苯乙酮(**1a**) 和吗

啡啉(**2a**)作为反应基底去筛选不同的反应条件,如催化剂、氧化剂、溶剂、反应温度以及催化剂和氧化剂的用量进行了筛选,结果如表1所示。

表1结果表明:反应在碘化亚铜作为催化剂,过氧化叔丁醇为氧化剂在乙腈为溶剂50℃下得到目标产物的产率为73%(Entry 1, Table 1)。检测了一系列的催化剂以后,碘化亚铜被证明是最优的催化剂(Entries 1-5, Table 1)。有机溶剂在有机合成中对产物产率的影响很大,为了找到最适合的有机溶剂,对大量的有机溶剂进行了筛选,如四氢呋喃(THF)、二氧恶烷(dioxane)、甲醇(MeOH)、甲苯(toluene)等(Entries 6-9, Table 1)。结果表明当甲苯作为溶剂时产物产率最高达到78%。为了满足绿色化学的一些条件,同时也把反应在没有溶剂的条件下进行测试,令人惊讶的是得到产物的产率提高到了惊人的94%(Entry 10, Table 1)。接下来,对氧化剂进行了筛选,如过氧化二叔丁基(DTBP)、双氧水(H_2O_2)、2,3-二氯-5,6-二氰基-1,4-苯醌(DDQ)、2,2,6,6-四甲基哌啶-氮-氧化物(TEMPO)(Entries 11-14, Table 1)。结果显示没有检测到产物。温度也是制约有机合成的一个重要因素,温度过低会抑制反应进行,同时延长反应的时间。然而温度过高也不利于反应的进行,降低了反应的速率。因此从表1中可以看出当温度在50℃时产物的收率达到最大(Entry 10, Entry 15和Entry 16)。从表1中,可以知摩尔分数为20%的催化剂用量最优(Entry 10, Entry 17和Entry 18, Table 1)。最后对氧化剂用量进行了筛选发现当氧化剂的用量为3 mmol时得到产物的分离产率最大(Entry 10, Entries 15-21, Table 1)。综上得到了最佳的反应条件为:苯乙酮1 mmol、吗啡啉5 mmol、碘化亚铜0.2 mmol和过氧化叔丁醇3 mmol,在无溶剂50℃下反应得到的产物(**3aa**)产率最高94%(Entry 10)。

表1 合成 α -酮酰胺反应条件的优化

					
Entry	catalyst	Oxidant	Solvent	$T/^\circ\text{C}$	Yield/% ^d
1	CuI	TBHP ^b	MeCN	50	73
2	CuCl ₂	TBHP	MeCN	50	n. d.
3	Cu ₂ O	TBHP	MeCN	50	n. d.
4	CuBr	TBHP	MeCN	50	42
5	CuBr ₂	TBHP	MeCN	50	15
6	CuI	TBHP	THF	50	12

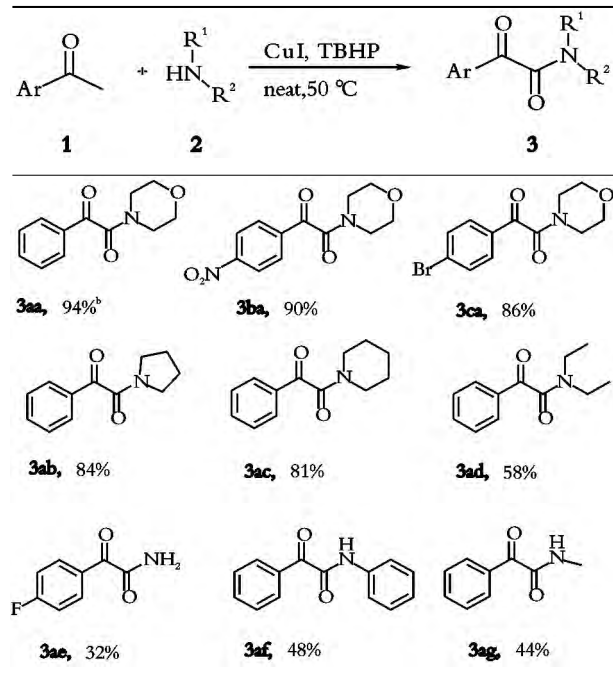
续表1

Entry	catalyst	Oxidant	Solvent	$T/^\circ\text{C}$	Yield/% ^d
7	CuI	TBHP	dioxane	50	8
8	CuI	TBHP	MeOH	50	12
9	CuI	TBHP	toluene	50	78
10	CuI	TBHP	neat	50	94
11	CuI	DTBP	neat	50	n. d.
12	CuI	H_2O_2 ^c	neat	50	n. d.
13	CuI	DDQ	neat	50	n. d.
14	CuI	TEMPO	neat	50	n. d.
15	CuI	TBHP	neat	30	80
16	CuI	TBHP	neat	70	88
17	CuI	TBHP	neat	50	82 ^e
18	CuI	TBHP	neat	50	92 ^f
19	CuI	TBHP	neat	50	62 ^g
20	CuI	TBHP	neat	50	80 ^h
21	CuI	TBHP	neat	50	90 ⁱ

条件: **1a** (1.0 mmol) **2a** (5.0 mmol), 催化剂(摩尔分数为20%), 氧化剂(3个当量)在空气中反应20 h; n. d.: 没有检测到; 除非有特殊标注, 不然所有反应的氧化剂用量为3个当量; b. TBHP: 过氧化叔丁醇, 70% 溶于水里; c. 双氧水, 30% 溶于水里; d. 分离产率; e. 碘化亚铜(摩尔分数为10%); f. 碘化亚铜(摩尔分数为30%); g. 反应在1当量的过氧化叔丁醇下得到的产率; h. 反应在2当量的过氧化叔丁醇下得到的产率; i. 反应在4当量的过氧化叔丁醇下得到的产率。

得到最佳的反应条件后,同时对反应底物范围也进行了探索(见表2)。分别对不同取代基的芳基甲基酮以及不同类型的胺进行探索。实验表明,芳环的取代基对收率有一定的影响:当底物芳环上含有吸电子基时,产品的收率略高于含有供电子基的底物,同时也对胺进行了不同的筛选,以环状仲胺为反应物时,其收率略高于非环状的仲胺,而用伯胺时,反应收率很低。

在研究的过程中发现,当苯乙酮和吗啡啉在碘化亚铜作为催化剂以及过氧化叔丁醇为氧化剂,在50℃下反应过程中加入1 mmol 2,2,6,6-四甲基哌啶-氮-氧化物后反应20 h。通过薄层色谱法发现没有产物生成,该结果表明反应的过程中有自由基生成。查阅相关报道的文献提出可能的反应机理如图2所示^[16-18]。苯乙酮**1**和吗啡啉**2**在碘化亚铜和过氧化叔丁醇的作用下形成烯胺**4**,进而形成中间体**5**,通过氧氧键消去得到芳基二醛**6**,在吗啡啉下进一步形成中间体**1**,最后在过氧化叔丁醇的作用下形成 α -酮基酰胺**3**。后续的进一步研究以及该反应在合成中的应用研究正在进行中。

表 2 铜催化氧化合成 α -酮酰胺化合物

条件: **1a** (1.0 mmol) **2a** (5.0 mmol), CuI (摩尔分数为 20%) 和过氧化叔丁醇的量为 3 个当量, 在 50 °C 条件下反应 20 h.

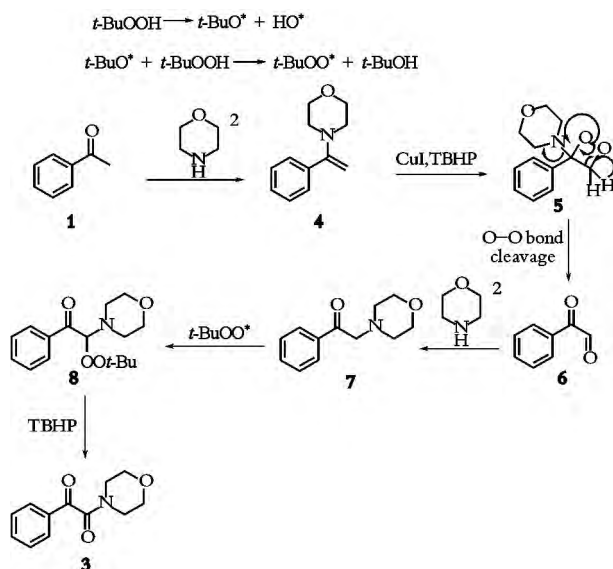


图 2 可能的反应机理

3 结论

本文报道了一种有效的通过一锅法程序合成 α -酮基酰胺类化合物的简便方法. 该方法通过碘化亚铜作为催化剂、过氧化叔丁醇作为氧化剂、无溶剂的一锅法反应来实现. 和已经报道的合成 α -酮基酰胺类化合物方法相比该法具有很好的原子经济性、反应条件温和产率高等优点, 解决了以往 α -酮基酰胺

合成条件苛刻、原料不易得、产率低等问题.

4 参考文献

- [1] Fusetani N, Matsunaga S, Matsumoto H, et al. Bioactive marine metabolites. 33. cyclotheonamides, potent thrombin inhibitors from a marine sponge theonella sp [J]. Journal of the American Chemical Society, 1990, 112(19): 7053-7054.
- [2] Sheha M, Mahfouz N, Hassan H, et al. Synthesis of di- and tripeptide analogues containing α -ketoamide as a new core structure for inhibition of HIV-1 protease [J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2000, 35(10): 887-894.
- [3] Maryanoff B, Greco M, Zhang H, et al. Macrocyclic peptide inhibitors of serine proteases. Convergent total synthesis of cyclotheonamides A and B via a late-stage primary amine intermediate. Study of thrombin inhibition under diverse conditions [J]. Journal of the American Chemical Society, 1995, 117(4): 1225-1229.
- [4] Li Dengke, Wang Min, Liu Jie, et al. Cu(II)-catalyzed decarboxylative acylation of acyl C-H of formamides with α -oxocarboxylic acids leading to α -ketoamides [J]. Chemical Communications, 2013(49): 3640-3642.
- [5] Mupparapu N, Vishwakama R, Ahmed Q. Iodine-DMSO promoted C-H (SP3) functionalization approach to α -ketoamides [J]. Tetrahedron, 2015, 71(21): 3417-3421.
- [6] Papanikos A, Rademann J, Meldal M. α -Ketocarbonyl peptides: A general approach to reactive resin-bound. Intermediates in the synthesis of peptide isosteres for protease inhibitor screening on solid support [J]. Journal of the American Chemical Society, 2001, 123(10): 2176-2181.
- [7] Semple J, Edward, Owens T, Nguyen K, et al. New synthetic technology for efficient construction of α -hydroxy- β -amino amides via the passerini reaction [J]. Organic Letters, 2000, 2(18): 2769-2772.
- [8] Buckley T, Rapoport H. Mild and simple biomimetic conversion of amines to carbonyl compounds [J]. Journal of the American Chemical Society, 1982, 104(16): 4446-4450.
- [9] Ozawa F, Soyama H, Yanagihara H, et al. Palladium-catalyzed double carbonylation of aryl halides to give α -keto amides. Mechanistic studies [J]. Journal of the American Chemical Society, 1985, 107(11): 3235-3245.
- [10] Wang Hua, Guo Lina, Duan Xinhua. Copper-catalyzed oxidative condensation of α -oxocarboxylic acids with formamides: synthesis of α -ketoamides [J]. Organic & Biomolecular Chemistry, 2013, 11(28): 4573-4576.
- [11] Mupparapu N, Khan S, Battula S, et al. Metal-free oxida-

- tive amidation of 2-oxoaldehydes: A facile access to α -ketoamides [J]. Organic Letters 2014 ,16(4) :1152-1155.
- [12] Kotha S ,Sekar G. Metal free synthesis of α -keto amides from 2-hydroxy acetophenones through domino alcohol oxidation-oxidative amidation reaction [J]. Tetrahedron Letters 2015 ,56(46) :6323-6326.
- [13] Du Bingnan ,Jin Bo ,Sun Peipei. The syntheses of α -ketoamides via Bu_4NI -catalyzed multiple $\text{sp}^3\text{C-H}$ bond oxidation of ethylarenes and sequential coupling with dialkylformamides [J]. Organic & Biomolecular Chemistry , 2014 ,12(26) :4586-4589.
- [14] Dutta S ,Kotha S ,Sekar G. Metal free one-pot synthesis of α -ketoamides from terminal alkenes [J]. RSC Advances , 2015 ,5(58) :47265-47269.
- [15] Kumar M ,Devari S ,Kumar A ,et al. Copper(II) -triflate-catalyzed oxidative amidation of terminal alkynes: a general approach to α -ketoamides [J]. Asian Journal of Organic Chemistry 2015 ,4(5) :438-441.
- [16] Meena S ,Singh R ,Vishwakarma R A ,et al. seO_2 mediated efficient synthesis of amides and α -ketoamides of secondary amines with wide substrate scope [J]. Tetrahedron Letters , 2016 ,57(33) :3715-3717.
- [17] Guo shiyu ,Fang zheng ,Yang zhao ,et al. I_2 -promoted aerobic oxidative coupling of acetophenones with amines under metal-free conditions: facile access to α -ketoamides [J]. RSC Advances 2016 ,6(2) :1503-1507.
- [18] Sharma R k ,Sharma S ,Gaba G. et al. Coordinated copper(II) supported on silica nanospheres applied to the synthesis of α -ketoamides via oxidative amidation of methyl ketones [J]. Journal of Materials Science ,2016 ,51(4) :2121-2133.
- [19] Du F ,Ji J. Copper-catalyzed direct oxidative synthesis of α -ketoamides from aryl methyl ketones ,amines and molecular oxygen [J]. Chemical Science 2012 ,3(2) :460-465.
- [20] Zhang X ,Wang L. TBHP/ I_2 -promoted oxidative coupling of acetophenones with amines at room temperature under metal-free and solvent-free conditions for the synthesis of α -ketoamides [J]. Green Chemistry 2012 ,14(8) :2141-2145.
- [21] Zhao Q ,Miao T ,Zhang X ,et al. Direct use of formamides as amino group sources via C-N bond cleavage: a catalytic oxidative synthesis of α -ketoamides from acetophenones and formamides under metal-free conditions [J]. Organic & Biomolecular Chemistry 2013 ,11(11) :1867-1873.
- [22] Kumar Y ,Shaw M ,Thakur R ,et al. Copper(II) -mediated aerobic oxidation of benzylimides: synthesis of primary α -ketoamides [J]. Journal of Organic Chemistry 2016 ,81(15) :6617-6625.

One Pot Synthesis of α -Ketoamides

LIU Fuyan ,LIN Chang* ,WANG Bo*

(College of Materials and Chemical Engineering ,Hainan University ,Haikou Hainan 570228 ,China)

Abstract: A one-pot synthetic protocol of α -ketoamides from aryl methyl ketones using copper(I) iodide as catalyst and tert-butyl hydroperoxide as oxidant is reported in this paper. The method has the advantages of mild reaction condition ,high yield and good atom economy. Most of the aryl methyl ketones and amines can be successfully converted to their corresponding α -ketoamides with 3 equivalents of oxidant tert-butyl hydroperoxide. The crude product was purified by column chromatography and the product was characterized by ^1H NMR , ^{13}C NMR.

Key words: α -ketoamides; aryl methyl ketones; copper(I) iodide; tert-butyl hydroperoxide

(责任编辑: 刘显亮)