铜(I)催化条件下酮肟衍生物与苄烯丙二腈的环化反应构建 2-氨基吡啶

蔡忠建 陆新谋 汪顺义* 纪顺俊*

(苏州大学 材料与化学化工学部 苏州 215123)

摘要 研究了铜催化条件下, 酮肟的衍生物与苄烯丙二腈的环化反应, 考察不同的催化剂、溶剂、添加剂等对反应的影响, 成功的构建了一系列的 2-氨基吡啶骨架化合物. 并对苯乙酮肟以及苄烯丙二腈芳环上不同位置具有不同性质取代基的底物进行了拓展, 以 31%~81% 的收率分离得到相应的目标产物, 反应具有较好的底物普适性.

关键词 铜(I); 苯乙酮肟的衍生物; 苄烯丙二腈; 环化反应; 2-氨基吡啶

Copper-Catalyzed Cyclization of Oxime Acetates with 2-Benzylidenemalononitriles for Synthesis of 2-Aminonicotinonitriles

Cai, Zhongjian Lu, Xinmou Wang, Shunyi* Ji, Shunjun*

(Key Laboratory of Organic Synthesis of Jiangsu Province, College of Chemistry, Chemical Engineering and Materials Science, Soochow University, Suzhou 215123)

Abstract The 2-aminopyridine is the core structure of many potential drug candidates for the treatment of a variety of disorders. It is widely used as building block for the synthesis of series nitrogen-containing heterocycles. However, the traditional synthesis of 2-aminopyridines relies on amination of 2-unsubstituted pyridines with sodium amide which is limited to low yield and narrow scope for the using of strongly basic conditions. Oximes and their derivatives are a class of powerful building blocks in organic synthesis. Recently, a series of reports are focus on copper-catalyzed cyclization of oxime esters, and various methods are developed for the construction of five- or six-membered heterocycles. Based on our sustained efforts to copper-catalyzed cyclization for access to heterocycles, we herein report a novel process of copper-catalyzed cyclization of oxime esters with 2-benzylidenemalononitrile for the construction of 2-aminopyridines. Various 2-aminopyridines were obtained in middle to good yields under the optimized reaction conditions. In this case, the N—O bond cleavage would occur for oxime esters reduced by copper(I) catalyst, followed by the formation of nucleophilic copper(II) enamide which serve as a precursor in heterocycle synthesis. A representative procedure for the copper-catalyzed construction of 2-aminopyridines by cyclization of oxime esters with 2-benzylidenemalononitrile is as following: The substrate acetophenone O-acetyl oxime (**1a**, 0.5 mmol, 0.0885 g), 2-benzylidenemalononitrile (**2a**, 0.5 mmol, 0.0770 g), CuCl (0.1 mmol, 0.0989 g, 20 mol%), and NaHSO₃ (1.0 mmol, 0.1041 g) were added to a 10 mL Schlenk tube, followed by addition of DMF (dried by calcium hydride and freshly distilled, 3 mL). The mixture was stirred at 60 °C as monitored by TLC. The solution was then quenched by H₂O and extracted with EtOAc (20 mL × 3), the combined organic layers were dried over Na₂SO₄, filtered, and evaporated under vacuum. The residue was purified by column chromatography on silica gel (eluent: light petroleum ether : ethyl acetate, *V* : *V* = 5 : 1) to afford the desired product 4,6-diphenylpyridin-2-amine **3a**.

Keywords copper; oxime esters; 2-benzylidenemalononitrile; cyclization; 2-aminopyridine

1 引言

肟的衍生物是一类很有用的合成砌块, 在有机合成中占有重要的地位^[1]. 通过该类化合物的贝克曼重排反应可以很方便的构建一系列的酰胺产物^[2], 也可利用该类化合物的脱氢反应来制备腈类化合物^[3]. 最近, 铜催化的肟的衍生物的环化反应引起了许多有机化学工作者的关注, 一些通过铜催化的肟的衍生物的环化反应来构建不同的五元或者六元杂环的方法见诸报道^[4]. 例如

西北大学关正辉老师课题组曾报道了一种新型的通过铜催化条件下肟的衍生物与醛的偶联反应构建多取代吡啶的方法(Figure 1, Eq. 1)^[5a]. 最近, 该课题组又发现, 在铜催化条件下, 苯乙酮肟的衍生物可以发生自偶联反应, 从而合成一系列对称的吡咯衍生物(Figure 1, Eq. 2)^[5b]. 与此同时, 华南理工大学的江焕峰老师课题组报道了一种铜催化条件下, 苯乙酮肟的衍生物与炔酯的[3+2]环化反应, 并成功构建了一系列的多取代吡咯产物(Figure 1, Eq. 3)^[6a]. 紧接着, 他们又发展了一种铜催化

* E-mail: shunyi@suda.edu.cn; shunjun@suda.edu.cn

Received April 9, 2014; published June 5, 2014.

Supporting information for this article is available free of charge via the Internet at <http://sioc-journal.cn>.

Project supported by Natural Science Foundation of China (No. 21172162), Young National Natural Science Foundation of China (No. 21202111) and Young Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No. BK2012174).

项目受国家自然科学基金(No. 21172162)、国家青年自然科学基金(No. 21202111)及江苏省青年自然科学基金(No. BK2012174)资助.

的苯乙酮肟与吡啶的氧化脱氢反应构建吡啶并咪唑类衍生物的方法,该方法具有简单、高效、对环境友好等优点(Figure 1, Eq. 4)^[6b]. 最近,该课题组对铜催化条件下苯乙酮肟的偶联反应的研究又取得突破性的进展,他们发现在铜催化条件下,苯乙酮肟可以和二甲苯亚磺酸钠发生氧化偶联反应,生成一系列的磺酰基乙烯胺类产物,该类产物很少见诸报道,并且该类化合物可以进一步水解形成一系列的砒类衍生物(Figure 1, Eq. 5)^[6c]. 新加坡南洋理工大学的 Yoshikai 教授也对苯乙酮肟的反应进行了一系列深入的研究,他们通过铜催化条件下苯乙酮肟的衍生物与肉桂醛的[3+3]环化反应成功构建了

一系列的多取代吡啶衍生物(Figure 1, Eq. 6)^[7]. 通过对一系列的铜催化的肟的衍生物的反应进行对比研究,发现在一价铜的催化还原作用下,肟的衍生物很容易发生 N—O 键的断裂,并进一步生成一种铜的络合物,该络合物很容易转换成烯胺结构,具有一定的亲核性,进而发生一系列的加成或偶联反应.

2-氨基吡啶是很多药物分子的核心骨架,例如,抗艾滋病^[8]、抗癌症^[9]、抗炎^[10]和抗神经性退行病^[11]的备选药物当中均含有 2-氨基吡啶骨架. 而且,2-氨基吡啶还是构建很多复杂的含氮杂环化合物的起始原料,例如 1,8-萘啶^[12]、吡啶^[13]、吡啶并嘧啶^[14]及吡啶并咪唑类

Guan's work

Jiang's work

Yoshikai's work

Our work

图 1 铜催化的酮肟的反应

Figure 1 Copper-catalyzed cyclization of oxime esters

化合物^[15]的合成都可以以 2-氨基吡啶为起始原料. 经典的制备 2-氨基吡啶的方法是通过氨基钠对吡啶的氨化反应(Chichibabin 反应)来制备, 但是该方法由于要用到强碱, 所以导致底物的普适性和收率都不是很好^[16]. 我们课题组也一直致力于铜催化的环化反应构建含氮杂环化合物的研究, 并取得一定的进展^[17], 作为工作的延续, 我们也尝试着设计一些新型的铜催化的苯乙酮的衍生物的反应. 首先, 我们利用醛与丙二腈的缩合产物苄烯丙二腈与乙酰基苯乙酮肟, 在溴化亚铜的催化作用下进行反应. 令我们惊喜的是, 我们成功分离到了我们预想的多取代 2-氨基吡啶产物(Figure 1, Eq. 7). 在我们将这部分工作准备投稿时, 浙江大学崔孙良教授在 *Org. Lett.* 杂志上报道了铜催化新戊基肟的多组分反应构建 2-氨基吡啶类化合物的方法^[18].

2 结果与讨论

2.1 反应条件的优化

我们首先尝试了利用 1 equiv. 乙酰基苯乙酮肟(**1a**)和 1 equiv. 苄烯丙二腈(**2a**)以 20 mol% CuBr 为催化剂, 2 equiv. 亚硫酸氢钠为添加剂, 3 mL DMF 为溶剂条件下, 40 °C 搅拌 8 h. 令我们惊喜的是, 我们可以以 26% 的液相收率获得目标产物 2-氨基-4,6-二苯基吡啶 **3a**. 为了进一步提高反应收率, 我们对不同的催化剂、溶剂、反应温度以及添加剂做了进一步的筛选(详细内容见 Supporting Information). 部分条件筛选结果列于表 1 当中, 当我们将反应温度升高到 60 °C, 反应的收率可以提高到 52% (Table 1, Entry 2). 然而, 当我们继续升高反应的温度时, 反应的收率并没有明显的提高(Table 1, Entry 3). 接下来, 我们又对一系列的铜盐做了筛选(Table 1, Entries 4~10), 发现氯化亚铜的催化效果最好, 可以 74% 液相收率获得目标产物. CuBr₂ 和 CuCl₂ 对反应基本没有催化效果(Table 1, Entries 8, 9), 但是 Cu(OAc)₂ 却能促进该反应的进行(Table 1, Entry 10). 我们也尝试了一些其他的过渡金属催化剂, 如 Fe(III), Co(II) 和 Ag(I), 但是它们对该反应没有催化效果(Table 1, Entries 11~13). 当我们将反应置于纯的氩气或者氧气氛围当中时, 反应的收率都没有得到提升(Table 1, Entries 14, 15). 但当我们用没有干燥过的 DMF 做溶剂时, 反应效果很差(Table 1, Entry 16). 因此, 我们得出最优的反应条件是: **1a** (0.5 mmol), **2a** (0.5 mmol), CuCl (0.1 mmol), NaHSO₃ (1.0 mmol), 无水 DMF (3 mL), 60 °C 反应 8 h.

2.2 底物普适性的考察

为了考证该反应对反应底物的普适性, 我们以一系列不同的酮肟和苄烯丙二腈进行了反应. 正如 Table 2 中所列出的数据, 该反应可以中等到中等偏上的收率来合成一系列的 2-氨基吡啶类化合物. 无论苄烯丙二腈的芳环上有给电子基团, 卤素, 甚至是羟基取代, 该反应

表 1 反应条件的优化

Table 1 Optimization of the reaction conditions

Entry	Cat./mol%	Temp./°C	Solvent/mL	Additive/equiv.	Yield ^d / (LC-MS)
1	CuBr (20)	40	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	26
2	CuBr (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	52
3	CuBr (20)	80	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	37
4	CuI (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	37
5	CuCl (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	74(68) ^b
6	Cu ₂ O (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	72
7	Cu (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	67
8	CuBr ₂ (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	Trace
9	CuCl ₂ (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	Trace
10	Cu(OAc) ₂ (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	67
11	FeCl ₃ (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	NR
12	CoCl ₂ ·6H ₂ O (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	NR
13	AgNO ₃ (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	NR
14	CuCl (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	51 ^c
15	CuCl (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	35 ^d
16	CuCl (20)	60	DMF (3)	NaHSO ₃ (2)	27 ^e

^a Reaction conditions: **1a** (0.5 mmol), **2a** (0.5 mmol), cat. (0.1 mmol), NaHSO₃ (1.0 mmol), DMF (dried by calcium hydride and freshly distilled, 3 mL); the yields were determined by LC analysis using biphenyl as the internal standard; ^b isolated yield; ^c in the atmosphere of Ar; ^d in the atmosphere of O₂; ^e DMF was used without purification.

都可以顺利的发生, 并以较好的收率获得目标产物 (**3d**~**3g**). α -萘醛和 β -萘醛合成的苄烯丙二腈也可以分别以 64% 和 68% 的分离收率得到相应的目标产物 (**3h**, **3i**). 紧接着, 我们对一些多取代的苄烯丙二腈进行了考察, 如 2,4-二氯苯甲醛、胡椒醛、2,3,4-三甲氧基苯甲醛做成的苄烯丙二腈, 均可以中等到中等偏上的收率获得目标产物 (**3j**~**3l**, 51%~64%). 而且, 杂芳醛(2-噻吩醛)做成的苄烯丙二腈也能进行该反应 (**3m**, 58%). 接着, 我们又考察了不同取代的苯乙酮肟对反应的影响, 首先, 我们考察了具有拉电子效应的取代基对反应的影响, 氟、氯、溴, 甚至三氟甲基取代的苯乙酮肟都能顺利的发生环化反应, 并以 38%~64% 的分离收率获得目标产物 (**3n**~**3p**). 具有给电子效应的甲氧基和甲基苯乙酮肟

表 2 底物的普适性考察

Table 2 Substrate scope of reaction

Reaction conditions: **1** (0.5 mmol), **2** (0.5 mmol), CuCl (0.1 mmol), NaHSO₃ (1.0 mmol), DMF (dried by calcium hydride and freshly distilled, 3 mL), 60 °C, 8 h.

可以分别以 61%和 66%的分离收率得到目标产物 **3q** 和 **3r**. 而且, 当甲基处于邻位或者间位时, 该反应也能顺利进行, 并与对位相当的收率得到相应的产物(**3s**, 57%,

3t, 66%). 有趣的是, 当我们将 α -取代的苯乙酮肟(如苯丙酮肟, 苄基苯基酮肟, 四氢萘酮肟)投入反应时, 也可以取得较好的反应效果(**3u**~**3w**, 31%~81%).

3 可能的反应机理和结论

基于以上结果及已有的文献报道^[5-7], 我们对铜催化的苯乙酮肟的环化反应提出了一个可能的反应机理 (Figure 2). 首先, 在铜(I)催化作用下, 苯乙酮肟发生 N—O 键断裂形成一个亚胺自由基 **A**^[19], **A** 快速与铜络合形成亚胺铜的络合物 **B**, 接着 **B** 转换成具有亲核活性的烯胺铜的络合物 **C**, **C** 与苕烯丙二腈发生亲核加成反应生成相应的中间体 **D**, 紧接着发生分子内的亲核加成环化得到中间体 **E**, **E** 被进一步氧化成中间体 **F**, 然后再异构化生成相应的目标产物 **3a**. 同时, 还原剂 NaHSO_3 将二价铜还原成一价铜, 使催化剂得以循环^[19d].

总结, 我们发展了一种新的通过铜催化条件下苯乙酮肟的衍生物与苕烯丙二腈的环化反应来构建 2-氨基吡啶类衍生物的方法. 在该反应过程中, 亚硫酸氢钠做为添加剂, 对反应有很好的促进作用. 整个反应是通过

铜盐的氧化还原实现的, 具有较好的底物普适性和较高的收率. 同时也为合成一系列具有 2-氨基吡啶骨架的生物活性分子提供了一种可供选择的方法. 我们对于通过铜催化的苯乙酮肟的衍生物的环化反应来构建其他有用的含氮杂环化合物的方法也在进一步深入的研究.

4 实验部分

通过铜催化条件下苯乙酮肟的衍生物与苕烯丙二腈的环化反应来构建 2-氨基吡啶类衍生物的实验方法: 干燥的反应试管中加入乙酰基苯乙酮肟 (0.5 mmol), 苕烯丙二腈 (0.5 mmol), 氯化亚铜 (0.1 mmol), 亚硫酸氢钠 (1.0 mmol) 和干燥的 DMF (3 mL), 搅拌 8 h 后, 加水淬灭反应, 然后用乙酸乙酯洗涤萃取 (20 mL $\times$ 3), 合并滤液, 减压浓缩后所得粗产物进行柱层析 (石油醚: 乙酸乙酯, $V:V=5:1$) 分离纯化, 得到多取代的 2-氨基吡啶化合物.

图 2 一种可能的反应机理

Figure 2 A plausible mechanism

References

- [1] (a) Narasaka, K.; Kitamura, M. *Eur. J. Org. Chem.* **2005**, 4505; (b) Himo, F.; Lovell, T.; Hilgraf, R.; Rostovtsev, V. V.; Noodleman, L.; Sharpless, K. B.; Fokin, V. V. *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, 127, 210; (c) Alonso, D. A.; Nájera, C. *Chem. Soc. Rev.* **2010**, 39, 2891; (d) Sukhorukov, A. Y.; Ioffe, S. L. *Chem. Rev.* **2011**, 111, 5004; (e) Cai, H.; Li, D.; Liu, Z.; Wang, G. *Acta Chim. Sinica* **2013**, 71, 717. (蔡海婷, 李丹丹, 刘姿, 王官武, 化学学报, **2013**, 71, 717); (f) Ran, L.; Liang, H.; Guan, Z. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, 33, 66. (冉陇飞, 梁浩, 关正辉, 有机化学, **2013**, 33, 66); (g) Dai, H.; Yu, H.; Liu, J.; Qin, X.; Wang, T.; Zhang, X.; Qin, Z.; Fang, J. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, 33, 1104. (戴红, 于海波, 刘建兵, 秦雪, 王婷婷, 张欣, 秦振芳, 方建新, 有机化学, **2013**, 33, 1104); (h) Liu, Z.; Wei, W.; Gan, C.; Huang, Y.; Liu, S.; Zhou, M.; Cui, J. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, 33, 2551. (刘志平, 韦万兴, 甘春芳, 黄燕敏, 刘盛, 周敏, 崔建国, 有机化学, **2013**, 33, 2551).
- [2] (a) Ramalingam, C.; Park, Y.-T. *J. Org. Chem.* **2007**, 72, 4536; (b) Hashimoto, M.; Obora, Y.; Sakaguchi, S.; Ishii, Y. *J. Org. Chem.* **2008**, 73, 2894; (c) Ramón, R. S.; Bosson, J.; Díez-González, S.;

- Marion, N.; Nolan, S. P. *J. Org. Chem.* **2010**, *75*, 1197.
- [3] (a) Choi, E.; Lee, C.; Na, Y.; Chang, S. *Org. Lett.* **2002**, *4*, 2369; (b) De Luca, L.; Giacomelli, G.; Porcheddu, A. *J. Org. Chem.* **2002**, *67*, 6272; (c) Augustine, J. K.; Atta, R. N.; Ramappa, B. K.; Boodappa, C. *Synlett* **2009**, 3378; (d) Zhu, J.-L.; Lee, F.-Y.; Wu, J.-D.; Kuo, C.-W.; Shia, K.-S. *Synlett* **2007**, 1317.
- [4] (a) Tanaka, K.; Kitamura, M.; Narasaka, K. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2005**, *78*, 1659; (b) Liu, S.; Yu, Y.; Libebekind, L. S. *Org. Lett.* **2007**, *9*, 1947; (c) Liu, S.; Liebeskind, L. S. *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 6918; (e) Too, P. C.; Chua, S. H.; Wong, S. H.; Chiba, S. *J. Org. Chem.* **2011**, *76*, 6159.
- [5] (a) Ren, Z.-H.; Zhang, Z.-Y.; Yang, B.-Q.; Wang, Y.-Y.; Guan, Z.-H. *Org. Lett.* **2011**, *13*, 5394; (b) Ran, R.; Ren, Z.-H.; Wang, Y.-Y.; Guan, Z.-H. *Green Chem.* **2014**, *16*, 112.
- [6] (a) Tang, X.; Huang, L.; Qi, C.; Wu, W.; Jiang, H. *Chem. Commun.* **2013**, *49*, 9597; (b) Huang, H.; Ji, X.; Tang, X.; Zhang, M.; Li, X.; Jiang, H. *Org. Lett.* **2013**, *15*, 6254; (c) Tang, X.; Huang, L.; Xu, Y.; Yang, J.; Wu, W.; Jiang, H. *Angew. Chem., Int. Ed.* DOI: 10.1002/anie.201311217.
- [7] Wei, Y.; Yoshikai, N. *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 3756.
- [8] (a) Deng, J.; Sanchez, T.; Al-Mawsawi, L. Q.; Dayam, R.; Yunes, R. A.; Garofalo, A.; Bolger, M. B.; Neamati, N. *Bioorg. Med. Chem.* **2007**, *15*, 4985; (b) Fraley, A. W.; Chen, D.; Johnson, K.; McLaughlin, L. W. *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 616.
- [9] Erić, S.; Ke, S.; Barata, T.; Solmajer, T.; Stanković, J. A.; Jurančić, Z.; Savića, V.; Zloh, M. *Bioorg. Med. Chem.* **2012**, *20*, 5220.
- [10] Laufer, S. A.; Zimmermann, W.; Ruff, K. J. *J. Med. Chem.* **2004**, *47*, 6311.
- [11] Ji, H.; Delker, S. L.; Li, H.; Martásek, P.; Roman, L. J.; Poulos, T. L.; Silverman, R. B. *J. Med. Chem.* **2010**, *53*, 7804.
- [12] Zong, R.; Zhou, H.; Thummel, R. P. *J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 4334.
- [13] (a) Chen, J.; Pang, Q.; Sun, Y.; Li, X. *J. Org. Chem.* **2011**, *76*, 3523; (b) Chen, J.; Song, G.; Pan, C. L.; Li, X. *Org. Lett.* **2010**, *12*, 5426.
- [14] Bentabed-Ababsa, G.; Ely, S. C. S.; Hesse, S.; Nassar, E.; Chevalier, F.; Nguyen, T. T.; Derdour, A.; Mongin, F. *J. Org. Chem.* **2010**, *75*, 839.
- [15] (a) Hand, E. S.; Paudler, W. W. *J. Org. Chem.* **1978**, *43*, 2900; (b) Denora, N.; Laquintana, V.; Pisu, M. G.; Dore, R.; Murru, L.; Latrofa, A.; Trapani, G.; Sanna, E. *J. Med. Chem.* **2008**, *51*, 6876; (c) Yan, R.-L.; Yan, H.; Ma, C.; Ren, Z.-Y.; Gao, X.-A.; Huang, G.-S.; Liang, Y.-M. *J. Org. Chem.* **2012**, *77*, 2024; (d) Zeng, J. Y.; Tan, J.; Leow, M. L.; Liu, X.-W. *Org. Lett.* **2012**, *14*, 4386; (e) He, C.; Hao, J.; Xu, H.; Mo, Y.; Liu, H.; Han, J.; Lei, A. *Chem. Commun.* **2012**, *48*, 11073; (f) Santra, S.; Bagdi, A. K.; Majee, A.; Hajra, A. *Adv. Synth. Catal.* **2013**, *355*, 1065; (g) Bagdi, A. K.; Rahman, M.; Santra, S.; Majee, A.; Hajra, A. *Adv. Synth. Catal.* **2013**, *355*, 1741.
- [16] Chichibabin, A. E.; Zeide, O. A. *J. Russ. Phys. Chem. Soc.* **1914**, *46*, 1216.
- [17] (a) Cai, Z.-J.; Wang, S. Y.; Ji, S.-J. *Org. Lett.* **2012**, *14*, 6068; (b) Cai, Z.-J.; Wang, S. Y.; Ji, S.-J. *Adv. Synth. Catal.* **2013**, *355*, 2686.
- [18] Wu, Q.; Zhang, Y.; Cui, S. *Org. Lett.* **2014**, *16*, 1350.
- [19] (a) Trost, B. M.; Rhee, Y. H. *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 2528; (b) Nitta, M.; Iino, Y. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **1986**, *59*, 2365; (c) Deeming, A. J.; Owen, D. W.; Powell, N. I. *J. Organomet. Chem.* **1990**, *398*, 299; (d) Guan, Z.-H.; Zhang, Z.-Y.; Ren, Z.-H.; Wang, Y.-Y.; Zhang, X. *J. Org. Chem.* **2011**, *76*, 339.

(Cheng, F.)