ZSM-5 催化绿色合成烯胺酮化合物

魏振中 肖 兰 王永秋 李品华*

(淮北师范大学化学与材料科学学院 淮北 235000)

摘要 以环境友好的 ZSM-5 分子筛为催化剂, 催化 β -二羰基化合物与胺反应, 绿色合成 β -烯胺酮类化合物. 该方法环境友好、处理方法简单、收率高、催化剂可回收使用.

关键词 催化; 烯胺酮; ZSM-5 分子筛

Green Synthesis of Enaminones Catalyzed by ZSM-5

Wei, Zhenzhong Xiao, Lan Wang, Yongqiu Li, Pinhua*

(School of Chemistry and Materials Science, Huaibei Normal University, Huaibei 235000)

Abstract It was found that ZSM-5 as a green catalyst could efficiently catalyze the reaction of various primary amines with α,β -dicarboxyl compounds to afford β -enaminones in good yields at room temperature. The method provides a novel, simple and convenient route to substitute β -enaminones from primary amines and α,β -dicarboxyl compounds. The catalyst could also be recovered easily.

Keywords catalysis; β -enaminones; ZSM-5 zeolite

β -烯胺酮是合成肽^[1]、生物碱^[2~5]和吡唑^[6]等生物活性和药理活性物质的重要中间体, 该类化合物的合成一直是人们研究的焦点^[7,8]. β -烯胺酮的传统合成方法是在盐酸等质子酸催化下 1,3-二羰基化合物和胺反应, 将反应中生成的水蒸出提高产率, 但该方法存在反应温度高、产率低、污染环境和后处理麻烦等缺点. 因此, 人们对 β -烯胺酮的合成方法和高效催化剂进行了广泛深入的研究, 已报道的部分催化剂有: $\text{CuCl}^{[9]}$, $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}^{[10]}$, $\text{NaAuCl}_4^{[11]}$, $\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}^{[12]}$, $\text{AcOH}^{[13]}$, $\text{InBr}_3^{[14]}$, $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2^{[15]}$, $\text{Bi}(\text{TFA})_3^{[16]}$, $\text{Al}_2\text{O}_3^{[17]}$, $\text{NaHSO}_4 \cdot \text{SiO}_2^{[18]}$, $\text{Yb}(\text{OTf})_3^{[19]}$, $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}(\text{PW})^{[20]}$, $\text{VO}(\text{acac})_2^{[21]}$, silica chloride^[22], $\text{HClO}_4 \cdot \text{SiO}_2^{[23]}$, $\text{Fe}(\text{HSO}_4)_3 \cdot \text{SiO}_2^{[24]}$, Cu-nanoparticles^[25], Silver nanoparticles^[26]. 合成方法上报道有微波^[27]和超声波^[28,29]高频振荡技术^[30]等作为辅助手段, 这些研究都取得了较满意的结果. 但改进的催化体系均存在一些缺点, 如反应时间长, 产率低, 反应条件苛刻, 催化剂价格较昂贵, 使用挥发溶剂且不具经济性. 因此, 开发高效、廉价的催化剂, 应用于催化胺与 1,3-二羰基化合物的缩合反应, 具有重要的理论和现实意义. 本文首次将 ZSM-5 分子筛应用催化该反应得到了比较理想的结果.

ZSM-5 作为一种无毒、廉价催化剂被广泛应用于有机合成反应^[31,32], ZSM-5 分子筛被认为是目前最具工业应用前景的催化剂, 是一种具有独特的三维孔道结构、高比表面积和良好的择形性的固体酸催化剂, 同时 ZSM-5 分子筛具有良好的耐酸性、热稳定性、水蒸气稳定性. 并且 ZSM-5 分子筛价格便宜、易于回收、绿色环保, 在使用过程中安全、稳定、操作简便. 合成路线如 Eq. 1 所示.

1 结果与讨论

β -烯胺酮及其衍生物的合成方法有很多种, 但是大部分局限性比较大, 我们选用价格便宜, 易回收的 ZSM-5 分子筛作为催化剂, 取得了非常好的效果, 以对甲苯胺和乙酰丙酮反应为例探究了 ZSM-5 分子筛硅铝比和乙酰丙酮用量对反应的影响, ZSM-5 分子筛硅铝比越大酸性越强, 不同硅铝比的 ZSM-5 催化合成 β -烯胺酮的结果如表 1.

* E-mail: ppuali@126.com

Received January 8, 2014; revised March 10, 2014; published online March 26, 2014.

表 1 催化剂硅铝比对收率的影响^a

Table 1 Effect of Si/Al ratio on yield

序号	$n(\text{Si})/n(\text{Al})$	$n(\text{胺})/n(\text{乙酰丙酮})$	产率/%
1	25	1 : 1	80
2	38	1 : 1	87
3	50	1 : 1	94
4	80	1 : 1	95
5	80	1.05 : 1	95
6	80	1 : 1.05	96
7	80	1 : 1.1	97
8	80	1 : 1.15	97
9	100	1 : 1	95

^a 2 mmol 对甲苯胺, 2 mmol 乙酰丙酮, 0.2 g ZSM-5, 10 mL 无水乙醇, 室温搅拌 10 h.

由表 1 可以发现随着硅铝比的增加反应收率逐渐升高, 但是达到硅铝比 50 以后对产率的影响不大, 由此可见酸性大小对反应的影响较大, 但是当酸性增加到一定程度后即不在是反应的主要影响因素.

在此基础上选用硅铝比 80 的 ZSM-5 分子筛继续以对甲苯胺和苯甲酰丙酮考察了 ZSM-5 分子筛用量对催化反应的影响. 结果如表 2.

表 2 催化剂用量对收率的影响^a

Table 2 Effect of catalyst dosage on yield

序号	催化剂用量/equiv.	产率/%
1	0.05	92
2	0.10	94
3	0.15	98
4	0.20	97
5	0.25	96
6	0.30	91

^a 2 mmol 对甲苯胺, 2.2 mmol 乙酰丙酮, 0.15 g 硅铝比 80 ZSM-5, 10 mL 无水乙醇, 室温搅拌 10 h.

由表 2 可以看出催化剂的量增加到 0.15 g 以上后可能由于催化剂量的增加导致对产品的吸附使得产率的下降, 我们选用催化剂的用量为 0.15 g. 在优化的反应条件下, 对 0.15 g 硅铝比 80 的 ZSM-5 催化剂进行了回收套用实验见表 3, 套用 5 次未见催化剂活性明显下降, 并对回收的催化剂与催化剂原样进行对比, 见图 2. 通过对比发现, 由于在催化反应过程中的搅拌作用使得催化剂颗粒更加细小, 其粉末衍射强度有所减弱, 但是两者的粉末衍射位置几乎是完全一致的, 这说明催化剂在反应前后的结构并没有变化.

为进一步验证反应的可行性, 我们对底物进行拓展, 并对部分化合物进行放大 10 倍实验(表 4). 其中 **3d**, **3e**, **3g**, **3j**, **3k**, **3o** 为未见报道化合物. 通过 ¹H NMR 可以清楚地分辨出乙酰丙酮和苯甲酰丙酮与胺生成的产物为顺式, N—H 吸收峰受分子内氢键影响出现在低场, 而环酮 1,3-环己二酮和 5,5-二甲基-1,3-环己二酮与胺反应生成产物 N—H 吸收峰出现在高场, 可能是由于六元

环的张力分子内不能形成氢键(图 3).

表 3 催化剂回收套用情况^a

Table 3 Results of catalyst recycle applied

循环次数	0	1	2	3	4	5
产率/%	98	97.5	97.5	96.5	97	96.5

^a 2 mmol 对甲苯胺, 2.2 mmol 乙酰丙酮, 0.15 g 硅铝比 80 ZSM-5, 10 mL 无水乙醇, 室温搅拌 10 h.

图 2 ZSM-5 的 PXRD 图

Figure 2 PXRD patterns of ZSM-5

Scheme 1

2 结论

本文首次报道 ZSM-5 分子筛催化伯胺与 1,3-二羰基化合物缩合生成 β -烯胺酮. 该方法反应试剂易得、操作方法简单、后处理方便、反应条件温和、操作简单、催化剂廉价易得且能回收套用. 为 β -烯胺酮类化合物的合成寻找到了一种简捷绿色的方法.

3 实验部分

3.1 仪器与试剂

WPS-1 型数字熔点仪(温度计未校正); Bruker 核磁共振仪(TMS 为内标, 400 Hz); BRUKER D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪(扫描电压电流分别为 40 kV, 40 mA, $\lambda=0.15418$ nm, 扫描范围 $2\theta=5^\circ\sim 80^\circ$). PE-2400 型元素自动分析仪; 所用试剂均为 AR 级, ZSM-5 分子筛外购与南开大学催化剂厂(120 目).

3.2 实验方法

3.2.1 β -烯胺酮 **3** 合成步骤

在 25 mL 的反应瓶中加入对甲苯胺(2 mmol, 214 mg)、乙酰丙酮(2.2 mmol, 220 mg)、0.15 g 硅铝比 80 的 ZSM-5 分子筛, 无水乙醇 10 mL, 室温下搅拌, TLC 监测反应进程, 10 h 后原料反应完全, 停止反应, 加热反应

表4 ZSM-5 催化合成 β -烯胺酮^a
Table 4 Catalytic synthesis of β -enaminones with ZSM-5

Compd.	R ¹	R ²	R ³	Time/h	Yield/%	m.p./°C	
						Actual	Reference
3a	CH ₃	CH ₃	<i>p</i> -CH ₃ C ₆ H ₄	10	98	66~67	65~67 ^[9]
3b	CH ₃	CH ₃	<i>p</i> -ClC ₆ H ₄	12	92	60~61	58~60 ^[9]
3c	CH ₃	CH ₃	C ₆ H ₅	12	90	48~49	48~49 ^[9]
3d	CH ₃	CH ₃	<i>o</i> -HOC ₆ H ₄	7	96	193~194	
3e	CH ₃	CH ₃	CH ₃ CH ₂ CH ₂	6	94		
3f	C ₆ H ₅	CH ₃	<i>p</i> -CH ₃ C ₆ H ₄	8	97	90~91	90~92 ^[24]
3g	C ₆ H ₅	CH ₃	<i>m</i> -HOC ₆ H ₄	5	98	156~157	
3h	CH ₂ CH ₂ CH ₂		C ₆ H ₅	12	91	178~180	179~180 ^[19]
3i	CH ₂ CH ₂ CH ₂		<i>p</i> -ClC ₆ H ₄	13	92	191~192	191~192 ^[24]
3j	CH ₂ CH ₂ CH ₂		<i>o</i> -CH ₃ OC ₆ H ₄	9	96	127~128	
3k	CH ₂ CH ₂ CH ₂		<i>m</i> -HOC ₆ H ₄	8	98	180~181	
3l	CH ₂ C(CH ₃) ₂ CH ₂		<i>p</i> -CH ₃ C ₆ H ₄	11	97	198~199	199~201 ^[24]
3m	CH ₂ C(CH ₃) ₂ CH ₂		<i>p</i> -ClC ₆ H ₄	14	94	208~209	208~209 ^[24]
3n	CH ₂ C(CH ₃) ₂ CH ₂		C ₆ H ₅	13	92	184~185	184~185 ^[24]
3o	CH ₂ C(CH ₃) ₂ CH ₂		<i>m</i> -HOC ₆ H ₄	7	97	240~241	

^a 放大实验: 3a, Time: 11.5 h, Yield: 98.5%; 3f, Time: 8.5 h, Yield: 97%; 3j, Time: 9 h, Yield: 97.5%; 3l, Time: 11.5 h, Yield: 97%.

液后趁热抽滤回收催化剂, 少量热乙醇洗涤催化剂, 合并滤液, 将滤液减压浓缩后经柱层析分离[*V*(石油醚): *V*(乙酸乙酯)=5:1], 得烯胺酮化合物 3a.

4-对甲苯胺基-3-戊烯-2-酮(3a): ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 12.40 (s, 1H), 7.05~7.23 (m, 4H), 5.17 (s, 1H), 2.34 (s, 3H), 2.08 (s, 3H), 1.96 (s, 3H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 195.75, 160.50, 135.99, 129.53, 124.74, 97.08, 28.96, 20.75, 19.59.

4-对氯苯胺基-3-戊烯-2-酮(3b): ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 12.42 (s, 1H), 7.32~7.16 (m, 4H), 5.20 (s, 1H), 2.09 (s, 3H), 1.97 (s, 3H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 189.11, 159.55, 137.27, 130.85, 129.09, 125.73, 98.00, 79.89, 29.11, 19.65.

4-苯胺基-3-戊烯-2-酮(3c): ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 12.49 (s, 1H), 7.45~7.03 (m, 5H), 5.20 (s, 1H), 2.08 (s, 3H), 2.00 (s, 3H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 196.05, 160.13, 138.63, 128.98, 125.45, 124.66, 97.49, 29.08, 19.74.

4-间羟基苯胺基-3-戊烯-2-酮(3d): 淡黄色固体; ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 12.12 (s, 1H), 9.86 (s, 1H), 7.23~6.66 (m, 4H), 5.13 (s, 1H), 1.95 (s, 6H); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 194.57, 160.36, 150.75, 126.50, 119.41, 97.51, 40.13, 39.84, 29.20, 19.80. Anal. calcd for C₁₁H₁₃NO₂: C 69.09, H 6.85, N 7.32; found C 69.02, H 6.80, N 7.35.

4-正丙胺基-3-戊烯-2-酮(3e): 黄色液体; ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 10.78 (s, 1H), 5.07~4.70 (m, 1H), 3.25~2.93 (m, 2H), 2.01~1.80 (m, 6H), 1.40~1.60 (m, 2H), 1.01~0.77 (m, 3H); ¹³C NMR (101 MHz, CDCl₃) δ :

194.30, 163.02, 94.80, 23.17, 11.15. Anal. calcd for C₈H₁₅NO: C 68.04, H 10.71, N 9.92; found C 68.02, H 10.70, N 9.96.

4-对甲苯胺基-4-苯基-3-丁烯-2-酮(3f): ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 13.04 (s, 1H), 7.87~7.41 (m, 5H), 7.21~7.05 (m, 4H), 5.89 (s, 1H), 2.37 (s, 3H), 2.13 (s, 3H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 188.38, 162.45, 140.03, 129.62, 93.78, 20.81, 20.22.

4-间羟基苯胺基-4-苯基-3-丁烯-2-酮(3g): 淡黄色固体; ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 13.00 (s, 1H), 8.76 (s, 1H), 7.90~7.32 (m, 5H), 7.32~6.60 (m, 4H), 5.89 (s, 1H), 2.16 (s, 3H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 188.95, 131.03, 116.54, 111.78, 94.36, 20.31. Anal. calcd for C₁₆H₁₅NO₂: C 75.87, H 5.97, N 5.53; found C 75.82, H 5.98, N 5.52.

3-苯胺基环己-2-烯酮(3h): ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.38~7.15 (m, 5H), 6.93 (s, 1H), 5.56 (s, 1H), 2.51 (t, *J*=6.1 Hz, 2H), 2.34 (t, *J*=6.4 Hz, 2H), 2.06~1.96 (m, 2H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 198.22, 162.34, 138.05, 129.19, 125.39, 99.55, 36.39, 29.59, 21.74.

3-对氯苯胺基环己-2-烯酮(3i): ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.36~7.07 (m, 4H), 5.48 (s, 1H), 2.50 (t, *J*=6.0 Hz, 2H), 2.33 (t, *J*=6.4 Hz, 2H), 1.95~2.05 (m, 2H); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 198.28, 162.24, 136.68, 129.29, 99.72, 36.38, 29.48, 21.68.

3-邻甲氧基苯胺基环己-2-烯酮(3j): 黄色固体; ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.38~6.80 (m, 4H), 6.39 (s, 1H), 5.70 (s, 1H), 3.83 (s, 3H), 2.52 (t, *J*=6.0 Hz, 2H), 2.35 (t, *J*=6.3 Hz, 2H), 1.96~2.06 (m, 2H); ¹³C NMR

(100 MHz, CDCl_3) δ : 198.25, 160.92, 127.32, 110.91, 100.25, 55.51, 36.39, 30.01, 21.74. Anal. calcd for $\text{C}_{13}\text{H}_{15}\text{NO}_2$: C 71.87, H 6.96, N 6.45; found C 71.84, H 6.98, N 6.42.

3-间羟基苯胺基环己-2-烯酮(**3k**): 黄色晶体; ^1H NMR (400 MHz, $\text{Acetone-}d_6$) δ : 7.15 (t, $J=8.0$ Hz, 1H), 6.76 (s, 1H), 6.64 (m, 2H), 5.60 (s, 1H), 2.57 (t, $J=6.1$ Hz, 2H), 2.25 (t, $J=6.4$ Hz, 2H), 2.03~1.89 (m, 2H); ^{13}C NMR (100 MHz, $\text{Acetone-}d_6$) δ : 202.30, 167.37, 163.31, 145.32, 134.97, 118.91, 103.88, 41.36, 26.86, 4.25. Anal. calcd for $\text{C}_{12}\text{H}_{13}\text{NO}_2$: C 70.92, H 6.45, N 6.89; found C 70.94, H 6.48, N 6.84.

3-对甲苯胺基-5,5-二甲基环己-2-烯酮(**3l**): ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.19~7.08 (m, 4H), 6.50 (s, 1H), 5.51 (s, 1H), 2.33 (s, 5H), 2.19 (s, 2H), 1.09 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 197.60, 160.70, 135.44, 129.73, 98.21, 50.25, 43.39, 32.70, 28.20, 20.79.

3-对氯苯胺基-5,5-二甲基环己-2-烯酮(**3m**): ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.37~7.04 (m, 4H), 6.44 (s, 1H), 5.52 (s, 1H), 2.34 (s, 2H), 2.22 (s, 2H), 1.11 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 198.01, 136.69, 129.35, 124.94, 98.96, 50.24, 43.43, 32.72, 28.19.

3-苯胺基-5,5-二甲基环己-2-烯酮(**3n**): ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.38~7.04 (m, 5H), 6.90 (s, 1H), 5.57 (s, 1H), 2.35 (s, 2H), 2.20 (s, 2H), 1.08 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 197.87, 138.17, 129.18, 125.34, 98.29, 50.25, 43.37, 32.70, 28.19.

3-间羟基苯胺基-5,5-二甲基环己-2-烯酮(**3o**): 黄色晶体; ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 9.54 (s, 1H), 8.69 (s, 1H), 7.27~6.77 (m, 4H), 5.37 (s, 1H), 2.35 (s, 2H), 2.04 (s, 2H), 1.00 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 195.81, 160.22, 158.30, 140.62, 130.20, 113.72, 97.41, 42.47, 32.58, 28.29. Anal. calcd for $\text{C}_{14}\text{H}_{17}\text{NO}_2$: C 72.70, H 7.41, N 6.06; found C 72.68, H 7.44, N 6.04.

References

- [1] Beholz, L. G.; Benovsky, P.; Ward, D. L.; Barta, N. S.; Stille, J. R. *J. Org. Chem.* **1997**, 62, 1033.
- [2] Michael, J. P.; Koning, C. B.; Hosken, G. D.; Stanbury, T. V. *Tetrahedron* **2001**, 57, 9635.
- [3] Bartoli, G.; Cimarelli, C.; Marcantoni, E.; Palmeiri, G.; Petrini, M. *J. Org. Chem.* **1994**, 59, 5328.
- [4] Barta, N. S.; Brode, A.; Stille, J. R. *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, 116, 6201.
- [5] Michael, J. P.; Parsons, A. S. *Tetrahedron* **1999**, 55, 10915.
- [6] Valduga, C. J.; Braibante, H. S.; Braibante, E. F. *J. Heterocycl. Chem.* **1998**, 35, 189.
- [7] Li, M.; Guo, W.-S.; Wen, L.-R. *Chin. J. Org. Chem.* **2006**, 26, 1192 (in Chinese).
(李明, 郭维斯, 文丽荣, 有机化学, **2006**, 26, 1192.)
- [8] Li, A.-J.; Feng, B.; Liu, Q.-C. *Chin. J. Org. Chem.* **2011**, 31, 106 (in Chinese).
(李爱军, 冯宝, 刘倩春, 有机化学, **2011**, 31, 106.)
- [9] Qu, Y.-P.; Wang, L.-X.; Zhou, X.-Y. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, 33, 860 (in Chinese).
(瞿益萍, 王龙翔, 周晓玉, 有机化学, **2013**, 33, 860.)
- [10] Khodaei, M. M.; Khosropour, A. R.; Kookhazadeh, M. *Synlett* **2004**, 1980.
- [11] Arcadi, A.; Bianchi, G.; Di Giuseppe, S.; Marinelli, F. *Green Chem.* **2003**, 5, 64.
- [12] Bartoli, G.; Bosco, M.; Locatelli, M.; Marcantoni, E.; Melchiorre, P.; Sambri, L. *Synlett* **2004**, 239.
- [13] Brandt, C. A.; Da Silva, A. C. M. P.; Pancote, C. G.; Brito, C. L.; Da Silveira, M. A. B. *Synthesis* **2004**, 1557.
- [14] Zhang, Z. H.; Yin, L.; Wang, Y. M. *Adv. Synth. Catal.* **2006**, 348, 184.
- [15] Stefane, B.; Polanc, S. *Synlett* **2004**, 698.
- [16] Khosropour, A. R.; Khodaei, M. M.; Kookhazadeh, M. *Tetrahedron Lett.* **2004**, 45, 1725.
- [17] Valduga, C. J.; Braibante, H. S.; Braibante, E. F. *J. Heterocycl. Chem.* **1998**, 35, 189.
- [18] Wng, H.-S.; Miao, J.-Y. *Chin. J. Org. Chem.* **2007**, 27, 266 (in Chinese).
(王宏社, 苗建英, 有机化学, **2007**, 27, 266.)
- [19] Francesco, E.; Salvatore, G.; Massimo, C. *Tetrahedron Lett.* **2007**, 48, 2717.
- [20] Ezzat, R.; Hour, M.; Sara, E.; Mohammad, J. *Appl. Catal. A: Gen.* **2009**, 352, 202.
- [21] Rajibul, A.; Naznin, A.; Mohammad, H. *Tetrahedron Lett.* **2013**, 54, 436.
- [22] Gholap, R.; Narayan, S.; Thomas, D. *J. Mol. Catal. A: Chem.* **2006**, 245, 37.
- [23] Biswanath, D.; Katta, V.; Anjoy, M.; Majjigapu, R. *J. Mol. Catal. A: Chem.* **2006**, 246, 276.
- [24] Hossein, E.; Seyed, M.; Elham, S.; Mohammad, V. *J. Mol. Catal. A: Chem.* **2012**, 363, 430.
- [25] Mazaahir, K.; Saurav, B.; Neeraj, K.; Vikas, B. *Catal. Commun.* **2009**, 10, 1514.
- [26] Kushal, D.; Pawan, J.; Kishor, P.; Bhalchandra, M. *Catal. Commun.* **2010**, 11, 1233.
- [27] Datta, B. Pasha, M. A. *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.* **2011**, 186, 171.
- [28] Andrade, C. K. Z.; Barreto, A. D. F. S.; Silva, W. A. *ARKIVOC* **2008**, 226.
- [29] Martins, M. A. P.; Rossatto, M.; Prola, L. D. T.; Pizzuti, L.; Moreira, D. N.; Campos, P. T.; Frizzo, C. P. *Ultrason. Sonochem.* **2012**, 19, 227.
- [30] Fan, W.-M.; Gao, J.-R.; Jia, J.-H. *Chin. J. Org. Chem.* **2010**, 30, 1732 (in Chinese).
(范文明, 高建荣, 贾建洪, 有机化学, **2010**, 30, 1732.)
- [31] Jiang, S.-L.; Han, L. *Chin. J. Org. Chem.* **2012**, 32, 930 (in Chinese).
(蒋绍亮, 韩亮, 有机化学, **2012**, 32, 930.)
- [32] Velladurai, R.; Kuppusamy, K.; Kasi, P. *Tetrahedron Lett.* **2012**, 53, 1018.

(Li, L.; Fan, Y.)