溴化二甲基溴化铈催化合成二呋喃基芳基甲烷类化合物

刘巨艳* 黄海静 焦德全

(天津师范大学化学学院 天津市功能分子结构与性能重点实验室 无机-有机杂化功能材料化学教育部重点实验室 天津 300387)

摘要 室温无溶剂的条件下, 以溴化二甲基溴化铈(BDMS)为催化剂, 以 2-甲基呋喃和芳香醛为原料, 能高收率地合成一系列二呋喃基芳基甲烷类化合物. 所有化合物结构通过 ^1H NMR、 ^{13}C NMR 表征确定.

关键词 溴化二甲基溴化铈(BDMS); 二呋喃基芳基甲烷; 合成

Synthesis of Difurylarylmethanes Catalyzed by Bromodimethylsulfonium Bromide

Liu, Juyan* Huang, Haijing Jiao, Dequan

(Tianjin Key Laboratory of Structure and Performance for Functional Molecules, Key Laboratory of Inorganic-Organic Hybrid Functional Materials Chemistry, Ministry of Education, College of Chemistry, Tianjin Normal University, Tianjin 300387)

Abstract A series of difurylarylmethanes were prepared in high yields by condensation of 2-methylfuran with aromatic aldehydes in the presence of bromodimethylsulfonium bromide (BDMS) at room temperature under solvent-free conditions. All products were characterized by ^1H NMR and ^{13}C NMR spectra.

Keywords bromodimethylsulfonium bromide (BDMS); difurylarylmethane; synthesis

呋喃代表了一类重要的分子结构, 这一结构广泛存在于天然产物和药物分子之中(图 1)^[1], 多取代呋喃已经被广泛用于医药化学^[2]、材料化学^[3]、农用化学品等^[4]方面. 带有不同取代基的呋喃化合物也是常用的有机合成中间体^[5], 因此, 如何有效地合成多取代呋喃一直是有机化学家关注的课题, 多年来也报道了一些有效的合成方法^[6].

近年来, 一系列 2-甲基呋喃和芳香醛之间的反应揭示了一种合成多取代呋喃的新策略^[7~13]. 到目前为止, 国内外文献报道的催化 2-甲基呋喃和芳香醛缩合的主要催化剂有 $\text{Yb}(\text{OTf})_3$ ^[7]、 AuCl_3 ^[8]、 $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ ^[9]、 $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ^[10]、 $\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$ 、 $\text{Tl}(\text{ClO}_4)_3$ 、 $p\text{-TSA}$ ^[11]、 I_2 ^[12]、 $\text{Bi}(\text{OTf})_3$ ^[13]. 尽管这些方法中有些具有很好的实用性, 但是其中有许多方法有严重的缺点, 例如, 使用昂贵的和有毒的试剂, 较长的反应时间, 对湿度的敏感, 因此, 研究一种环保、高效的催化体系来实现 2-甲基呋喃和芳

香醛之间的缩合仍然具有很重要的意义.

Aflatoxin B1

Versicolorin A

NCGC00189258-01

Dimethylfuroguaiacin

图 1 具有生物活性的呋喃衍生物

Figure 1 Furan derivatives with biological activities

* Corresponding author. E-mail: hxxylyj@mail.tjnu.edu.cn

Received December 2, 2016; revised February 20, 2017; published online March 3, 2017.

Project supported by the Natural Science Foundation of Tianjin City (No. 12JCZDJC34300).

天津市自然科学基金(No.12JCZDJC34300)资助项目.

溴化二甲基溴化铈(BDMS)^[14]是一种亮黄色粉末状固体,制备简单、成本低。它既可以作为催化剂催化多种化学反应又可以作为溴化试剂参与反应,且遇水容易分解,因此后处理比较方便,水洗就可以除去。由于其高效的催化活性和特有的化学性质^[15],已经引起大批科学家的关注。基于本课题组^[16]前期对溴化二甲基溴化铈催化合成*N*-取代吡咯类化合物、2-芳基苯并噻唑类化合物及芳胺甲酰化反应方法的研究,本工作以2-甲基呋喃和芳香醛为底物,通过溴化二甲基溴化铈催化高效、快速、温和地实现了二呋喃基芳基甲烷类衍生物的合成(Eq. 1)。

1 结果与讨论

1.1 反应条件的优化

为了确定最佳反应条件,我们把 BDMS 催化苯甲醛(1.0 mmol)和 2-甲基呋喃(2.4 mmol)的反应作为模型反应,考察催化剂用量、反应介质对产品收率的影响,实验结果见表 1。我们通过观察模型反应在不同溶剂中的产率情况,发现用 C₂H₅OH、EtOAc、CH₃CN、CH₃COCH₃、四氢呋喃(THF)作溶剂进行该反应时,都比无溶剂反应时间长、反应产率低。所以说明无溶剂条件是最好的选择。同时,我们还发现催化剂的用量也影响反应速率和收率。在无溶剂条件下,增加催化剂用量,可以加快反应速度,当催化剂的用量加至 2%时,反应 20 min 后,产率达到 80%;继续增加催化剂用量到 5 mol%,反应 2 min 后,产率高达 93%;但是,继续增加催化剂的用量,产率不再升高。因此,无溶剂、催化剂用量为 5 mol%、反应温度为室温是最佳反应条件。

1.2 反应底物的普适性研究

在最优化的反应条件下,为了探究该方法的普遍性和适用范围,使用各种芳香醛作为反应物,在无溶剂条件下,与 2-甲基呋喃进行反应,反应结果如表 2 所示。从实验结果可以看出,各种取代的芳香醛都能顺利与 2-甲基呋喃进行缩合,并以较高的产率得到目标化合物(表 2, Entries 1~7, 11, 12)。芳环上的取代基的电子效应对反应的影响较小,不管是吸电子还是供电子的取代基都能较高产率的得到目标化合物。间位存在取代基的芳香醛,例如,3-硝基苯甲醛和 3-甲氧基-4-羟基苯甲醛也

表 1 BDMS 催化合成二[(5-甲基)-2-呋喃基]苯基甲烷反应条件优化^a

Table 1 Screening on the reaction conditions for the synthesis of bis(5-methyl-2-furyl)phenyl methane

Entry	BDMS/mol%	Solvent ^a	Time/min	Yield ^b /%
1	None	None	120	—
2	5	C ₂ H ₅ OH	30	72
3	5	EtOAc	30	81
4	5	CH ₃ CN	30	74
5	5	CH ₂ Cl ₂	30	63
6	5	CH ₃ COCH ₃	30	72
7	5	THF	30	75
9	1	None	30	70
10	2	None	20	80
11	5	None	2	93
12	10	None	2	93

^a All reactions were run with benzaldehyde (1 mmol) and 2-methylfuran (2.4 mmol) in the presence of BDMS in 4 mL of solvents at room temperature.

^b Isolated yields.

能得到较高的收率(表 2, Entries 7, 12)。此外,杂环类化合物 5-甲基呋喃-2-甲醛、噻吩-2-甲醛、吡咯-3-甲醛也是很好的底物,它们与 2-甲基呋喃反应也能获得很好的产率(表 2, Entries 8~10)。在研究中,我们还发现在溴化二甲基溴化铈存在下,3-甲基硫基丙醛和柠檬醛不能与 2-甲基呋喃发生此类反应(表 2, Entries 13, 14),但造成这一结果的具体原因尚不清楚。

与其他文献报道的催化剂在合成二呋喃基芳基甲烷类化合物过程中的催化效果进行对比,我们在表 3 中列出了各种催化剂催化该反应所需要的催化剂当量、反应时间、产物的产率。与其他催化合成二呋喃基芳基甲烷类反应的催化剂相比,如 Bi(OTf)₃^[13]、AuCl₃^[8]、B(C₆F₅)₃^[9]、RuCl₃·3H₂O^[10]、I₂^[12]等,由于 BDMS 无需溶剂、室温条件下能迅速催化反应的进行,因此 BDMS 的催化效果更好。且从表 3 不难看出,用 BDMS 作催化剂,比用已报道过的这些催化剂的反应产率高,反应时间短,易于处理。

1.3 反应机理的设想与讨论

在前人研究 2-甲基呋喃与芳香醛类的反应的基础上^[7-13],我们提出了 BDMS 催化此类反应可能的反应机理(Scheme 1)。首先,芳香醛中的羰基与 BDMS 中带正电的硫原子结合,形成带有电正性的羰基碳正离子,同时,2-甲基呋喃环的 α -C 上的 H⁺ 与 BDMS 中的 Br⁻ 结合,消除一分子 HBr。然后,脱去 H⁺ 的 2-甲基呋喃进攻羰基

表 2 无溶剂条件下 BDMS 催化 2-甲基呋喃与芳香醛类的反应^a

Table 2 BDMS-catalyzed reaction of 2-methylfuran with aryl aldehydes under solvent-free conditions

Entry	R	Time/min	Yield ^c /%	Entry	R	Time/min	Yield ^c /%
1		2	93	8		20	92
2		5	90	9		50	84
3		3	94	10		30	85
4		3	94	11 ^b		78	89
5		25	90	12		25	90
6		8	92	13		120	—
7		40	80	14		120	—

^a General reaction conditions: aldehyde (1.0 mmol), 2-methylfuran (2.4 mmol), catalyst (5 mol%), room temperature. ^b Reaction conditions: 1,4-phthalaldehyde (1.0 mmol), 2-methylfuran (4.8 mmol), catalyst (10 mol%), room temperature. ^c Isolated yields.

表 3 不同催化剂催化合成化合物 3a 效果对比

Table 3 Comparison of the effect of catalysts for the synthesis of 3a

Entry	Catalyst (mol/%)	Conditions	Time/h	Yield ^a /%	Ref.
1	Bi(OTf) ₃ (5)	Toluene, r.t	2	92	[13]
4	AuCl ₃ (1)	CH ₃ CN, r.t	12	88	[8b]
5	B(C ₆ F ₅) ₃ (5)	CH ₂ Cl ₂ , r.t	0.25	92	[9]
6	RuCl ₃ ·3H ₂ O (5)	GDE, 5 °C	144	79	[10]
7	I ₂ (10)	H ₂ O, r.t.	72	79	[12]

^a Isolated yield.

碳正离子, 得到中间体 **a**. 中间体 **a** 脱去一分子的 DMSO 得到中间体 **b**. 反应过程中产生的 Br⁻ 继续与第二分子的 2-甲基呋喃的 α-C 上的 H⁺ 结合, 再消除一分子 HBr, 得到最终产物 **3**. 在这个反应过程中, BDMS 所产生的 HBr 能够循环使用, 加速了反应进程.

催化量的 BDMS 在反应初期起到了活化羰基的作用, 伴随着反应的进行, BDMS 逐渐转化成 Me₂SO 和 HBr, 在随后的反应中, 起催化作用的是 HBr 分子, 为了验证这个设想, 我们以苯甲醛(1 mmol)和 2-甲基呋喃(2.4 mmol)为底物, 在 HBr (g)(10 mol%)的作用下发生

图式 1 BDMS 催化合成二呋喃基芳基甲烷类化合物可能的反应机理

Scheme 1 Plausible mechanistic illustration of BDMS-catalyzed synthesis of difurylarylmethanes

反应, 得到了预期的结果(Eq. 2).

我们设想了 HBr 催化该反应的机理(Scheme 2), 在反应过程中, H^+ 起到了活化羰基的作用, 有利于 2-甲基呋喃环的 α -C 的亲核进攻, 通过 2-甲基呋喃环的 α -C 的两次亲核进攻, 最终脱去水分子和 HBr 分子, 使 HBr 分子能够被循环使用, 最终在短时间内完成了反应。

图式 2 HBr 催化合成二呋喃基芳基甲烷类化合物可能的反应机理

Scheme 2 Plausible mechanistic illustration of HBr-catalyzed synthesis of difurylarylmethanes

2 结论

总之, 我们发现了一种在无机溶剂条件下使用 BDMS 作催化剂, 催化芳香醛与 2-甲基呋喃缩合合成二呋喃基芳基甲烷类化合物的方法. 该方法具有操作简便、产率高、反应时间短、过程环保等优点.

3 实验部分

3.1 仪器与试剂

核磁共振氢谱采用 BRUKER AC-P 300 型核磁共振仪测定, 用 $CDCl_3$ 为溶剂, TMS 为内标. 除特别说明外, 本文所用化学试剂均为市售化学纯或分析纯. 柱层析硅胶(试剂级, 200~300 目)购自青岛海洋化工有限公司, 直接使用. 所用的乙腈、二氯甲烷, 是加入适量的五氧化二磷后回流, 重蒸后使用. 所用乙醇、四氢呋喃用金属钠回流重蒸后使用. 所用的乙酸乙酯、丙酮用分子筛干燥, 重蒸后使用. 所使用的 2-甲基呋喃和芳香醛均为市售分析纯, 未加处理直接使用.

3.2 二[(5-甲基)-2-呋喃基]苯基甲烷的制备

在室温下, 于 25 mL 的圆底烧瓶中, 加入 2-甲基呋喃(2.4 mmol)和芳香醛(1.0 mmol), 搅拌以使混合均匀, 加入溴化二甲基溴化铈(BDMS) (0.05 mmol), 继续在室温下搅拌适当时间, 用薄层层析色谱法(TLC)监测. 反应完全后, 加入适量水, 搅拌, 加入适量乙酸乙酯萃取, 水洗 3 次, 分液, 收集有机相, 旋蒸, 除去溶剂的粗产品运用柱层层析色谱法进行分离提纯, 得到纯净的二[(5-甲基)-2-呋喃基]苯基甲烷(**3a**)^[13]: 1H NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.35~7.28 (br m, 5H), 5.91 (br d, $J=4.3$ Hz, 4H), 5.37 (s, 1H), 2.28 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 152.8, 151.4, 140.0, 128.39, 128.36, 126.9, 108.1, 106.0, 45.1, 13.6.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](4-溴苯基)甲烷(**3b**)^[12]: 1H NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.46 (d, $J=8.3$ Hz, 2H), 7.15 (d, $J=8.3$ Hz, 2H), 5.91 (br d, $J=3.0$ Hz, 2H), 5.90 (br d, $J=3.0$ Hz, 2H), 5.31 (s, 1H), 2.27 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 152.1, 151.6, 139.1, 131.5, 130.1, 120.9, 108.3, 106.1, 44.5, 13.6.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](4-氯苯基)甲烷(**3c**)^[12]: 1H NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.31 (d, $J=8.5$ Hz, 2H), 7.21 (d, $J=8.5$ Hz, 2H), 5.92 (br d, $J=3.1$ Hz, 2H), 5.90 (br d, $J=3.1$ Hz, 2H), 5.33 (s, 1H), 2.27 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 152.5, 151.9, 138.9, 133.1, 130.1, 128.9, 108.6, 106.4, 44.8, 13.9.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](4-氟苯基)甲烷(**3d**)^[12]: 1H NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.24 (dd, $J=8.3, 5.5$ Hz, 2H),

7.02 (t, $J=8.6$ Hz, 2H), 5.91 (br d, $J=2.7$ Hz, 2H), 5.89 (br d, $J=2.7$ Hz, 2H), 5.34 (s, 1H), 2.28 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 161.9, 152.6, 151.6, 135.7, 129.9, 115.2, 108.2, 106.1, 44.3, 13.6.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](4-甲氧苯基)甲烷(**3e**)^[12]: ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.21 (d, $J=8.7$ Hz, 2H), 6.89 (d, $J=8.7$ Hz, 2H), 5.91 (br d, $J=2.3$ Hz, 2H), 5.89 (br d, $J=2.3$ Hz, 2H), 5.33 (s, 1H), 3.82 (s, 3H), 2.28 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 158.5, 153.1, 151.3, 132.1, 129.3, 113.8, 107.9, 106.0, 55.2, 44.3, 13.6.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](4-硝基苯基)甲烷(**3f**)^[12]: ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 8.19 (d, $J=8.7$ Hz, 2H), 7.43 (d, $J=8.7$ Hz, 2H), 5.96 (br d, $J=3.0$ Hz, 2H), 5.94 (br d, $J=3.0$ Hz, 2H), 5.45 (s, 1H), 2.27 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 152.5, 151.4, 147.9, 147.5, 129.7, 124.2, 109.3, 106.7, 45.3, 14.0.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](3-硝基苯基)甲烷(**3g**)^[7]: ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 8.13~8.11 (m, 2H), 7.59 (d, $J=8$ Hz, 2H), 7.50~7.46 (m, 1H), 5.94~5.92 (m, 4H), 5.44 (s, 1H), 2.25 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 151.9, 151.0, 148.3, 142.1, 134.4, 129.1, 123.2, 121.9, 108.6, 106.1, 44.5, 13.4.

2-[二(5-甲基呋喃-2-基)甲基]-5-甲基呋喃(**3h**)^[11]: ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3) δ : 2.26 (s, 9H), 5.33 (s, 1H), 5.87 (s, 3H), 5.93 (s, 3H); ^{13}C NMR (75 MHz, CDCl_3) δ : 13.6, 39.3, 106.4, 107.9, 150.8, 151.3.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](2-噻吩基)甲烷(**3i**)^[8a]: ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3) δ : 2.26 (s, 6H), 5.56 (s, 1H), 5.87 (s, 2H), 5.95 (s, 2H), 6.87~6.93 (m, 2H), 7.17 (d, 1H, $J=4.9$ Hz); ^{13}C NMR (75 MHz, CDCl_3) δ : 40.4, 106.4, 108.1, 124.7, 125.8, 126.7, 143.4, 151.6, 152.4.

3-[二(5-甲基-2-呋喃基)甲基]-1H-吡啶(**3j**)^[8a]: ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3) δ : 2.25 (s, 6H), 5.58 (s, 1H), 5.85 (s, 2H), 5.89 (s, 2H), 6.93 (s, 1H), 7.03 (uneven triplet, 1H, $J=7.6, 7.3$ Hz), 7.14 (uneven triplet, 1H, $J=7.9, 7.1$ Hz), 7.28 (d, $J=8.1$ Hz, 1H), 7.47 (d, $J=7.9$ Hz, 1H), 7.91 (s, 1H); ^{13}C NMR (75 MHz, CDCl_3) δ : 13.7, 36.8, 106.1, 107.5, 111.1, 115.1, 119.4, 119.6, 122.0, 122.9, 126.5, 136.4, 150.9, 153.0.

四[(5-甲基)-2-呋喃基]-1, 4-二叔甲基苯(**3k**)^[8a]: ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3) δ : 2.24 (s, 12H), 5.30 (s, 2H), 5.86 (s, 8H), 7.17 (s, 4H); ^{13}C NMR (75 MHz, CDCl_3) δ : 13.6, 44.7, 106.0, 108.1, 128.4, 138.6, 151.3, 152.8.

二[(5-甲基)-2-呋喃基](4-羟基-3-甲氧苯基)甲烷(**3l**)^[12]: ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.88 (d, $J=8.1$ Hz,

1H), 6.80~6.75 (m, 2H), 5.90 (br d, $J=2.8$ Hz, 2H), 5.88 (br d, $J=2.8$ Hz), 5.56 (s, 1H), 5.28 (s, 1H), 3.86 (s, 3H), 2.27 (s, 6H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 153.2, 151.4, 146.6, 144.7, 132.0, 121.3, 114.4, 111.2, 108.1, 106.2, 55.9, 44.9, 13.6.

辅助材料(Supporting Information) 化合物的 ^1H NMR 和 ^{13}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) Sperry, J. B.; Wright, D. L. *Curr. Opin. Drug Discovery Dev.* **2005**, *8*, 723.
(b) Boto, A.; Alvarez, L. In *Heterocycles in Natural Product Synthesis*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, **2011**, p. 97.
(c) Ye, O. Z.; Xie, S. X.; Huang, M.; Huang, W. J.; Lu, J. P.; Ma, Z. Q. *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 13940.
(d) Tan, H. B.; Chen, X. Z.; Liu, Z.; Wang, D. Z. *Tetrahedron* **2012**, *68*, 3952.
- [2] (a) Cui, Z. N.; Shi, Y. X.; Cui, J. R.; Ling, Y.; Li, B. J.; Yang, X. L. *Chem. Biol. Drug Des.* **2012**, *79*, 121.
(b) Iyer, R. S.; Coles, B. F.; Raney, K. D.; Thier, R.; Guengerich, F. P.; Harris, T. M. *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, *116*, 160.
(c) Bren, U.; Guengerich, F. P.; Mavri, J. *Chem. Res. Toxicol.* **2007**, *20*, 1134.
(d) Jubert, C.; Mata, J.; Bench, G.; Dashwood, R.; Pereira, C.; Tracewell, W.; Turteltaub, K.; Williams, D.; Bailey, G. *Cancer Prev. Res.* **2009**, *2*, 1015.
- [3] (a) Li, B. L. *Chin. J. Org. Chem.* **2015**, *35*, 2487.
(b) Pan, X. X.; Huo, L. J. *Chin. J. Org. Chem.* **2016**, *36*, 687.
- [4] (a) Rodricks, J. V. *J. Agric. Food Chem.* **1969**, *17*, 457.
(b) Lee, N. A.; Wang, S.; Allan, R. D.; Kennedy, I. R. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, *52*, 2746.
- [5] (a) Lipshutz, B. H. *Chem. Rev.* **1986**, *86*, 795.
(b) Wong, H. N. C.; Yang, Y. *Tetrahedron* **1994**, *50*, 9583.
(c) Lee, H.-K.; Chan, K.-F.; Hui, C.-W.; Yim, H.-K.; Wu, X.-W.; Wong, H. N. C. *Pure Appl. Chem.* **2005**, *77*, 139.
- [6] (a) Gulevich, A. V.; Dudnik, A. S.; Chernyak, N.; Gevorgyan, V. *Chem. Rev.* **2013**, *113*, 3084.
(b) Keay, B. A. *Chem. Soc. Rev.* **1999**, *28*, 209.
(c) Ma, S. *Acc. Chem. Res.* **2003**, *36*, 701.
(d) Zou, W.; He, Z. R.; He, Z. J. *Chin. J. Org. Chem.* **2015**, *35*, 1739.
- [7] Genovese, S.; Epifano, F.; Pelucchini, C.; Curini, M. *Eur. J. Org. Chem.* **2009**, 1132.
- [8] (a) Nair, V.; Abhilash, K. G.; Vidya, N. *Org. Lett.* **2005**, *7*, 5857.
(b) Nair, V.; Vidya, N.; Abhilash, K. G. *Synthesis* **2006**, *21*, 3647.
- [9] Chandrasekhar, S.; Khatun, S.; Rajesh, G.; Reddy, Ch. J. *Tetrahedron Lett* **2009**, *50*, 669.
- [10] Qu, H. E.; Xiao, C.; Wang, N.; Yu, K. H.; Hu, Q. S.; Liu, L. X. *Molecules* **2011**, *16*, 3855.
- [11] Hashmi, A. S. K.; Schwarz, L.; Rubenbauer, P.; Blanco, M. C. *Adv. Synth. Catal.* **2006**, *348*, 705.
- [12] Jaratjaroonphong, J.; Tuengpanya, S.; Saeeng, R.; Udompong, S.; Srisook, K. *Eur. J. Med. Chem.* **2014**, *83*, 561.
- [13] Jaratjaroonphong, J.; Tuengpanya, S.; Ruengsangtongkul, S. *J. Org. Chem.* **2015**, *80*, 559.
- [14] (a) Choudhury, L. H.; Pravin, T.; Khan, A. T. *Tetrahedron* **2009**, *65*, 9513.
(b) Olah, G. A.; Vankar, Y. D.; Arvanaghi, M.; Surya Prakash, G. K. *Synthesis* **1979**, 720.
(c) Furukawa, N.; Inoue, T.; Aida, T.; Oae, S. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1973**, 212a.

- [15] (a) Choudhury, L. H. *Synlett* **2006**, 1619.
(b) Khan, A. T.; Ali, A. M.; Goswami, P.; Choudhury, L. H. *J. Org. Chem.* **2006**, *71*, 8961.
(c) Das, B.; Krishnaiah, M.; Katta, V. *Tetrahedron Lett.* **2006**, *47*, 4457.
(d) Khan, A. T.; Mondal, E.; Borah, B. M.; Ghosh, S. *Eur. J. Org. Chem.* **2003**, 4113.
(e) Khan, A. T.; Islam, S.; Majee, A.; Chattopadhyay, T.; Ghosh, S. *J. Mol. Catal., A: Chem.* **2005**, *239*, 158.
(f) Khan, A. T.; Sahu, P. R.; Majee, A. *J. Mol. Catal., A: Chem.* **2005**, *226*, 207.
(g) Khan, A. T.; Mondal, E.; Ghosh, S.; Islam, S. *Eur. J. Org. Chem.* **2004**, 2002.
(h) Das, B.; Holla, H.; Srinivas, Y. *Tetrahedron Lett.* **2007**, *48*, 61.
- [16] (a) Zhao, C. Y.; Liu, J. Y.; Wang, Y.; Zhao, X. J.; Yuan, B.; Yue, M. M. *Synth. Commun.* **2014**, *44*, 827.
(b) Yue, M. M.; Liu, J. Y.; Wang, Y.; Yuan, B. *Chin. J. Org. Chem.* **2014**, *34*, 190.
(c) Zhang, L. J.; Liu, J. Y.; Wang, Y.; *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, *33*, 339.
(d) Huang, H. J.; Liu, J. Y.; Ma, E. Z.; Cao, Y. Y. *Chin. J. Org. Chem.* **2015**, *35*, 2372.

(Li, L.; Fa, Y.)