微波促进 I_2 催化吲哚 3-硒氰酸化制备 3-硒氰酸吲哚衍生物

吴 燕 田仙芝 张海玲 陈 睿 曹团武*

(长江师范学院化学化工学院 无机特种材料重庆市重点实验室 涪陵 408000)

摘要 3-硒氰酸吲哚衍生物由于良好的生物活性, 在药物研究方面具有潜在的应用价值。目前, 关于 3-硒氰酸吲哚的制备方法存在一定的不足, 如反应条件苛刻、产率较低、底物适用性较差等。采用微波促进 I_2 催化吲哚与硒氰酸钾的反应, 制备了一系列 3-硒氰酸吲哚衍生物。与已有方法相比, 本方法具有反应速率快、产率高、原子经济性好等优点, 为 3-硒氰酸吲哚衍生物的制备提供高效的途径。

关键词 微波辅助反应; 碘催化硒氰酸化; 3-硒氰酸吲哚; 吲哚衍生物; 硒氰酸钾

Microwave-Assisted Iodine-Catalyzed 3-Selenocyanation of Indole for the Synthesis of 3-Selenocyanateindole Derivatives

Wu, Yan Tian, Xianzhi Zhang, Hailing Chen, Rui Cao, Tuanwu*

(Chongqing Key Laboratory of Inorganic Special Functional Materials, College of Chemistry and Chemical Engineering, Yangtze Normal University, Fuling 408000)

Abstract 3-Selenocyanateindole derivatives have potential application in drug research due to their good biological activity. Until now, many methods for the synthesis of 3-selenocyanateindoles have been reported. However, drawbacks still exist, such as harsh reaction conditions, low yields and poor functional groups tolerance. A series of 3-selenocyanateindoles have been synthesized via the microwave-assisted 3-selenocyanation of indole derivatives by using 25 mol% iodine as catalyst, affording the corresponding products in good yields. Compared with the previous methods, this protocol has the advantages of rapid reaction, high yields and good atomic economy, providing an efficient route to 3-selenocyanateindole derivatives.

Keywords microwave-assisted reaction; iodine-catalyzed selenocyanation; 3-selenocyanate iodines; iodine derivatives; potassium selenocyanate

硒是人体不可或缺的微量元素, 对机体生理功能有着重要作用。硒化合物在有机合成、生物化学、静电复印、导电合成材料和半导体的合成、配体化学等领域均具有广泛应用^[1~5]。有机硒化合物的合成及其应用研究成为近年来有机合成领域的研究热点^[6~12]。3-硒氰酸吲哚具有广泛的生物活性且在药学方面具有潜在的应用价值。^[13,14] 因此, 急需开发高效的方法来制备 3-硒氰酸吲哚衍生物, 并进一步研究其在药物分子及化学转化中的应用。目前, 关于 3-硒氰酸吲哚的合成方法报道较少^[15~18]。在硝酸铯铵(CAN)存在下, 硒氰酸钾和吲哚的反应是制备 3-硒氰酸吲哚的有效方法, 但该方法的产率较低^[19]。Kachanov 课题组^[20]对吲哚的硒氰酸化反应进

一步研究, 以丙二腈、二氧化硒和吲哚作为反应原料, 该反应以较高的产率获得了相应目标产物, 但该方法实验操作较为复杂, 不利于工业化生产。电化学催化吲哚衍生物硒氰酸化反应是制备 3-硒氰酸吲哚的另一种有效方法, 该反应具有较好的底物适用性, 均以较高的产率获得了相应的目标产物^[21]。但电解过程需要大量的有机溶剂, 且需要 2.0 equiv. 的 $KSeCN$, 才能使反应有效进行。综上所述, 目前报道的合成 3-硒氰酸吲哚衍生物的方法均存在一定的不足, 如原子经济型差、收率较低、实验操作复杂等。因此, 急需发展一种反应条件温和、实验操作简便、原子经济性好的方法来制备 3-硒氰酸吲哚衍生物。

* Corresponding author. E-mail: caotw2013@163.com

Received October 6, 2019; revised December 3, 2019; published online January 3, 2020.

Project supported by the Basic and Frontier Research Project of Chongqing City (Nos. Cstc2018jcyjAX0721, Cstc2016jcyjA0056), the Youth Talent Growth Plan Project of Yangtze Normal University (No. 2018QNRC11), and the Education Commission of Chongqing City (No. KJQN201801404).

重庆市基础前沿研究(Nos. Cstc2018jcyjAX0721, Cstc2016jcyjA0056)、长江师范学院青年人才成长计划(No. 2018QNRC11)、重庆市教育委员会(No. KJQN201801404)资助项目。

作为一种新兴合成技术,微波辅助有机合成(MAOS)引起了科学家的广泛兴趣,被广泛应用在化学合成反应中^[22~28]. 与传统的有机合成方法相比,微波辅助合成法具有反应时间短,反应适用范围广等优点. 本文报道在微波技术辅助下,以 25 mol%碘单质(I₂)作为催化剂,催化吲哚衍生物与硒氰酸钾的反应有效进行,以较高产率制备了一系列 3-硒氰酸吲哚化合物. 与已有方法相比,本方法具有反应条件温和、产率高、原子经济性好等优点,为 3-硒氰酸吲哚化合物的制备提供了高效的途径.

1 结果与讨论

以吲哚与硒氰酸钾的反应作为模型反应,系统考察了反应温度、底物比例、反应时间、溶剂及其催化剂用量对反应的影响,结果见表 1.

由表 1 可知,微波辅助下碘单质催化吲哚与硒氰酸钾的反应有效进行. 反应温度对反应产率具有重要影响,随着反应温度的升高,反应产率也相应增加. 当反应温度为 120 °C 时,反应产率最高(表 1, Entry 4),继续升高反应温度,产率没有发生变化(表 1, Entry 5). 然后,以 120 °C 作为最佳反应温度,考察催化剂用量对反应的影响,当催化剂用量降低至 25 mol% 时,通过延长反应时间至 15 min,该反应仍能获得 80% 的产率(表 1, Entry 8). 在该最优化条件下,吲哚与 KSeCN 的比例为 1 : 1 时,该反应就能有效进行. 最后,考察了不同溶剂对反应的影响. 实验结果表明, DMSO 为最佳的反应溶剂. 微波辐射可以促进该反应有效进行,当该反应在没有微波辐射条件下进行时,只有痕量的目标产物生成(表 1, Entry 17). 通过以上反应条件优化,获得的最优化反应条件为:吲哚与硒氰酸钾的物质的量比为 1 : 1,催化剂 I₂ 用量为 25 mol%,溶剂为 DMSO (2.0 mL),反应温度为 120 °C,反应时间为 15 min(表 1, Entry 12). 在该最优化反应条件基础上,系统考察不同吲哚衍生物与硒氰酸钾的反应情况,结果见表 2.

由表 2 可知,该反应对不同取代的吲哚衍生物具有较好的适用性,均以较高的产率获得了相应的目标产物. 吲哚衍生物上的取代基对反应有一定的影响,当吲哚衍生物上的取代基为给电子基(Me, OMe, OBn)时,产率较低(表 2, Entries 2, 3). 当取代基为拉电子基(Cl, Br, CN, CHO)时,反应产率较高(表 2, Entries 6~8). 最后,考察了其他含氮杂环的反应情况,当以 7-氮杂吲哚作为底物时,该反应仍以较高产率(表 2, Entry 9)获得相应的目标产物.

通过控制实验对微波促进 I₂ 催化吲哚 3-硒氰酸化的可能机理进行研究(Scheme 1),即在最优化条件

表 1 反应条件优化^a

Table 1 Optimization of reaction conditions

Entry	Temp./°C	<i>n</i> _{1a} : <i>n</i> _{2a}	Time/min	I ₂ /mol%	Solvent/mL	Yield ^b /%
1	60	1 : 2	5	50	DMSO (2.0)	26
2	80	1 : 2	5	50	DMSO (2.0)	43
3	100	1 : 2	5	50	DMSO (2.0)	65
4	120	1 : 2	5	50	DMSO (2.0)	80
5	140	1 : 2	5	50	DMSO (2.0)	80
6	120	1 : 2	5	25	DMSO (2.0)	55
7	120	1 : 2	10	25	DMSO (2.0)	71
8	120	1 : 2	15	25	DMSO (2.0)	80
9	120	1 : 2	20	25	DMSO (2.0)	80
10	120	1 : 2	30	15	DMSO (2.0)	62
11	120	1 : 1	20	25	DMSO (2.0)	80
12	120	1 : 1	15	25	DMSO (2.0)	80 (78) ^c
13	120	1 : 1	15	25	DMF (2.0)	70
14	120	1 : 1	15	25	DMA (2.0)	72
15	120	1 : 1	15	25	THF (2.0)	57
16	120	1 : 1	15	25	1,4-Dioxane (2.0)	35
17 ^d	120	1 : 1	120	25	DMSO (2.0)	Trace

^a Reaction conditions: indole (1a), KSeCN (2a), I₂ (mol%), solvent (2.0 mL), air, M.W. ^b GC yields. ^c Isolated yields. ^d In the absence of the irradiation of microwave.

表 2 不同吲哚衍生物与硒氰酸钾的反应^a

Table 2 Reactions of different indole derivatives with KSeCN

Entry	R	Product	Yield ^b /%
1	H	3a	78
2	5-OMe	3b	70
3	5-Me	3c	73
4	4-BnO	3d	72
5	5-Cl	3e	83
6	4-CN	3f	83
7	6-CHO	3g	85
8	5-NO ₂	3h	86
9	1 <i>H</i> -pyrrolo[2,3- <i>b</i>]pyridine	3i	82

^a Reaction conditions: indole derivatives (1, 0.2 mmol), KSeCN (2a, 0.2 mmol), I₂ (25 mol%), DMSO (2.0 mL), 120 °C, 15 min. ^b Isolated yields.

下,以 2 equiv. 2,2,6,6-四甲基哌啶-1-氧自由基(TEMPO)或 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)作为自由基捕获剂,考察反应过程中是否存在自由基中间体. 实验结果显示,在该反应条件下,反应产率没有降低,说明该反应过程中不涉及自由基中间体.

根据上述控制实验结果以及已有文献报道^[29,30],提

图式 1 研究反应机理控制实验

Scheme 1 Control experiment for mechanism study

出微波促进 I_2 催化吲哚 3-硒氰酸化反应的制备 3-硒氰酸吲哚衍生物的可能机理如 Scheme 2。首先,微波促进下 I_2 与 $KSeCN$ (**2a**) 反应生成 $ISeCN$ 中间体,后者与吲哚 (**1a**) 发生取代反应得到目标产物 3-硒氰酸吲哚 (**3a**) 和 HI , KI 经 $DMSO$ 氧化生成 I_2 , 从而使得反应有效进行。

图式 2 微波促进 I_2 催化吲哚 3-硒氰酸化反应的可能机理

Scheme 2 Proposal mechanism of microwave-assisted iodine-catalyzed 3-selenocyanation of indole derivatives

2 结论

以吲哚与硒氰酸钾的反应作为模型反应,系统考察反应温度、底物比例、反应时间、催化剂用量以及反应溶剂对反应的影响,获得最佳反应条件为:吲哚与硒氰酸钾的物质的量比为 1/1,选取催化剂用量为 25 mol% 作为最佳用量,以 $DMSO$ (2.0 mL) 作为反应溶剂,反应时间为 15 min,反应温度为 120 °C。在该最优反应条件基础上,系统考察各种吲哚衍生物和硒氰酸钾的反应情况,较高产率地制备了一系列 3-硒氰酸吲哚化合物。与已报道的方法相比,该反应具有操作简便、原料廉价易得、产率较高等优点,为 3-硒氰酸吲哚的制备提供了

高效的途径。

3 实验部分

3.1 仪器与试剂

1H NMR (TMS 为内标), ^{13}C NMR (以 TMS 为内标), 柱层析用 300~400 目尺寸的硅胶粉,乙酸乙酯和石油醚作为洗脱液。微波反应器(型号: MCR-3)购自巩义市予华有限公司。催化剂碘单质(I_2),原料吲哚衍生物和硒氰酸钾,溶剂二甲亚砜($DMSO$)、四氢呋喃(THF)、 N,N -二甲基甲酰胺(DMF)和乙腈(CH_3CN)等试剂均购自伊诺凯科技有限公司。

3.2 实验方法

将 0.2 mmol 吲哚衍生物和 0.2 mmol 硒氰酸钾置于 25 mL 三口瓶中,三口瓶分别安装有热检测器和回流冷凝管。向三口瓶中加入 0.05 mmol 碘单质和 2.0 mL $DMSO$,反应混合液置于微波反应器空腔中,微波设置参数为:微波辐射功率为 240 W,目标温度为 120 °C,反应时间为 15 min。反应结束后,向反应混合液中加入 10 mL 水,用乙酸乙酯萃取(10 mL $\times$ 3),合并有机相,无水 Na_2SO_4 干燥。去除溶剂,经快速柱层析得 3-硒氰酸吲哚化合物 **3a**~**3i**。

3-硒氰酸吲哚(**3a**): 淡黄色固体,产率 78%, m.p. 100~102 °C (lit.^[21] m.p. 99~101 °C); 1H NMR (500 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 11.87 (s, 1H), 7.86 (d, $J=3.5$ Hz, 1H), 7.59 (d, $J=7.0$ Hz, 1H), 7.51 (d, $J=7.5$ Hz, 1H), 7.26~7.20 (m, 2H); ^{13}C NMR (125 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 136.66, 133.67, 129.12, 122.99, 121.16, 119.15, 112.87, 104.80, 89.44。

5-甲氧基-3-硒氰酸吲哚(**3b**): 淡黄色固体,产率 70%, m.p. 115~117 °C (lit.^[21] m.p. 116~117 °C); 1H NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 8.57 (s, 1H), 7.51 (d, $J=3.5$ Hz, 1H), 7.34 (d, $J=11.0$ Hz, 1H), 7.15 (d, $J=3.5$ Hz, 1H), 6.96 (dd, $J=11.0, 3.5$ Hz, 1H), 3.92 (s, 3H); ^{13}C NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 155.80, 132.11, 130.80, 129.56, 114.54, 112.74, 101.66, 100.72, 89.28, 55.86。

5-甲基-3-硒氰酸吲哚(**3c**)^[21]: 淡黄色固体,产率 73%, m.p. 115~117 °C (lit.^[15] m.p. 116~117 °C); 1H NMR (500 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 11.73 (s, 1H), 7.75 (s, 1H), 7.39~7.37 (m, 2H), 7.06~7.05 (m, 1H), 2.46 (s, 3H); ^{13}C NMR (125 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 134.96, 133.50, 129.30, 124.54, 118.59, 112.53, 79.62, 79.35, 79.09, 21.70。

4-苄氧基-3-硒氰酸吲哚(**3d**): 淡黄色固体,产率 72%, m.p. 186~188 °C; 1H NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 8.511 (s, 1H), 7.57 (d, $J=8.5$ Hz, 2H), 7.42 (t, $J=9.5$ Hz, 2H), 7.37~7.34 (m, 1H), 7.30 (d, $J=3.0$ Hz, 1H), 7.116 (t,

$J=10.0$ Hz, 1H), 7.03 (d, $J=10.0$ Hz, 1H), 6.65 (d, $J=10.0$ Hz, 1H), 5.23 (s, 2H); ^{13}C NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 152.62, 137.99, 136.72, 128.58, 128.03, 127.63, 127.43, 124.62, 117.63, 105.18, 102.73, 102.31, 88.98, 70.43; HRMS calcd for $\text{C}_{16}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{OSe}$ 328.0015, found 328.0017.

5-氯-3-硒氰酸吡啶(3e): 淡黄色固体, 产率 83%, m.p. 135~137 °C (lit.^[21] m.p. 135~137 °C); ^1H NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 8.24 (s, 1H), 7.74 (s, 1H), 7.43~7.42 (m, 1H), 7.26~7.21 (m, 1H), 7.13~7.11 (m, 1H); ^{13}C NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 134.49, 130.76, 130.61, 126.27, 122.97, 119.66, 112.35, 100.35, 77.24.

4-氰基-3-硒氰酸吡啶(3f)^[13]: 淡黄色固体, 产率 83%, m.p. 158~160 °C (lit.^[15] m.p. 160~162 °C); ^1H NMR (500 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.50 (s, 1H), 8.17 (d, $J=2.8$ Hz, 1H), 7.91 (d, $J=10.0$ Hz, 1H), 7.75 (d, $J=10.0$ Hz, 1H), 7.42 (t, $J=10.0$ Hz, 1H); ^{13}C NMR (125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 137.74, 137.07, 128.36, 127.35, 122.94, 118.43, 118.07, 105.54, 101.90, 89.44.

3-硒氰酸吡啶-6-甲醛(3g): 淡黄色固体, 产率 85%, m.p. 163~165 °C; ^1H NMR (500 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.41 (s, 1H), 10.07 (s, 1H), 8.17 (s, 1H), 8.10 (s, 1H), 7.75 (s, 2H); ^{13}C NMR (125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 193.28, 137.88, 136.12, 133.78, 131.82, 120.91, 119.79, 116.73, 105.02, 91.19; HRMS calcd for $\text{C}_{10}\text{H}_6\text{N}_2\text{OSe}$ 249.9645, found 249.9643.

5-硝基-3-硒氰酸吡啶(3h): 淡黄色固体, 产率 86%, m.p. 163~164 °C (lit.^[21] m.p. 162~164 °C); ^1H NMR (500 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.56 (s, 1H), 8.52 (m, 1H), 8.206~8.167 (m, 2H), 7.76 (d, $J=9.2$ Hz, 1H); ^{13}C NMR (125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 142.38, 139.97, 137.45, 128.71, 118.26, 115.91, 113.78, 104.97, 93.33.

3-硒氰酸吡咯并[2,3-b]吡啶(3i): 淡黄色固体, 产率 82%, m.p. 98~100 °C; ^1H NMR (500 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 12.45 (s, 1H), 8.37~8.35 (m, 1H), 8.02~8.00 (m, 2H), 7.29~7.26 (m, 1H); ^{13}C NMR (125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 148.81, 144.54, 134.30, 127.69, 117.54, 104.85, 88.93; HRMS calcd for $\text{C}_8\text{H}_5\text{N}_3\text{Se}$ 222.9649, found 222.9651.

辅助材料(Supporting Information) 化合物 3a~3i 的核磁谱图. 这些材料可以免费从本刊网站(<http://sioc-journal.cn/>)上下载.

References

- [1] Li, Y.; Chen, S.; Su, L.; Li, J. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, *33*, 1999 (in Chinese).

- (李媛媛, 陈四海, 苏柳, 李建华, 有机化学, **2013**, *33*, 1999.)
- [2] Turner, D. C.; Stadtman, T. C. *Arch. Biochem. Biophys.* **1973**, *25*, 187.
- [3] Zhou, F.; Yang, W.; Wang, M.; Miao, Y.; Cui, Z.; Li, Z.; Liang, D. *Food Chem.* **2018**, *265*, 182.
- [4] Wang, X.; Li, Z.; Zhang, W.; Wang, X.; Chen, J.; Li, N.; Qiu, R.; Xu, X. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, *33*, 558 (in Chinese). (王小勇, 李治章, 张卫军, 王颢, 陈锦杨, 李宁波, 邱仁华, 许新华, 有机化学, **2013**, *33*, 558.)
- [5] Reich, H. J.; Renga, J. M.; Reich, I. L. *J. Am. Chem. Soc.* **1975**, *97*, 19.
- [6] Reich, H. J.; Reich, I. L.; Renga, J. M. *J. Am. Chem. Soc.* **1973**, *95*, 17.
- [7] Liu, W.; Yin, X.; Zang, Z.; Yu, X.; Tao, L.; Li, Y.; Xu, X. *Chin. J. Org. Chem.* **2009**, *29*, 2021 (in Chinese). (刘文奇, 尹显洪, 臧中林, 余晓芬, 陶李明, 李言杰, 许新华, 有机化学, **2009**, *29*, 2021.)
- [8] Reich, H. J. *Chem. Rev.* **2013**, *113*, 7130.
- [9] Lu, L.-H.; Wang, Z.; Xia, W.; Cheng, P.; Zhang, B.; Cao, Z.; He, W.-M. *Chin. Chem. Lett.* **2019**, *30*, 1237.
- [10] Kolonko, K. J.; Guzei, I. A.; Reich, H. J. *J. Org. Chem.* **2010**, *75*, 6163.
- [11] Wang, F.; Xu, L.; Sun, C.; Xu, Q.; Huang, J. Yu, L. *Chin. J. Org. Chem.* **2017**, *37*, 2115 (in Chinese). (王芳, 徐林, 孙诚, 徐清, 黄杰军, 俞磊, 有机化学, **2017**, *37*, 2115.)
- [12] Mukherjee, A. J.; Zade, S. S.; Singh, H. B.; Sunoj, R. B. *Chem. Rev.* **2010**, *110*, 4357.
- [13] Quatrin, P. M.; Dalla, L.; Daiane, F.; Bazana, L. C. G.; de Oliveira, L. F. S.; Lettieri, T. M.; Silva, E. E.; Lopes, W.; Canto, R. F. S.; Silveira, G. P.; Fuentefria, A. M. *New J. Chem.* **2019**, *43*, 926.
- [14] Guan, Q.; Han, C.; Zuo, D.; Zhai, M.; Li, Z.; Zhang, Q.; Zhai, Y.; Jiang, X.; Bao, K.; Wu, Y.; Zhang, W. *Eur. J. Med. Chem.* **2014**, *87*, 306.
- [15] Muniraj, N.; Dhineshkumar, J.; Prabhu, K. R. *ChemistrySelect* **2016**, *1*, 1033.
- [16] Wang, X.; Mu, S.; Sun, T.; Sun, K. *Chin. J. Org. Chem.* **2019**, *39*, 2808 (in Chinese). (王薪, 穆石强, 孙婷, 孙凯, 有机化学, **2019**, *39*, 2808.)
- [17] Abonia, R.; Gutierrez, L. F.; Zwarycz, A. T.; Smits, S. C.; Laali, K. K. *Heteroat. Chem.* **2019**, 1459681.
- [18] Feng, C.; Peng, Y.; Ding, G.; Li, X.; Cui, C.; Yan, Y. *Chem. Commun.* **2018**, *54*, 13367.
- [19] Nair, V.; Augustine, A.; George, T. G. *Eur. J. Org. Chem.* **2002**, *14*, 2363.
- [20] Kachanov, A. V.; Slabko, O. Y.; Baranova, O. V.; Shilova, E. V.; Kaminskii, V. A. *Tetrahedron Lett.* **2004**, *45*, 4461.
- [21] Zhang, X.; Wang, C.; Jiang, H.; Sun, L. *RSC Adv.* **2018**, *8*, 22042.
- [22] Liang, L.; Li, J.; Zhang, Q.; Ma, H. *Chin. J. Org. Chem.* **2019**, *39*, 1323 (in Chinese). (梁玲, 牟佳玲, 陈悦, 王梦莎, 洪志, 有机化学, **2019**, *39*, 1323.)
- [23] Meng, G.; Mou, J.; Chen, R.; Wang, M.; Hong, Z. *Chin. J. Org. Chem.* **2012**, *32*, 2378 (in Chinese). (孟光荣, 李嘉俊, 张倩, 马红梅, 有机化学, **2012**, *32*, 2378.)
- [24] Arvela, R. K.; Leadbeater, N. E. *Org. Lett.* **2005**, *7*, 2101.
- [25] Anderson, K. W.; Buchwald, S. L. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2005**, *44*, 6173.
- [26] Wang, C.; Mu, C.; Xiang, J.; Wang, B.; Zhang, C.; Song, J.; Wen, F. *Chin. J. Chem.* **2018**, *36*, 157.
- [27] Li, X.; Wang, W.; Li, R.; Zhang, P.; Chen, H. *Chin. J. Org. Chem.* **2012**, *32*, 1519 (in Chinese). (李小六, 王玮, 李锐, 张平竹, 陈华, 有机化学, **2012**, *32*, 1519.)
- [28] Kokel, A.; Schäfer, C.; Török, B. *Green Chem.* **2017**, *19*, 3729.
- [29] Fan, W.; Yang, Z.; Jiang, B.; Li, G. *Org. Chem. Front.* **2017**, *4*, 1091.
- [30] Liu, C.-R.; Ding, L.-H. *Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 2251.

(Li, L.; Fan, Y.)