

# 手性脯氨酸类咪唑配体的制备

霍艳敏 孙兆峰 刘燕柯 姚清侠 龚树文 段文增

(聊城大学 化学化工学院、功能有机分子与材料研究所, 山东 聊城 252059)

**摘要** 以 N-Boc-L-脯氨酸(Boc:tert-butoxycarbonyl)为原料,设计合成了三种手性氮杂环卡宾前体:手性 1-(3,5-苯二甲酸甲酯甲基)-3-(2-N-Boc-吡咯甲基)咪唑溴化盐,手性 1-(3,5-苯二甲酸甲基)-3-(2-吡咯甲基)咪唑溴化盐和 1,3-二苄基双(2-N-Boc-吡咯甲基)二咪唑溴化盐.通过核磁共振谱图对三种氮杂环卡宾前体进行了表征,同时对其氮杂环卡宾钯配合物的合成进行了研究.

**关键词** L-(+)-脯氨酸;咪唑盐; NHC-Pd.

**中图分类号** 0626.13

**文献标识码** A

## 0 引言

2005 年的诺贝尔化学奖授予了因在烯烃复分解反应作出巨大贡献的 Grubbs 等三位科学家,而催化烯烃复分解反应最有效的催化剂是所谓的“第二代 Grubbs 催化剂”及其类似物,即:氮杂环卡宾钌的配合物<sup>[1-4]</sup>.因氮杂环卡宾(NHC)的强给电子能力、结构易修饰性和配位金属原子种类多样性等特点,其已经成为继有机膦配体之后又一类重要的有机配体.所以氮杂环卡宾是膦配体的有效替代品,金属与氮杂环卡宾(NHC)形成的络合物由于其金属-碳键的解离能高,故对热、空气以及湿气稳定,在许多反应中表现出了相当或者更好的催化效果,在有机合成领域尤其是在催化合成中具有广阔的发展前景.

自从 Arduengo<sup>[5]</sup>在 1991 年首次报道了稳定的游离咪唑卡宾以来,卡宾配合物得到了快速的发展. Herrmann<sup>[6-8]</sup>, Nolan<sup>[9,10]</sup>, Grubbs<sup>[11]</sup>, Hoveyda<sup>[12,13]</sup> 等人分别合成了一系列手性氮杂环卡宾前体-咪唑盐和咪唑啉盐.其中咪唑盐因其优异的结构易修饰性和良好的金属配位能力,一系列以咪唑为卡宾前体的氮杂环卡宾金属配合物合成出来并成功用于不对称催化反应中.但是,基于咪唑类卡宾金属配合物的制备仍较少,其合成库的结构在不断更新,新型结构的卡宾前体的合成可以更好地促进其催化性能的改进.

氨基酸,又名  $\beta$ -氨基酸或 1,2-氨基酸,是有机化学中最重要的结构单元之一,广泛存在于天然产物和合成化合物中.我们可通过自然界中存在的 L-氨基酸进行还原或多种有机合成方法<sup>[14-17]</sup>得到一系列手性氨基酸,将其作为手性源与氮杂环卡宾结合,可以合成许多高活性、高选择性(包括立体选择性)的氮杂环卡宾金属络合物催化剂,将其广泛地用于不对称催化有机化学反应中,立体选择性可以达到很好的控制.这将展现它们在医药、生物及化工等领域的广阔的应用前景,从而成为金属有机化学的前沿研究课题.因此,合成基于 L-脯氨酸的手性咪唑卡宾前体分子将为新型氮杂环卡宾金属配合物的制备提供更好的选择,有利于得到更好的不对称催化活性<sup>[18]</sup>.合成的氮杂环卡宾金属配合物具有以下特点:(1)中心手性氨基酸和间二羧酸苯基骨架有一定空间控制;(2)中心手性氨基酸作为 N-取代基能给金属中心提供周围的手性环境;(3)羧基能参与金属配位,与卡宾配合物形成一种全新的多配位体系的新型功能配合物.该类氮杂环卡宾的制备及结构研究是不对称催化反应研究的重要内容,对不对称反应立体选择性来说有很大的研究价值和潜在的提升空间.特别是间二苄基双(脯氨酸基咪唑)卡宾钯的制备可以形成新型的具有特殊空间构型的双手性控制催化剂,这在手性氮杂环卡宾金属有机材料中具有重要的应用价值.

收稿日期:2018-12-28

基金项目:国家自然科学基金项目(21801108);山东省自然科学基金项目(ZR2017MB052,ZR2014BQ035,ZR2017MB060);聊城大学博士科研启动基金资助

通讯作者:段文增,男,汉族,博士,副教授,研究方向:有机化学,E-mail:duanwenzeng@lcu.edu.cn.

# 1 材料与方法

## 1.1 试剂与仪器

N-Boc-L-脯氨酸,咪唑,氯化钙,上海达瑞有限公司;对甲基苯磺酰氯,国药集团化学试剂有限公司;氯化钨,叔丁醇钾,上海安耐吉有限公司;G254硅胶粉,青岛海洋;碘化钠,无水碳酸钾;二次水(自制);无水甲苯(钠处理),无水二噁烷(钠处理),无水吡啶(氯化钙处理),无水乙腈(氯化钙处理);浓盐酸;二氯甲烷(分析纯),三氯甲烷(分析纯),丙酮(分析纯),石油醚(分析纯),无水乙醇(分析纯).<sup>1</sup>H 和<sup>13</sup>C NMR 核磁采用 Mercury-plus 400M 核磁共振分析仪,美国 Varian 有限公司.

## 1.2 合成方法

1.2.1 N-Boc-L-脯氨酸基咪唑 3 的合成<sup>[19]</sup>. N-Boc-L-脯氨酸(1.13 g, 5.6 mmol)与 TsCl(1.31 g, 6.88 mmol)于 10 mL 无水吡啶溶剂中,0 °C 条件下搅拌反应过夜,得到对甲基苯磺酸 N-Boc-L-脯氨酸酯. 反应液中加入 35 mL 乙酸乙酯稀释,后用 1 mol/L 的盐酸溶液洗涤五次,饱和的碳酸氢钠溶液洗涤两次,浓 NaCl 水溶液洗涤两次,有机相旋干,干燥. 得到产物 2,浅黄色粘稠状固体,产率:1.8 g, 90.5 %.

室温下,N<sub>2</sub>气保护下,三颈烧瓶中加入咪唑(1.89 g, 27.8 mmol),20 mL 无水乙腈,慢慢加入氢氧化钠(0.7 g, 29.2 mmol) 搅拌 1 h 得到咪唑钠盐. 反应瓶中加入上一步产物对甲基苯磺酸脯氨酸酯,70 °C 反应 2 h,柱层析(洗脱剂:CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH=20 :1) 得到中心手性脯氨酸基咪唑 3,产率:1.08g,85%.

1.2.2 手性 1-(3,5-苯二甲酸甲酯甲基)-3-(2-N-Boc-吡咯甲基)咪唑溴化盐(4). N<sub>2</sub>保护下,三颈烧瓶中加入 N-Boc-L-脯氨酸基咪唑 3(0.55 g, 2.2 mmol),1.5 mL 的无水甲苯溶解后加入 5-溴甲基-1,3-间苯二甲酸甲酯(0.799 g, 2.8 mmol)50 °C 搅拌反应 12 h 后,产品以白色粉末状直接析出,抽滤得白色粉末,重结晶,得产物 4. 产率:0.9g,76.3 %.

<sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ 10.95 (s, 1H), 8.68 (t, J=1.5 Hz, 1H), 8.26 (d, J=1.3 Hz, 2H), 7.31 (s, 1H), 7.15 (s, 1H), 5.85-5.62 (m, 2H), 4.63-4.38 (m, 2H), 4.14 (dd, J=8.4, 5.5 Hz, 1H), 3.94 (s, 6H), 3.33 (d, J=6.5 Hz, 2H), 1.95-1.78 (m, 4H), 1.39 (s, 9H).

<sup>13</sup>C NMR (101 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ 165.31, 155.06, 137.95, 134.19, 133.85, 131.81, 131.46, 123.21, 121.41, 80.11, 57.04, 52.68, 52.43, 52.28, 47.06, 28.52, 28.22, 23.69.

IR (KBr, ν/cm<sup>-1</sup>): 3423, 3128, 3068, 3042, 2956, 2928, 2867, 2830, 2716, 2026, 1721, 1680, 1608, 1479, 1459, 1437, 1394, 1247, 1214, 1157, 1033, 1005, 893, 773, 752, 640, 537.

1.2.3 手性 1-(3,5-苯二甲酸甲酯甲基)-3-(2-吡咯甲基)咪唑溴化盐(5)的合成. 手性 1-(3,5-苯二甲酸甲酯甲基)-3-(2-N-Boc-吡咯甲基)咪唑溴化盐 4(0.5 g, 0.929 mmol)溶于 10 mL 乙醇,后加入浓盐酸 1 mL,回流反应 6 h,用乙酸乙酯萃取三次,旋干,乙醇和二氯甲烷重结晶,得到手性 1-(3,5-苯二甲酸甲酯甲基)-3-(2-吡咯甲基)咪唑溴化盐 5,产率:0.33 g,86.54 %.

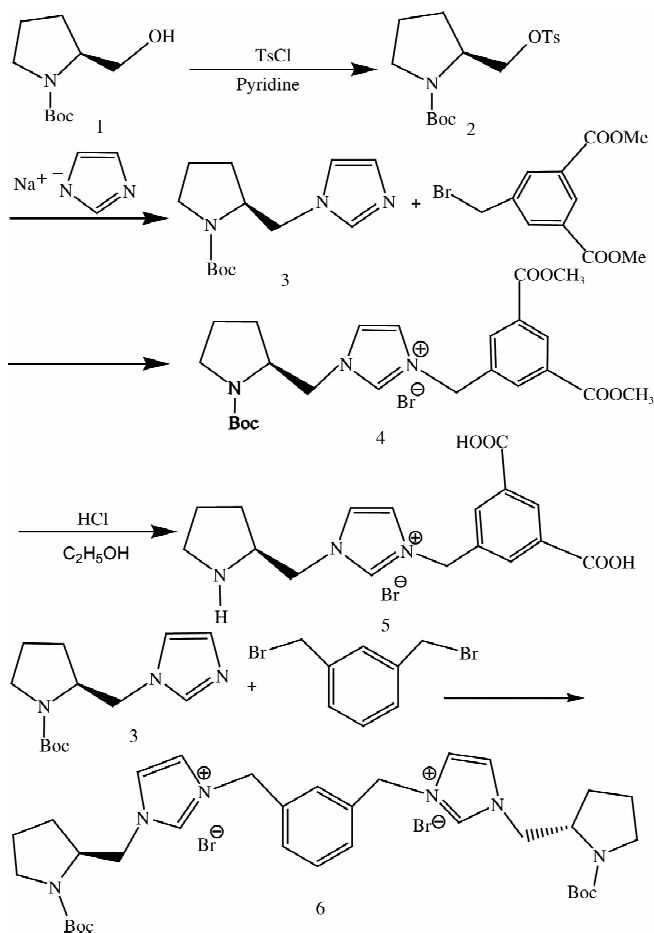


图 1 手性咪唑配体的合成路线

$^1\text{H NMR}$  (400 MHz, DMSO)  $\delta$  9.53 (s, 1H), 8.47 (s, 1H), 8.27 (s, 1H), 8.24 (s, 1H), 8.08 (d,  $J=2.8$  Hz, 2H), 5.56 (d,  $J=6.5$  Hz, 2H), 4.85-4.47 (m, 2H), 4.39-4.23 (m, 1H), 3.13 (s, 2H), 1.94 (d,  $J=31.7$  Hz, 2H), 1.69 (s, 1H), 1.33 (t,  $J=7.1$  Hz, 1H).

IR (KBr,  $\nu/\text{cm}^{-1}$ ): 3442, 2831, 2779, 2026, 1612, 1467, 1357, 1162, 1075, 917, 775, 610, 541.

1.2.4 手性 1,3-二苄基双(2-N-Boc-吡咯甲基)二咪唑溴化盐(6)的合成.  $\text{N}_2$  保护下, 加入 N-Boc-L-脯氨酸基咪唑 3 (0.308 g, 1.2 mmol), 10 mL 无水甲苯将其溶解, 加入间二溴苄 (0.203 g, 0.769 mmol), 温度  $95^\circ\text{C}$ , 反应 8 h, 得 1,3-二苄基双(2-N-Boc-吡咯甲基)二咪唑溴化盐 6, 热过滤直接得粗产品, 乙醇和正己烷重结晶提纯. 产率: 0.81 g, 88 %.

$^1\text{H NMR}$  (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  10.47 (s, 1H), 8.07 (d,  $J=34.4$  Hz, 1H), 7.56 (s, 1H), 7.16 (q,  $J=9.7$  Hz, 3H), 5.58 (s, 2H), 4.46 (dd,  $J=27.2, 22.9$  Hz, 2H), 4.12 (s, 1H), 3.29 (s, 2H), 2.34 (s, 2H), 2.24 (s, 2H), 1.38 (s, 9H).

IR (KBr,  $\nu/\text{cm}^{-1}$ ): 3435, 2974, 1686, 1561, 1453, 1394, 1250, 1166, 1105, 911, 851, 820, 752, 628, 536.

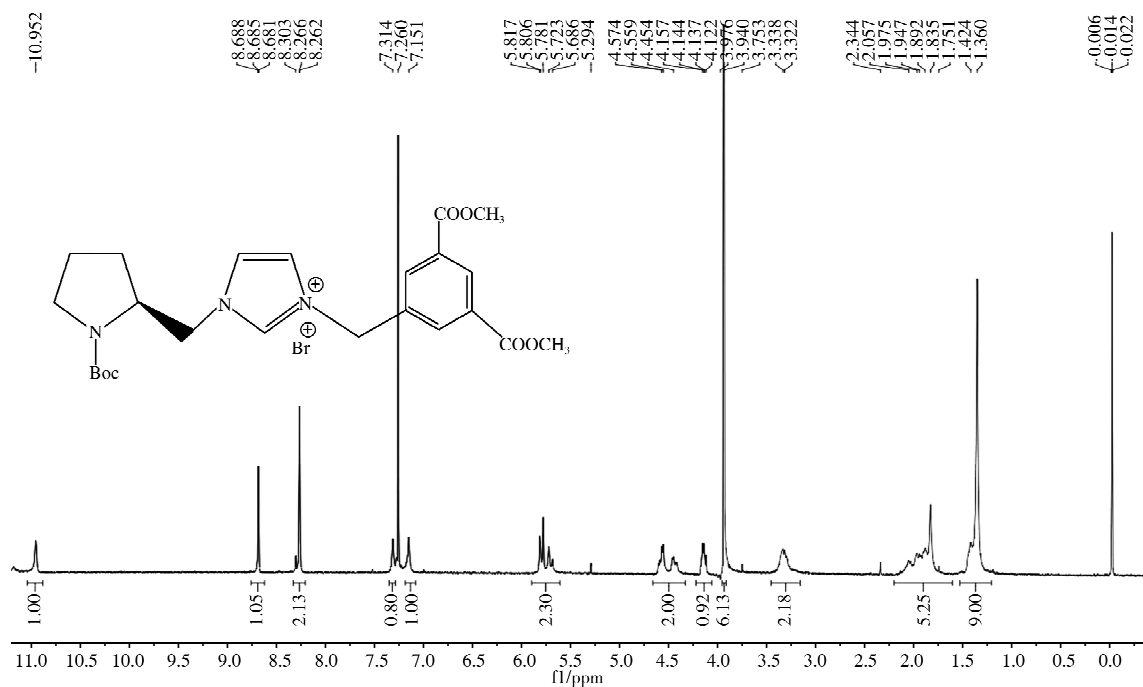


图1 化合物4的氢核磁谱图

## 2 结果与讨论

### 2.1 化合物4的合成及表征

从图1可以看出: 化学位移为 10.95 的单峰积分值为 1, 归属为咪唑上 2 号碳原子上的氢; 其化学位移说明该氢活性较高, 易和金属反应制备氮杂环卡宾金属配合物; 化学位移为 8.68 的峰为三重峰, 积分值为 1, 归属为苯环 4 位上的氢; 化学位移为 8.26 的峰为双重峰, 积分值为 2, 归属为咪唑 4, 5 位上的氢; 化学位移为 7.31 和 7.15 的峰各为单峰, 积分值均为 1, 归属为苯环 2, 6 位上的氢; 化学位移 5.85-5.62 的峰为多重峰, 积分值为 2, 归属为连接咪唑和四氢吡咯的亚甲基上的两个氢; 化学位移 4.63-4.38 的峰为多重峰, 积分值为 2, 归属为连接咪唑和苯环的亚甲基上的两个氢; 化学位移 4.14 的峰为双二重峰, 积分值为 1, 耦合常数为 8.4, 5.5 Hz, 归属为四氢吡咯 2 位上的氢; 化学位移 3.94 的峰为单峰, 积分值为 6, 归属为羧酸甲酯上的氢; 化学位移 3.33 的峰为二重峰, 积分值为 2, 耦合常数为 6.5 Hz, 归属为四氢吡咯 5 位上的氢; 化学位移 1.95-1.78 的峰为多重峰, 积分值为 4, 归属为四氢吡咯 3, 4 位上的氢; 化学位移 1.39 的峰为单重峰, 积分值为 9, BOC 上的氢。

从图 2 可以看出:化学位移 165.31 为咪唑 2 号碳;化学位移为 121.41-155.06 的范围内出现 8 个峰,可归属为咪唑环 4,5 号碳,苯环上的四个碳原子,羧酸甲酯及的羰基碳和 BOC 上的羧基碳;化学位移为 23.69-80.11 的范围内出现 9 个峰,可归属为四氢吡咯 2,3,4,5 号碳,BOC 上的叔丁基两个碳,羧酸甲酯的甲基,连接咪唑和四氢吡咯的亚甲基碳和连接咪唑和苯环的亚甲基碳.

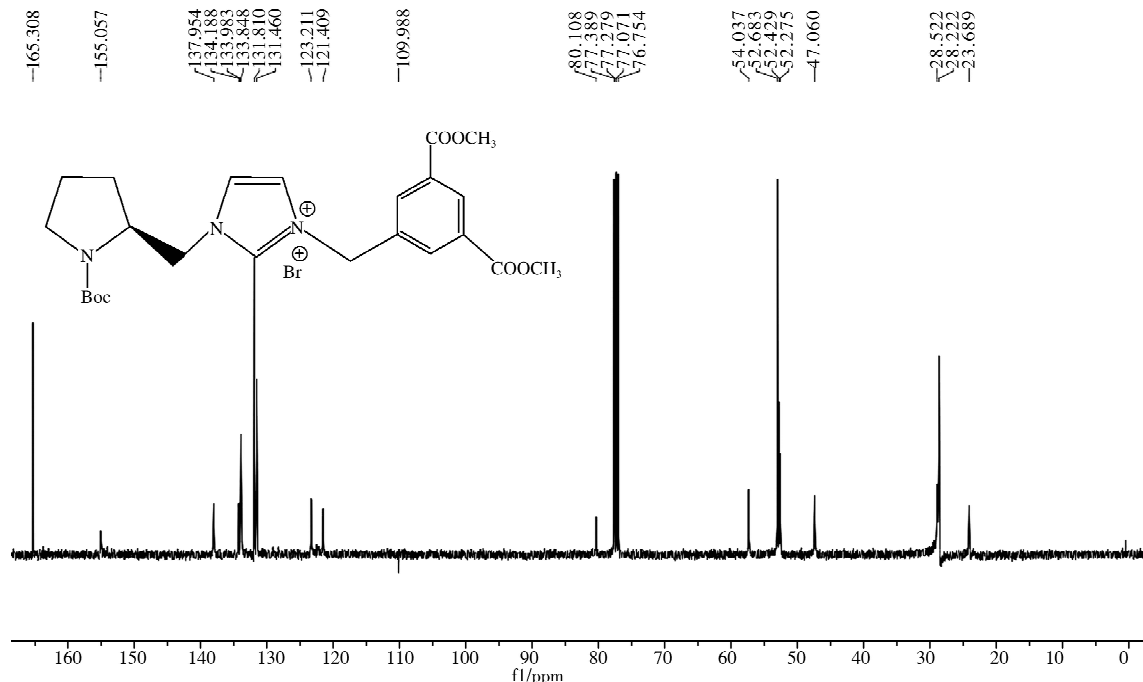


图 2 化合物 4 的碳核磁谱图

## 2.2 化合物 5 的合成及表征

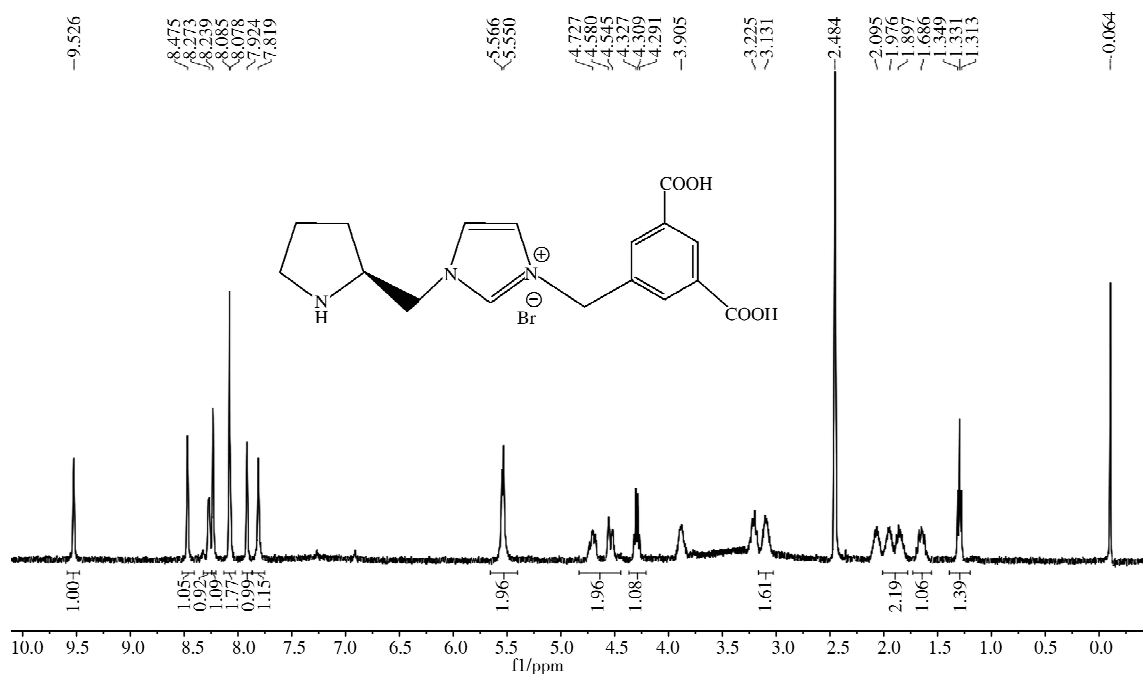


图 3 化合物 5 的氢核磁谱图

从图 3 可以看出:化学位移为 9.53 的单峰积分为 1,归属为咪唑上 2 号碳原子上的氢;其化学位移说明该氢活性变低,和金属反应制备氮杂环卡宾金属配合物需提高碱性条件;化学位移为 8.47 的峰为单峰,积分为 1,归属为苯环 4 位上的氢;化学位移为 8.27 和 8.24 的峰各为单峰,积分值均为 1,归属为苯环 2,6 位上的氢;化学位移为 8.08 的峰为双重峰,耦合常数为 2.8 Hz,积分为 2,归属为咪唑 4,5 位上的氢;化学

位移 5.56 的峰为双二重峰,积分值为 2,耦合常数为 6.5 Hz,归属为连接咪唑和四氢吡咯的亚甲基上的两个氢;化学位移 4.85-4.47 的峰为多重峰,积分值为 2,归属为连接咪唑和苯环的亚甲基上的两个氢;化学位移 4.39-4.23 的峰为多重峰,积分值为 1,归属为四氢吡咯 2 位上的氢;化学位移 3.13 的峰为单峰,积分值为 2,归属为四氢吡咯 4 位上的氢;化学位移 1.94 的峰为二重峰,积分值为 2,耦合常数为 31.7 Hz,归属为四氢吡咯 4 位上的氢;化学位移 1.69 的峰为单峰,积分值为 1,归属为四氢吡咯 3 位上的氢;化学位移 1.33 的峰为三重峰,积分值为 1,归属为四氢吡咯 3 位上的氢。

### 2.3 化合物 6 的合成及表征

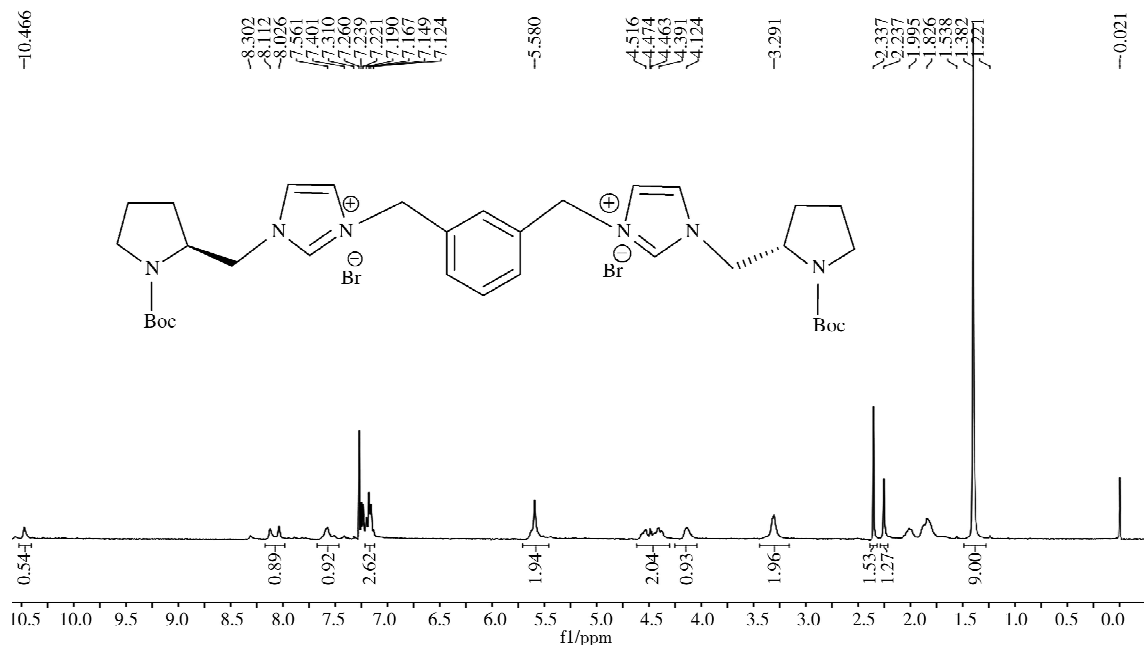


图4 化合物 6 的氢核磁谱图

从图 4 可以看出:化学位移为 10.47 的单峰积分值为 1,归属为咪唑上 2 号碳原子上的一个氢;其化学位移说明该氢活性较高,易与金属反应制备氮杂环卡宾金属配合物;化学位移为 8.07 的峰为双峰,积分值为 1,归属为咪唑环 4 位上的氢;化学位移为 7.56 的峰为单峰,积分值均为 1,归属为咪唑 5 位上的氢;化学位移为 7.16 的峰为多重峰,积分面积为 3,归属为苯环 2,4,5 位上的氢;化学位移 5.58 的峰为单峰,积分值为 2,归属为连接咪唑和四氢吡咯的亚甲基上的两个氢;化学位移 4.46 的峰为双二重峰,积分值为 2,耦合常数为 27.2、22.9 Hz,归属为连接咪唑和苯环的亚甲基上的两个氢;化学位移 4.12 的峰为单峰,积分值为 1,归属为四氢吡咯 2 位上的氢;化学位移 3.29 的峰为单峰,积分值为 2,归属为四氢吡咯 5 位上的氢;化学位移 2.34 的峰为单峰,积分值为 2,归属为四氢吡咯 3 位上的氢;化学位移 2.24 的峰为单峰,积分值为 2,归属为四氢吡咯 4 位上的氢;化学位移 1.38 的峰为单峰,积分值为 9,归属为 BOC 上的氢。

### 2.4 形成金属配合物的讨论比较

合成卡宾金属配合物的方法有:(1)加强碱先制备氮杂环卡宾再加入金属源直接反应制备卡宾金属配合物;(2)先制备成卡宾银配合物再交换为其它过渡金属的氮杂环卡宾配合物.我们采用方法 1,金属源采用双乙腈二氯化钯制备氮杂环卡宾钯的金属配合物.结果发现有金属卡宾钯配合物生成,但副产物较多且结构较复杂,所以无法对其结构进行确定.我们通过分析卡宾前体 4-6 的结构<sup>[20-22]</sup>,其能形成卡宾钯配合物,但是由于配位点较多,如吡咯 N,羧酸根(图 5)等,配体的结构多样性造成了配合物合成的复杂性.所以报道的三种新型手性咪唑配体形成卡宾金属配合物仍需从反应方法,金属源选择等方面进行调节,这部分工作我们课题组正在进行.

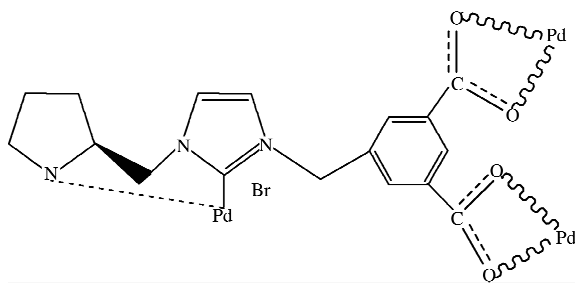


图5 氮杂环卡宾钯配合物结构分析

我们采用方法 1,金属源采用双乙腈二氯化钯制备氮杂环卡宾钯的金属配合物.结果发现有金属卡宾钯配合物生成,但副产物较多且结构较复杂,所以无法对其结构进行确定.我们通过分析卡宾前体 4-6 的结构<sup>[20-22]</sup>,其能形成卡宾钯配合物,但是由于配位点较多,如吡咯 N,羧酸根(图 5)等,配体的结构多样性造成了配合物合成的复杂性.所以报道的三种新型手性咪唑配体形成卡宾金属配合物仍需从反应方法,金属源选择等方面进行调节,这部分工作我们课题组正在进行.

### 3 结语

本文以中心手性 N-Boc-L-脯氨酸为原料合成了三种新型的卡宾前体:手性 1-(3,5-苯二甲酸甲酯甲基)-3-(2-N-Boc-吡咯甲基)咪唑溴化盐,手性 1-(3,5-苯二甲酸甲基)-3-(2-吡咯甲基)咪唑溴化盐和 1,3-二苄基双(2-N-Boc-吡咯甲基)二咪唑溴化盐,并通过核磁共振谱图进行了表征. 磁共振结果表明,该类化合物可与金属配位形成新型的卡宾金属配合物. 其卡宾金属配合物制备及应用研究正在进行中.

### 参 考 文 献

- [1] Trnka T M, Grubbs R H. The development of  $L_2X_2Ru=CHR$  olefin metathesis catalysts: an organometallic success story[J]. *Acc Chem Res*, 2001, 34: 18-29.
- [2] Grubbs R H. Olefin-metathesis catalysts for the preparation of molecules and materials (Nobel Lecture)[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2006, 45: 3760-3765.
- [3] Schrock R R. Multiple metal-carbon bonds for catalytic metathesis reactions (Nobel Lecture)[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2006, 45: 3748-3759.
- [4] Moerdyk J. Q&A: A sustainable chemist[J]. *Nature*, 2013, 502: S59.
- [5] Arduengo III A J, Kline M A. Stable crystalline carbene[J]. *J Am Chem Soc*, 1991, 113: 361-363.
- [6] Bohm V P, Herrmann W A. The "wanzlick equilibrium"[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2000, 39: 4036-4038.
- [7] Herrmann W A, Kocher C. N-heterocyclic carbenes[J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1997, 36: 2162-2187.
- [8] Herrmann W A. N-heterocyclic carbenes: a new concept in organometallic catalysis[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2002, 40: 1290-1309.
- [9] Huang J, Nolan S P. Efficient cross-coupling of aryl chlorides with aryl Grignard reagents (Kumada reaction) mediated by a palladium/imidazolium chloride system[J]. *J Am Chem Soc*, 1999, 121: 9889-9890.
- [10] Navarro O, Nolan S P. Cross-coupling and dehalogenation reactions catalyzed by (N-heterocyclic carbene) Pd (allyl) Cl complexes[J]. *J Org Chem*, 2004, 69: 3173-3180.
- [11] Hong S H, Grubbs R H. Decomposition of a key intermediate in ruthenium-catalyzed olefin metathesis reactions[J]. *J Am Chem Soc*, 2004, 126: 7414-7415.
- [12] Veldhuizen J J V, Garber S B, Kingsbury J S, et al. A recyclable chiral Ru catalyst for enantioselective olefin metathesis. Efficient catalytic asymmetric ring-opening/cross metathesis in air[J]. *J Am Chem Soc*, 2002, 124: 4954-4955.
- [13] Veldhuizen J J V, Gillingham D G, Garber S B, et al. Chiral Ru-based complexes for asymmetric olefin metathesis: Enhancement of catalyst activity through steric and electronic modifications[J]. *J Am Chem Soc*, 2003, 125: 12502-12508.
- [14] Enders D, Niemeier O, Nieseler A. Organocatalysis by N-heterocyclic carbenes[J]. *Chem Rev*, 2007, 107: 5606-5655.
- [15] Xin D Y, Ma Y D, He F Y. Synthesis of new planar chiral [2.2]paracyclophane Schiff base ligands and their application in the asymmetric Henry reaction[J]. *Tetrahedron: Asymmetry*, 2010, 21: 333-338.
- [16] Liu Q, Perreault S, Rovis T. Catalytic asymmetric intermolecular Stetter reaction of glyoxamides with alkylidenemalonates [J]. *J Am Chem Soc*, 2008, 130: 14066-14067.
- [17] DiRocco D A, Rovis T. Catalytic asymmetric intermolecular Stetter reaction of enals with nitroalkenes: enhancement of catalytic efficiency through bifunctional additives[J]. *J Am Chem Soc*, 2011, 133: 10402-10405.
- [18] Luo S Z, Mi X L, Zhang L, et al. Functionalized chiral ionic liquids as highly efficient asymmetric organocatalysts for Michael addition to nitroolefins[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2006, 45: 3093-3097.
- [19] Li P H, Wang L, Wang M, et al. Polymer-immobilized pyrrolidine-based chiral ionic liquids as recyclable organocatalysts for asymmetric Michael additions to nitrostyrenes under solvent-free reaction conditions[J]. *Eur J Org Chem*, 2008, 11: 1157-1160.
- [20] Dang D B, Wu P Y, He C, et al. Homochiral metal-organic frameworks for heterogeneous asymmetric catalysis[J]. *J Am Chem Soc*, 2010, 132: 14321-14323.
- [21] Duan W Z, Ma Y D, Huo Y M, et al. Crystal structure studies towards the synthesis and applications of N-heterocyclic carbene-metal complexes derived from [2.2]paracyclophane[J]. *Aust J Chem*, 2015, 68: 1472-1478.
- [22] Duan W Z, Sun Z F, Huo Y M, et al. NHC-Pd complex based on 1,3-bis(4-ethoxycarbonylphenyl) imidazolium chloride: synthesis, structure and catalytic activity in the synthesis of axially chiral benzophenone hydrazone[J]. *Appl Organometal Chem*, 2018, e4444: 1-6.

# The Synthesis of Chiral Imidazole Ligands Based on Chiral L-Prolinol

HUO Yan-min SUN Zhao-feng LIU Yan-ke YAO Qing-xia

GONG Shu-wen DUAN Wen-zeng

(Institute of Functional Organic Molecules and Materials, School of Chemistry and Chemical Engineering,  
Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

**Abstract** Using N-Boc-L-prolinol as material, we synthesized three chiral NHC precursors: chiral 1-(dimethyl-3,5-benzenedicarboxylate)-3-(2-N-Boc-pyrrolidinylmethyl)imidazolium bromide, chiral 1-(1,3-phthalic acid)-3-(2-pyrrolidinylmethyl)imidazolium bromide and 1,3-dibenzyl-di(2-N-Boc-pyrrolidinylmethyl)diimidazolium bromide. These ligands were all characterized by  $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR and then the preparing of NHC-Pd were also explored.

**Key words** L-(+)-prolinol; imidazolium bromide; NHC-Pd.

(上接第 13 页)

## Research on Integrated Virtual Optical Network Embedding Scheme on Network Resource Virtualization

SUN Qing<sup>1</sup> ZHU Min<sup>2</sup> LI Gui-xin<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract** Optical network virtualization can provide a dedicated virtual optical network (VON) for high-performance network application, and can provide an effective mechanism for resource sharing. In this paper, we first proposed a novel integrated virtual optical network embedding (iVONE) scheme, where the node mapping and link mapping are performed in an integrated way. It is completely different from all existing two-phased VONE schemes, where the node mapping is performed before the link mapping. In addition, over resource-virtualized elastic optical networks (EONs), a novel routing, spectrum, subcarrier and modulator allocation (RMS<sup>2</sup>A) algorithm is designed to establish lightpaths for the virtual link mapping. The simulation demonstrates that our proposed iVONE algorithm has better performance than the existing two-phased VONE algorithm and the influence factors on network performance are also been studied.

**Key words** elastic optical networks; network resource virtualization; virtual optical network embedding