

侧链带有 L-氨基酸乙酯的螺旋聚苯乙炔衍生物的 手性识别能力研究*

张春红^{1,2**} 王海伦¹ 刘方彬¹ 沈贤德¹ 刘立佳¹
堺井亮介³ 佐藤敏文⁴ 觉知豊次⁴ 岡本佳男^{1,5}

(¹哈尔滨工程大学材料科学与化学工程学院高分子材料研究中心 哈尔滨 150001)

(²哈尔滨工程大学 超轻材料与表面技术教育部重点实验室 哈尔滨 150001)

(³日本旭川工业高等专门学校物质化学工学科 旭川 071-8142)

(⁴日本北海道大学工学研究院 札幌 060-8628)

(⁵日本名古屋大学 名古屋 464-8603)

摘 要 采用 Rh(nbd)BPh₄ 催化剂合成了 3 种侧链带有 L-氨基酸乙酯的螺旋聚苯乙炔衍生物 PPA-S-Phe、PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu, 并将其涂覆在氨丙基硅胶上制备高效液相色谱(HPLC)手性固定相(CSP), 研究其对 7 种对映体的手性识别能力. 由于侧链手性基团或主链与手性基团之间的链接基团不同, PPA-S-Phe、PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 形成了不同的螺旋构象, 并表现出对对映体不同的手性识别能力. PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 的主链与手性基团之间的链接基团均为磺酰胺基, 侧链手性基团为 L-亮氨酸乙酯的 PPA-S-Leu 的手性识别能力优于侧链手性基团为 L-苯丙氨酸乙酯的 PPA-S-Phe. PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 的侧链手性基团均为 L-亮氨酸乙酯, 以酰胺基为链接基团的 PPA-A-Leu 的手性识别能力明显优于以磺酰胺基为链接基团的 PPA-S-Leu. 螺旋聚苯乙炔主链与侧链手性基团之间的链接基团、侧链手性基团在手性识别中均发挥十分着重要作用.

关键词 聚苯乙炔衍生物, 螺旋构象, 手性侧链, 链接基团, 高效液相色谱, 手性识别

对映体的识别与拆分对于生命科学和药物化学研究以及人类的健康具有十分重要的意义. 在对映体拆分的诸多方法中, 高效液相色谱(HPLC)法以其操作简单、条件温和等优点, 被公认为最有效的手段^[1,2]. 高效液相色谱法手性拆分的关键在于手性固定相(CSPs)的手性识别能力, 设计与开发具有较高手性识别能力的新型手性固定相是目前该领域研究的热点, 其中改性天然高分子手性固定相报道较多, 主要以多糖类(包括纤维素、淀粉和环糊精等)苯基氨基甲酸酯或苯甲酸酯衍生物为手性固定相为主^[3-7]. 对于合成聚合物的研究报道较少, 主要涉及聚(甲基)丙烯酸酯类^[8,9]、聚甲基丙烯酸酯类^[10]、聚苯乙炔类^[11-13]和聚异氰酸酯类^[14]等.

带有官能化基团的苯乙炔在铑系催化剂作用

下聚合制备的螺旋聚苯乙炔衍生物, 可通过非共价键作用而具有一定手性识别能力^[15,16]. 但目前聚苯乙炔衍生物在手性体拆分领域的研究报道十分有限. 据报道带有手性氨基甲酰基的螺旋聚苯乙炔具有一定的手性识别能力, 拆分了 Tröger 碱衍生物、螺吡喃衍生物等^[11,12]. 最近, Yashima 等^[13]研究了带有金鸡纳碱的螺旋聚苯乙炔的手性识别性能, 结果表明其手性识别能力主要受金鸡纳碱所诱导的聚合物主链的螺旋性影响.

关于带有手性侧链的螺旋聚苯乙炔, 我们曾经报道了其作为阴离子选择器的分子识别性能^[17-19]. 本文采用 Rh(nbd)BPh₄ 催化剂合成了 3 种侧链带有 L-氨基酸乙酯的螺旋聚苯乙炔衍生物 PPA-S-Phe, PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu, 制备涂覆型高效液相色谱手性固定相, 研究其对 7 种对

* 不对称聚合与手性高分子材料专题报道; 2013-01-31 收稿, 2013-02-17 修稿; 中央高校基本科研业务费专项资金(项目号 HEUCFT1009, HEUCF20131009, HEUCF201310003, HEUCFR1227)、教育部留学回国人员科研启动金(项目号 20111568)、黑龙江省自然科学基金(基金号 B201013)和哈尔滨市科技创新人才研究专项资金(项目号 2012RFLXG001)资助项目.

** 通讯联系人, E-mail: zhangchunhong97@163.com

映体的手性识别能力,探讨螺旋聚苯乙炔主链与侧链手性基团之间的链接基团、侧链手性基团对手性识别性能的影响。

1 实验部分

1.1 实验材料

三甲基硅乙炔,西格玛奥德里奇(Sigma-Aldrich)有限公司;碘化亚铜(CuI),日本纯正化学有限公司;二(三苯基膦)二氯化钯($\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$),日本东京化成工业有限公司(TCI);4-碘苯甲酸乙酯、4-碘苯磺酰氯,日本东京化成工业有限公司(TCI);L-亮氨酸、L-苯丙氨酸,纯度99%,百灵威科技有限公司;4-(4,6-二甲氧基三嗪)-4-甲基吗啉盐酸盐(DMT-MM),纯度98%,日本东京化成工业有限公司(TCI);二环[2.2.1]-2,5-庚二烯氯化铑二聚体($[\text{Rh}(\text{nbd})\text{Cl}]_2$),纯度96%,西格玛奥德里奇(Sigma-Aldrich)化学有限公司;NaOH,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;合成所用的溶剂均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司,使用前经干燥、蒸馏处理;大孔氨丙基硅胶,粒径为7 μm ,孔径为100 nm,日本Daiso化学株式会社;高效液相色谱(HPLC)测试所用正己烷和异丙醇,色谱纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;使用的对映体为市售商品。

1.2 $\text{Rh}(\text{nbd})\text{BPh}_4$ 的合成

采用文献报道的方法合成苯乙炔衍生物聚合用催化剂 $\text{Rh}^+(2,5\text{-norbornadiene})[(\eta^6\text{-C}_6\text{H}_5)_3\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_3](\text{Rh}(\text{nbd})\text{BPh}_4)^{[20]}$ 。

1.3 螺旋聚苯乙炔手性固定相的合成

利用酯化反应、磺酰胺化反应、Sonagashira偶联反应、消去反应分别合成以磺酰胺基为链接基团的带有L-苯丙氨酸乙酯和L-亮氨酸乙酯的苯乙炔衍生物PA-S-Phe和PA-S-Leu,利用Sonagashira偶联反应、消去反应、酯化反应、酰胺化反应合成以酰胺基为链接基团的带有L-亮氨酸乙酯的苯乙炔衍生物PA-A-Leu,并在 $\text{Rh}(\text{nbd})\text{BPh}_4$ 催化剂的作用下分别实现3种苯乙炔衍生物的聚合,合成聚苯乙炔衍生物PPA-S-Phe, PPA-S-Leu和PPA-A-Leu^[17,18]。

1.4 HPLC手性色谱柱的制备

分别称取聚苯乙炔衍生物PPA-S-Phe, PPA-S-Leu和PPA-A-Leu,溶于涂覆溶剂中,并涂覆于大孔氨丙基硅胶表面,真空旋转蒸发除去溶剂。聚苯乙炔衍生物与硅胶的质量比为1/4。涂覆后的

硅胶作为色谱柱填充材料,以正己烷/异丙醇(95/5, V/V)为匀浆液和顶替液,采用匀浆法装柱,色谱柱规格为25 cm $\times$ 0.20 cm (ID)。

1.5 测试与表征

采用BRUKER公司生产的AV500型核磁共振波谱仪对中间产物及产物的结构进行表征分析;采用JASCO公司生产的PU-980型凝胶渗透色谱仪测试聚苯乙炔衍生物的分子量及分子量分布,测试溶剂为DMF(0.01 mol/L LiCl);采用日本JASCO公司J-815型圆二色光谱仪测试聚苯乙炔衍生物的圆振二向色性(CD光谱)和紫外可见光光谱(UV-Vis);色谱系统包括高效液相色谱(HPLC)工作站(日本JASCO公司),配置JASCO 970-UV紫外-可见检测器和JASCO CD-2095检测器。色谱分离在室温下进行,检测波长为254 nm。以正己烷/异丙醇(95/5, V/V)为流动相,流速为0.1 mL/min,经超声脱气后使用。分别用苯和1,3,5-三叔丁基苯测定色谱柱的柱效和死时间(t_0)。

2 结果与讨论

2.1 螺旋聚苯乙炔衍生物的合成与表征

利用Sonagashira偶联反应、消去反应、酯化反应、酰胺化反应、磺酰胺化反应等合成以磺酰胺基或酰胺基为链接基团的含有L-苯丙氨酸乙酯或L-亮氨酸乙酯的苯乙炔衍生物,并在 $\text{Rh}(\text{nbd})\text{BPh}_4$ 催化剂的作用下实现聚合,合成聚苯乙炔衍生物PPA-S-Phe, PPA-S-Leu和PPA-A-Leu,其结构式见图1。

由图1可知,PPA-S-Phe和PPA-S-Leu的不同之处在于侧链手性基团分别为L-苯丙氨酸乙酯和L-亮氨酸乙酯;PPA-S-Leu和PPA-A-Leu的不同之处在于聚苯乙炔主链和侧链手性基团之间的链接基团不同,PPA-S-Leu的链接基团为磺酰胺基,PPA-A-Leu的链接基团为酰胺基。PPA-S-Phe, PPA-S-Leu和PPA-A-Leu的¹H-NMR谱图见图2,3种聚合物分别在 $\delta = 5.54, 5.61$ 和 5.98 处出现了顺式聚苯乙炔主链的特征峰,表明这3种聚合物均为顺式构型^[17,18]。聚苯乙炔主链上烯烃质子的化学位移主要受两种因素影响,一是苯环对位取代基的电子效应,一是空间位阻因素,即烯烃质子与苯环的相对位置。对于PPA-S-Phe, PPA-S-Leu和PPA-A-Leu,空间位阻因素起主导作用。空间位阻因素主要与对位取代基之间的相互作用及

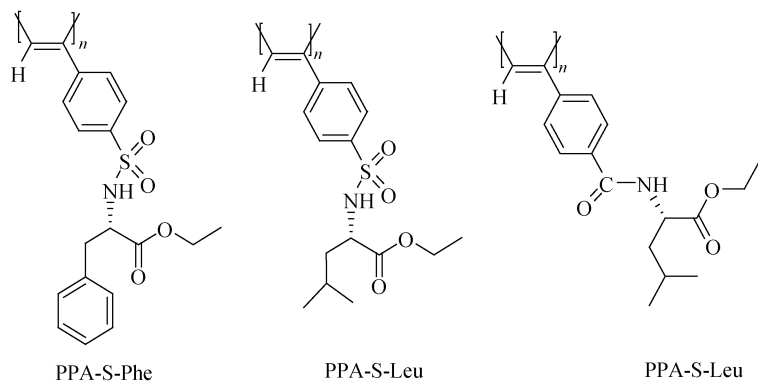


Fig. 1 Structures of helical PPA-S-Phe, PPA-S-Leu and PPA-A-Leu

受此影响的主链构象有关, PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 的苯环对位取代基均为磺酰胺基, 其空间位阻效应较为相似, 故二者烯烃质子的化学位移比较接近; PPA-A-Leu 的苯环对位取代基为酰胺基, 其相互作用与磺酰胺基有所不同, 导致 PPA-A-Leu 与 PPA-S-Phe, PPA-S-Leu 的空间位阻效应不同, 因而 PPA-A-Leu 烯烃上质子要比 PPA-S-Phe、PPA-S-Leu 烯烃上质子化学位移向低场移动较多. 3 种聚合物的分子量与分子量分布的结果如下: PPA-S-Phe, $M_n = 1.0 \times 10^5$, $M_w/M_n = 2.4$; PPA-S-Leu, $M_n = 1.3 \times 10^5$, $M_w/M_n = 2.6$; PPA-A-Leu, $M_n = 6.5 \times 10^4$, $M_w/M_n = 6.5$.

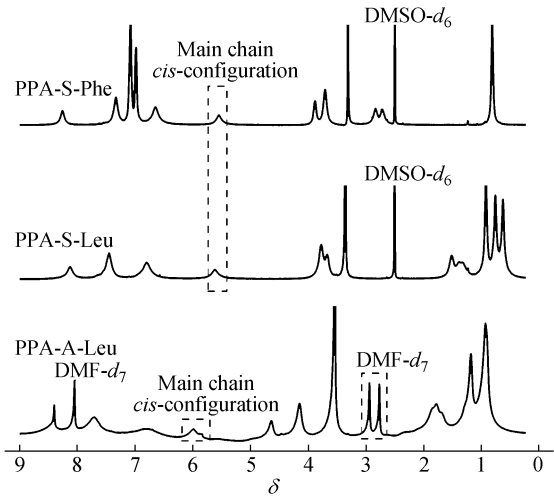


Fig. 2 ^1H -NMR spectra of PPA-S-Phe in $\text{DMSO}-d_6$ (upper), PPA-S-Leu (middle) in $\text{DMSO}-d_6$ and PPA-A-Leu in $\text{DMF}-d_7$ (lower)

由于 PPA-S-Phe, PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 的侧链均具有手性, 预见这 3 种聚苯乙炔衍生物的主链会形成螺旋构象. 采用 CD 光谱分析 PPA-S-Phe, PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 的主链构象, 图 3

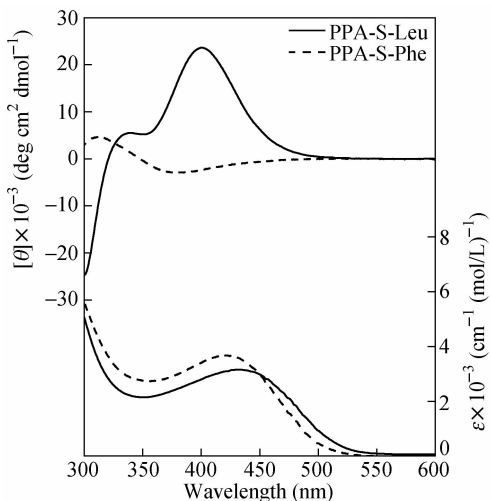


Fig. 3 UV-Vis (lower) and CD (upper) spectra of PPA-S-Phe (dashed) and PPA-S-Leu (solid) in CHCl_3 ($c = 1 \text{ mg/mL}$) at 25°C

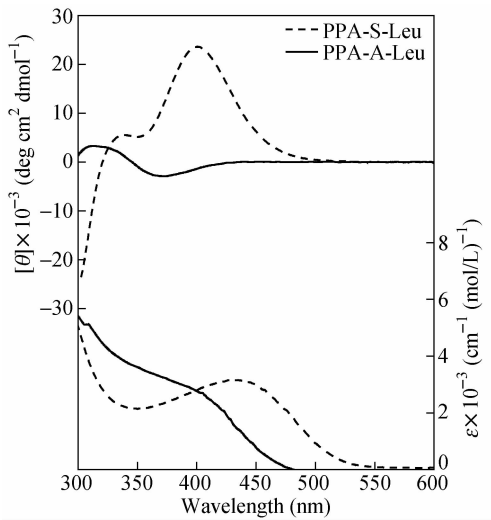


Fig. 4 UV-Vis (lower) and CD (upper) spectra of PPA-S-Leu (dashed) in CHCl_3 ($c = 1 \text{ mg/mL}$) and PPA-A-Leu (solid) in MeOH/CHCl_3 (3/7, V/V) ($c = 1 \text{ mg/mL}$) at 25°C

是 PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 在 CHCl_3 中的 CD 和 UV-Vis 光谱,图 4 是 PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 分别在 CHCl_3 和 $\text{MeOH}/\text{CHCl}_3$ (3/7, V/V) 中的 CD 和 UV-Vis 光谱.3 种聚合物在 300 ~ 600 nm 的范围内均出现了 Cotton 效应,苯乙炔单体在 300 nm 以上的区域没有 CD 信号,这些强烈的 Cotton 效应一定是聚苯乙炔主链所产生的,因此 PPA-S-Phe,PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 的主链确实形成了螺旋构象^[17].但三者 Cotton 效应的方向和位置明显不同,PPA-S-Phe 的 Cotton 效应出现在 312 nm (+) 和 378 nm (-) 处,PPA-S-Leu 的 Cotton 效应出现在 335 nm (+) 和 400 nm (+) 处,PPA-A-Leu 的 Cotton 效应出现在 316 nm (+) 和 369 nm (-) 处.由图 1 可知,PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 化学组成的差别仅在于侧链手性基团不同,二者 Cotton 效应的明显不同说明侧链手性基团对诱导聚苯乙炔主链螺旋构象具有重要影响;PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 化学组成的差别仅在于主链和侧链手性基团之间的链接基团不同,二者 Cotton 效应的明显不同说明链接基团对诱导聚苯乙炔主链螺旋构象同样具有重要影响.

2.2 螺旋聚苯乙炔衍生物的手性识别能力研究

将所合成的 3 种螺旋聚苯乙炔衍生物 (PPA-S-Phe,PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu) 分别涂覆于大孔硅胶上,制备手性固定相,并填充色谱柱.采用高效液相色谱对其手性识别能力进行评价,结果见表 1,对映体的结构见图 5.

从表 1 可知,3 种螺旋聚苯乙炔衍生物具有不同的手性识别能力.对比以磺酰胺基为链接基团的 PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 的拆分结果,发现 2 种聚合物对同一种对映体的容量因子 (k'_1) 有所不同,说明这 2 种聚合物与同一种手性化合物的相互作用不同,PPA-S-Leu 具有较高的手性识别能力,实现了 1 号对映体的有效拆分,色谱拆分图见图 6. PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 二者化学组成的差别仅为侧链手性基团不同,由前述 CD 光谱的分析可知,聚苯乙炔衍生物侧链上不同的手性基团诱导聚合物主链形成了不同的螺旋构象,侧链手性基团的不同以及聚苯乙炔主链螺旋构象的不同是导致手性识别能力不同的主要原因.对于以磺酰胺基为链接基团的 PPA-S-Phe 和 PPA-S-Leu 而言,侧链手性基团为 L-亮氨酸乙酯的 PPA-S-Leu 具有较好的手性识别能力.

Table 1 Resolution of racemates on PPA-S-Phe,PPA-S-Leu and PPA-A-Leu

Racemates	PPA-S-Phe ^a		PPA-S-Leu ^a		PPA-A-Leu ^b	
	k'_1	α	k'_1	α	k'_1	α
1	0.49 (-)	~ 1	0.43 (-)	1.40	0.33 (+)	1.26
2	0.22 (+)	~ 1	0.18 (+)	~ 1	0.31 (+)	2.19
3	2.06 (+)	~ 1	1.49 (+)	~ 1	0.70 (+)	1.25
4	0.53	1.00	0.46	1.00	0.78 (-)	1.13
5	2.36	1.00	2.01	1.00	5.55 (-)	1.15
6	0.22 (+)	~ 1	0.31 (+)	~ 1	0.38	1.00
7	0.84	1.00	0.49	1.00	0.85 (+)	1.12

^a Column; 25 × 0.20 cm (i, d); Flow rate; 0.1 mL/min; Eluent; hexane/2-propanol (95/5, V/V); Coating solvent; CHCl_3 ; ^b Data taken from Ref. [21], Coating solvent; $\text{MeOH}/\text{CHCl}_3$ (3/7, V/V)

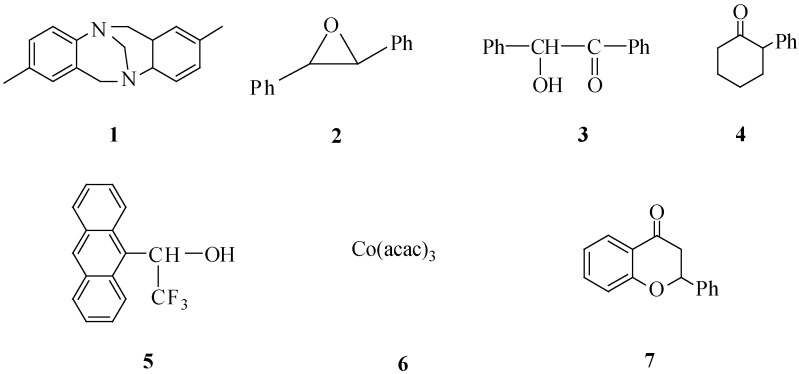


Fig. 5 Structures of racemates 1 ~ 7

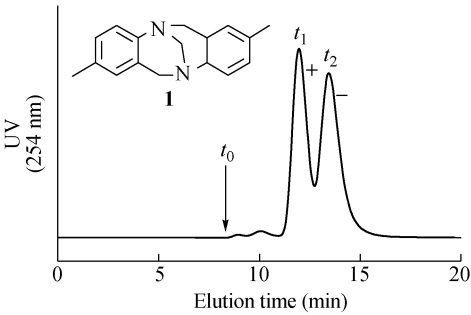


Fig. 6 Chromatogram for the resolution of *rac*-1 on PPA-S-Leu with hexane/2-propanol (95/5, V/V) as eluent

对比侧链手性基团为 L-亮氨酸乙酯的 PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 的拆分结果,发现虽然二者侧链具有相同的手性基团,但手性识别能力却明显不同.分析其中的原因,主要是由于主链和手性侧链之间的链接基团不同.根据前述 CD 光谱分析,链接基团的不同导致了主链螺旋构象的不同,从而对手性识别产生重要的影响.对于侧链手性基团为 L-亮氨酸乙酯的 PPA-S-Leu 和 PPA-A-Leu 而言,以酰胺基为链接基团的 PPA-A-Leu 具有较高的

手性识别能力.所测试的 7 种对映体中,以酰胺基为链接基团的 PPA-A-Leu 实现了除 6 号对映体外的 6 种对映体的有效拆分,尤其是对于 2 号对映体实现了基线分离,分离因子(α)可达 2.19^[21].

综上分析,螺旋聚苯乙炔类手性固定相在手性化合物分离领域具有较好的发展潜力与良好的应用前景.

3 结论

侧链手性基团以及主链与侧链手性基团之间的链接基团不同,对螺旋聚苯乙炔类手性固定相的手性识别能力具有明显影响.链接基团为磺酰胺基时,侧链手性基团为 L-亮氨酸乙酯的 PPA-S-Leu 的手性识别能力优于侧链手性基团为 L-苯丙氨酸乙酯的 PPA-S-Phe.侧链手性基团为 L-亮氨酸乙酯时,以酰胺基为链接基团的 PPA-A-Leu 的手性识别能力明显优于以磺酰胺基为链接基团的 PPA-S-Leu.螺旋聚苯乙炔主链与侧链手性基团之间的链接基团、侧链手性基团在手性识别中均发挥重要的作用.

REFERENCES

1 Chen Liren (陈立仁). Chiral Separation by Liquid Chromatography (液相色谱手性分离). Beijing (北京): Science Press (科学出版社), 2006. 1 ~ 5

2 Maier N M, Franco P, Lindner W. J Chromatogr A, 2001, 906: 3 ~ 33

3 Ikai T, Okamoto Y. Chem Rev, 2009, 109: 6077 ~ 6101

4 Okamoto Y, Ikai T. Chem Soc Rev, 2008, 37: 2593 ~ 2608

5 Stringham R W. Adv Chromatogr, 2006, 44: 257 ~ 290

6 Okamoto Y, Ikai T, Shen J. Isr J Chem, 2011, 51: 1096 ~ 1106

7 Lai X, Tang W, Ng S C. J Chromatogr A, 2011, 1218: 3496 ~ 3501

8 Morioka K, Suito Y, Isobe Y, Habaue S, Okamoto Y. J Polym Sci, Part A: Polym Chem, 2003, 41: 3354 ~ 3360

9 Liu Guangxuan (刘光垣), Lu Wei (路伟), Jiang Liming (江黎明), Sun weilin (孙维林), Shen Zhiquan (沈之荃), Wang Yukang (王玉康). Acta Polymerica Sinica (高分子学报), 2009, (8): 775 ~ 780

10 Yuki H, Okamoto Y, Okamoto I. J Am Chem Soc, 1980, 102: 6356 ~ 6358

11 Yashima E, Huang S, Okamoto Y. J Chem Soc, Chem Commun, 1994, 6: 1881 ~ 1882

12 Yashima E, Matsushima T, Nimura T, Okamoto Y. Korea Polym J, 1996, 4: 139 ~ 146

13 Naito Y, Tang Z, Iida H, Miyabe T, Yashima E. Chem Lett, 2012, 41: 809 ~ 811

14 Miyabe T, Iida H, Ohnishi A, Yashima E. Chem Sci, 2012, 3: 863 ~ 867

15 Teraguchi M, Suzuki J, Kaneko T, Aoki T, Masuda T. Macromolecules, 2003, 36: 9694 ~ 9697

16 Kakuchi R, Nagata S, Sakai R, Otsuka I, Nakade H, Satoh T, Kakuchi T. Chem Eur J, 2008, 14: 10259 ~ 10266

17 Kakuchi R, Nagata S, Tago Y, Sakai R, Otsuka I, Satoh T, Kakuchi T. Macromolecules, 2009, 42: 1476 ~ 1481

18 Kakuchi R, Shimada R, Tago Y, Sakai R, Satoh T, Kakuchi T. J Polym Sci, Part A: Polym Chem, 2010, 48: 1683 ~ 1689

19 Kakuchi R, Kodama T, Shimada R, Tago Y, Sakai R, Satoh T, Kakuchi T. Macromolecules, 2009, 42: 3892 ~ 3897

20 Kishimoto Y, Itou M, Miyatake T, Ikariya T, Noyori R. Macromolecules, 1995, 28: 6662 ~ 6666

21 Zhang C, Liu F, Li Y, Shen X, Xu X, Sakai R, Satoh T, Kakuchi T, Okamoto Y. J Polym Sci, Part A: Polym Chem, DOI: 10. 1002/pola. 26611

CHIRAL RECOGNITION OF HELICAL POLY(PHENYLACETYLENE) DERIVATIVES BEARING L-AMINO ACID ETHYL ESTER PENDANTS

Chun-hong Zhang^{1,2}, Hai-lun Wang¹, Fang-bin Liu¹, Xian-de Shen¹, Li-jia Liu¹,
Ryosuke Sakai³, Toshifumi Satoh⁴, Toyoji Kakuchi⁴, Yoshio Okamoto⁵

(¹ Polymer Materials Research Center, College of Materials Science and Chemical Engineering,
Harbin Engineering University, Harbin 150001)

(² Key Laboratory of Superlight Materials and Surface Technology, Ministry of Education,
Harbin Engineering University, Harbin 150001)

(³ Department of Materials Chemistry, Asahikawa National College of Technology, Asahikawa 071-8142, Japan)

(⁴ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060-8628, Japan)

(⁵ Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan)

Abstract Three one-handed helical poly(phenylacetylene) derivatives bearing L-amino acid ethyl ester pendants, PPA-S-Phe, PPA-S-Leu and PPA-A-Leu were respectively synthesized by the polymerization of the corresponding monomers using Rh(nbd)BPh₄ as a catalyst, and their chiral recognition abilities for seven racemates were evaluated as chiral stationary phases (CSPs) for high-performance liquid chromatography (HPLC) after coating them on silica gel. The difference between PPA-S-Phe and PPA-S-Leu is the chiral pendants. The chiral pendant of PPA-S-Phe is L-phenylalanine ethyl ester, while that of PPA-S-Leu is L-leucine ethyl ester. The difference between PPA-S-Leu and PPA-A-Leu is the linkage groups between polymer main chains and chiral pendants. The linkage of PPA-S-Leu is sulphonamide group, while that of PPA-A-Leu is amide group. PPA-S-Phe, PPA-S-Leu and PPA-A-Leu possess their characteristic helical conformation and show their characteristic chiral recognition depending on the chiral pendants and the linkage groups. When linkage is a sulphonamide group, PPA-S-Leu with L-leucine ethyl ester pendants shows higher chiral recognition abilities than PPA-S-Phe with L-phenylalanine ethyl ester pendants. When chiral pendant is L-leucine ethyl ester, PPA-A-Leu with amide linkage shows higher chiral recognition abilities than PPA-S-Leu with sulphonamide linkage. It is concluded that the linkage groups play an important role in chiral recognition as well as the chiral pendants.

Keywords Poly(phenylacetylene) derivatives, Helical conformation, Chiral pendants, Linkage group, High-performance liquid chromatography (HPLC), Chiral recognition