

# 基于噻吩/吡啶结构的有机共轭聚合物的设计、合成及性质

董 犇, 陆 云\*

(南京大学化学化工学院高分子科学与工程系, 配位化学国家重点实验室, 高性能高分子材料与  
技术教育部重点实验室, 南京 210093)

**摘要:**设计合成了一系列含有噻吩结构和 2,3-位不同取代官能团的吡啶结构的新型功能单体及其它们对应的聚合物,通过 GPC、FTIR 等确认了聚合物的结构。TGA 及电化学分析结果表明,吡啶部分 2 位或 3 位引入吸电子基团可以提高聚合物的热稳定性,同时增大聚合物的能隙。紫外及荧光发射光谱结果表明,供、吸电子效应和链间相互作用以及  $\pi$ - $\pi$  堆积相互作用等因素共同导致了聚合物具有不同的光谱现象,从而发出蓝绿色、黄色、橙红色、红棕色、浅红色和红色等不同颜色的荧光,在细胞成像方面可有效避免细胞自身的荧光干扰,表现出良好的应用潜力。

**关键词:**共轭聚合物; 噻吩; 吡啶; 光谱现象; 电化学性质

聚噻吩及其衍生物由于具有物理化学性质稳定、溶解性好、光对比性高、可加工性和结构易于功能化等优异的性质,而被广泛应用在生物医学检测、光伏材料、离子检测、电致变色器件活性导电层、细胞成像和金属防腐等方面<sup>[1~6]</sup>。到目前为止,许多含有不同功能性基团和性能优良的聚噻吩衍生物已被报道。例如,基于聚噻吩中含有的 N/O 配位原子构建的荧光探针对重金属离子  $\text{Cd}^{2+}$  具有良好的选择性和检测效果<sup>[7]</sup>。由不同结构的聚噻吩衍生物制备的碳点呈现出了从蓝色到红色的波长可调的发光现象,在细胞显影方面具有良好的应用<sup>[8]</sup>。基于含有 2,6-二取代噻吩吡啶的聚合物荧光探针在 0 到  $1.0 \times 10^{-4}$  mol 的浓度范围内对  $\text{Pd}^{2+}$  具有优异的选择性和良好的响应性<sup>[9]</sup>。研究表明,聚噻吩衍生物在结构上的调整不仅可以改变其电子结构,而且也成功地改变了聚合物的化学性质。因此,设计和合成更多具有不同结构和性质新颖的聚噻吩衍生物仍是值得继续深入研究的课题之一。

另一方面,共轭聚合物在光电材料、编码和传感等方面的应用对聚合物发光颜色有非常高的要求<sup>[10~14]</sup>。因此,发光颜色的调节对于实现共轭聚合物在实际中的广泛应用极其重要。改变取代基的位置或取代基的结构是调节发光颜色的常见方法之一。例如,未修饰取代基的聚对亚苯基亚乙烯聚合物发绿色荧光,而在其苯环上修饰烷氧取代基后可发黄绿色至红色荧光<sup>[15]</sup>。改变聚对亚苯基亚乙烯聚合物主链中含苯氧侧基的位置从邻位到间位、再到对位,得到的聚合物的荧光颜色呈现出从绿色到橙红色的变化<sup>[16]</sup>。本课题组前期设计并合成了一系列具有吡啶和噻吩结构的新型功能单体及其它们对应的寡聚物,研究表明,增加共轭聚合物的吡啶数量和密度以及延长吡啶部分 N 上烷基链的长度可影响共轭结构  $\pi$ - $\pi$  堆积相互作用,从而降低能隙和导致不同的光谱现象<sup>[17]</sup>。在含有吡啶结构的聚噻吩衍生物中吡啶的 2,3 位引入不同推吸电子能力的取代基,探索不同的取代基的结构和位置能否影响聚合物的性质进而导致不同的发光颜色是需要继续研究的问题。到目前为止,对通过改变不同的取代基的结构和位置来调节聚噻吩衍生物的发光颜色的研究相对较少。

本工作设计合成了一系列具有吡啶结构的噻吩衍生物新单体,在  $\text{FeCl}_3$  的氧化聚合作用下制备得到了相对应的聚合物,对这些聚合物上不同结构和位置的取代基对聚合物光学、电化学性质、光致发光强度和能隙等性质以及热稳定性能的影响进行了详细的研究。鉴于制备得到的聚合物具有较强的荧光特性

10.14028/j.cnki.1003-3726.2019.01.006

收稿:2018-09-30;修回:2018-11-02;

基金项目:国家自然科学基金(21374046);

作者简介:董犇(1984-),男,博士,研究方向为有机共轭荧光材料的合成及其应用。E-mail: dongben@nju.edu.cn;

\* 通讯联系人, E-mail: yunlu@nju.edu.cn.

和良好的生物相容性,对其在细胞成像方面的应用也做了相应的探索。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原料与试剂

主要原料与试剂均为分析纯,使用前未处理。3-噻吩硼酸,北京偶合试剂有限公司;2-甲基吡啶、对溴苯胍盐酸盐、2-丁酮、2-羧基丁酸、对溴苯胺,安耐吉试剂有限公司;2-甲基乙酰乙酸乙酯,上海韶远试剂有限公司;1-溴正己烷,上海阿拉丁试剂有限公司;三氯氧磷,西亚试剂有限公司;无水三氯化铁、1,2-二氯乙烷、四氢呋喃、三氯甲烷,南京化学试剂有限公司。

### 1.2 单体合成及其聚合

3-噻吩硼酸与所合成的2,3-位不同取代的5-溴吡啶衍生物进行Suzuki反应,通过直接C—C连接的方法设计合成了一系列具有吡啶结构的噻吩衍生物新单体M1-M6<sup>[17~24]</sup>(见图1)。将溶解有FeCl<sub>3</sub>的无水三氯甲烷溶液逐滴滴加到溶有单体的同等体积的三氯甲烷溶液中,2h内加完,最终单体和氧化剂的浓度分别是0.05mol/L和0.2mol/L。在N<sub>2</sub>保护下反应48h后,倾倒入大量甲醇中析出固体,将所得固体用三氯甲烷溶解后,加80mL浓氨水回流24h,然后转移至分液漏斗中分液;有机相用浓氨水洗涤4次,0.05M的EDTA溶液洗涤2次,最后水洗。得到的有机相除去大部分溶剂后,倾倒入甲醇中析出固体,其中分子量较低的部分通过索氏提取的方法用甲醇和乙醚溶剂除去。所得到的聚合物根据相对应的单体M1-M6而分别命名为P1-P6。

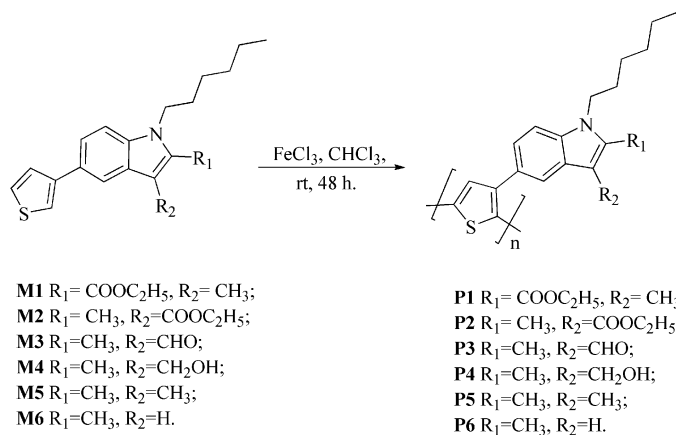


图1 聚合物P1-P6的合成

Figure 1 Synthesis of polymers P1-P6

### 1.3 表征与测试

傅里叶变换红外光谱(FT-IR)测试在Bruker Vector-22型红外光谱仪上进行,采用溴化钾压片。荧光光谱测试在Fluoromax-4型荧光光谱仪上进行,激发和发射光谱均采用4nm的狭缝宽度测试。紫外吸收光谱(UV/vis)在Perkin Elmer Lambda 35型紫外吸收光谱仪上进行。分子量测试在Polymer Laboratories PL-GPC 120型高温凝胶色谱仪上进行,用THF做流动相。热稳定性测试(TGA)是在PerkinElmer Instrument (Pyris 1 TGA)上进行。循环伏安测试在CHI660E(上海辰华有限公司)电化学工作站上进行,测试体系为三电极体系。细胞成像实验以HeLa细胞为检测细胞,用含有10%小牛血清、100mg/L青霉素和100mg/L链霉素的DMEM溶液作为培养基,在ZEISS LSM710共聚焦显微镜下直接观察经培养及处理后的细胞。

## 2 结果与讨论

本工作选择噻吩作为核心骨架,将同时具有苯环和吡咯环的吲哚引入单体结构,是为了在其 2,3-位引入不同的取代基,以调节聚合物的光谱性质,进而得到不同发光颜色的聚合物。此外,采用己基短链取代单体中吲哚部分的 NH 上的 H,以使其聚合物在常见的有机溶剂如 THF、CHCl<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 和 DMF 中具有良好的溶解性。

GPC 测试结果表明,合成的聚合物 **P1-P6** 的数均分子质量范围为  $1.02 \times 10^4 \sim 1.16 \times 10^4$ ,分子量分布指数范围为 1.33~1.55,表明目标聚合物已被成功制备(见表 1)。从聚合物 **P1-P6** 的红外光谱(见图 2)可见,对所有样品来说,在 2930~2934 和 2854~2856cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰对应于烷基链的 C—H 伸缩振动<sup>[17]</sup>;1607~1616cm<sup>-1</sup> 和 1458~1463cm<sup>-1</sup> 的吸收峰归属于苯环的 C=C—H 和 C=C 骨架的振动峰<sup>[25]</sup>;1353~1377cm<sup>-1</sup> 范围内的吸收峰对应于噻吩骨架的特征振动峰<sup>[26]</sup>;1029~1136cm<sup>-1</sup> 范围内的吸收峰归属于吲哚部分的 C—N 振动峰<sup>[27]</sup>。对样品 **P1** 和 **P2** 来说,在 1707 和 1703cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰对应于酯基中 C=O 的伸缩振动<sup>[28]</sup>。对样品 **P3** 来说,在 1731 和 2720cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰对应于醛基中 C=O 的特征振动峰<sup>[29]</sup>。对样品 **P4** 来说,在 3423cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰对应于 OH 的伸缩振动峰<sup>[29]</sup>。以上这些光谱数据表明,所制备的系列聚合物的结构与预期的相符。

表 1 聚合物 **P1-P6** 的平均分子质量和产率数据

Table 1 Average molecular weight and yield data of polymers **P1-P6**

样品	$M_w$	$M_n$	d	产率(%)
<b>P1</b>	15949	11514	1.39	89
<b>P2</b>	14779	11088	1.33	65
<b>P3</b>	15210	10250	1.48	86
<b>P4</b>	16294	10840	1.49	83
<b>P5</b>	17998	11626	1.55	95
<b>P6</b>	15428	10948	1.41	82

由归一化的聚合物 **P1-P6** 的紫外可见光谱数据(见图 3A 及表 2)可知,对所有聚合物样品来说,它们均在 230nm 和 280nm 左右出现两个特征吸收峰,前者属于典型的苯环的  $\pi-\pi^*$  的电子跃迁,后者对应于吡咯环或噻吩环的  $\pi-\pi^*$  的电子跃迁<sup>[25]</sup>。**P3**、**P4**、**P5** 和 **P6** 的最大吸收峰分别在 527nm、458nm、542nm 和 575nm,而 **P1** 和 **P2** 在相应的波数范围内未出现紫外吸收峰,这可能是由于 2,3 位不同的取代基的种类和位置等因素共同导致的。

表 2 聚合物 **P1-P6** 的光谱数据

Table 2 Spectral data of polymers **P1-P6**

样品	$\lambda_{\max(\text{ab})}$ nm	$\lambda_{\max(\text{ex})}$ nm	$\lambda_{\max(\text{em})}$ nm	$\Phi_f$ (%)
<b>P1</b>	—	467	542	7.4
<b>P2</b>	—	469	556	11.4
<b>P3</b>	527	466	578	40.6
<b>P4</b>	458	467	629	1.6
<b>P5</b>	542	467	613	31.3
<b>P6</b>	575	467	621	15.0

由归一化的聚合物 **P1-P6** 的荧光发射谱图(见图 3B)可知,聚合物链中吲哚部分的 2 位或 3 位含有

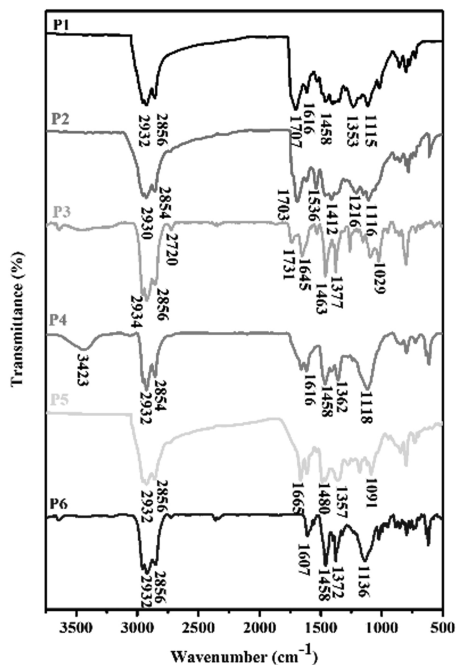
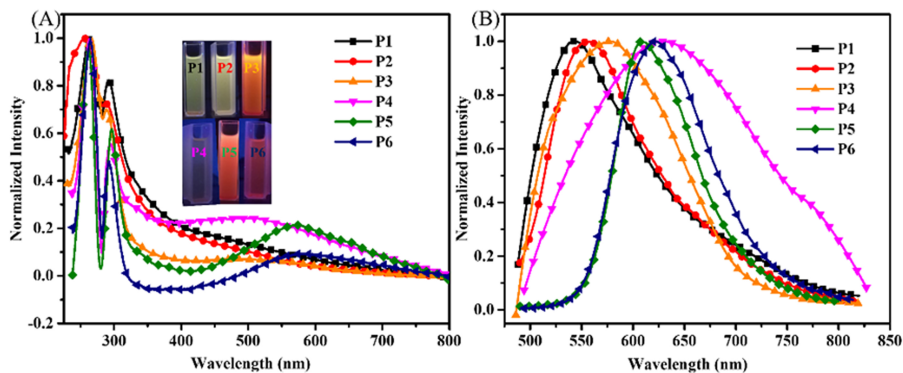


图 2 P1-P6 的红外光谱图

Figure 2 FTIR spectra of polymers P1-P6

图 3 聚合物 P1-P6 的(A)紫外吸收光谱、在 365nm 紫外光下的荧光发射颜色(内插图)和 (B)荧光发射光谱( $1.0 \times 10^{-5}$  mol/L)Figure 3 (A) UV-vis spectra and Fluorescence emission colors of polymers P1-P6 under the ultraviolet light of 365nm (B) fluorescence emission spectra( $1.0 \times 10^{-5}$  mol/L)of polymers P1-P6

吸电子基团的 P1、P2 和 P3 的最大荧光发射峰分别位于 542nm、556nm 和 578nm 处,而聚合物链中吡啶部分的 2,3 位均含有供电子基团的 P4、P5 和 P6 的最大荧光发射峰位置分别出现在 629nm、613nm 和 621nm 处,表现出一定程度的红移,但其与取代基的供、吸电子效应的大小顺序并不完全一致,这应该与供、吸电子效应、链间相互作用以及  $\pi$ - $\pi$  堆积等因素的共同影响有关<sup>[17, 30]</sup>。

供、吸电子效应和链间相互作用的影响还表现在聚合物的荧光量子效率和在 365nm 紫外灯照射下的发光情况上。P4 的荧光量子效率较低,暗示着  $-\text{CH}_2\text{OH}$  在溶剂 THF 中可能发生了溶剂化作用;P1-P6 的 THF 溶液在 365nm 的紫外灯照射下,分别发出蓝绿色光、黄色光、橙红色光、红棕色光、浅红色光和红色光(见图 3A),在其 CIE 色度图(见图 4)中能直观地观察到。

P1-P6 的 TGA 曲线和热力学数据如图 5 和表 3 所示,P2 和 P3 在 410℃ 以下拥有更好的热稳定性,

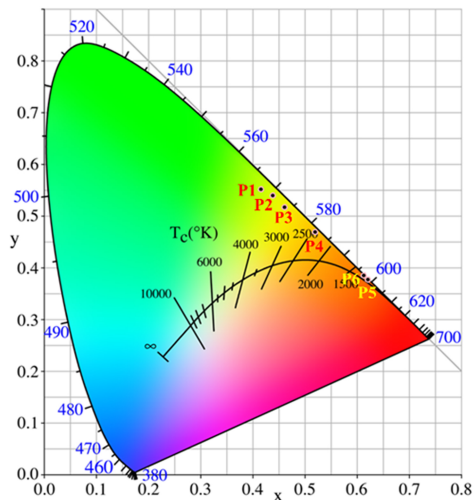


图 4 聚合物 P1-P6 的 CIE 色度图

Figure 4 Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) chromaticity coordinates of polymers P1-P6

这可能是由于吡啶部分的 3-位上引入了吸电子能力较强的—CHO 和—COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub> 所致。相比之下，P5 和 P6 的热稳定性较差，这与吡啶部分的 3-位上由于 H 原子或—CH<sub>3</sub> 的存在导致聚合物中电子云密度的增加有关<sup>[31]</sup>。有趣的是，P4 分子中 3-位的—CH<sub>2</sub>OH 虽也是供电子能力较强的官能团，但仍显示了相对较高的热分解温度，这与分子中因—OH 的存在可能形成了分子间氢键有关。以上结果表明，聚合物 P1-P6 的长链结构中吡啶部分 2,3-位不同的官能团诱导了电子在聚合物骨架上不同的自由运动程度，导致了分子内/分子间的不同程度的  $\pi$ - $\pi$  堆积相互作用，从而造成了不同的热稳定性<sup>[32]</sup>。

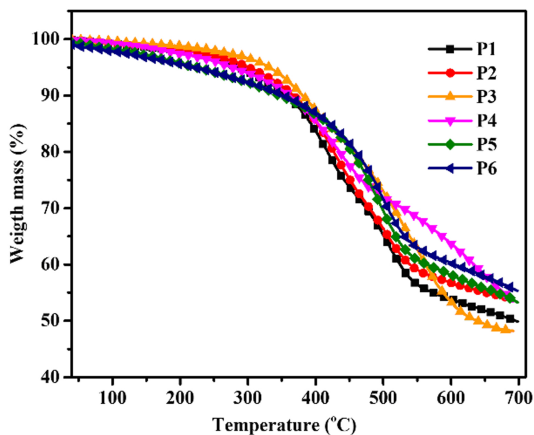


图 5 在 N<sub>2</sub> 氛围下的 P1-P6 的 TGA 曲线图(升温速率:20°C/min)

Figure 5 TGA curves of P1-P6 in N<sub>2</sub> atmosphere (heating rate: 20°C/min)

表 3 聚合物 P1-P6 的热力学数据

Table 3 Thermodynamic data of polymers P1-P6

样品	P1	P2	P3	P4	P5	P6
T (°C)	286	300	332	276	223	221

P1-P6 的循环伏安曲线图和电化学数据结果如图 6 和表 4 所示。由图可知，在 100mV/s 的扫描速度下，P1-P6 都显示了可逆的氧化还原过程。由表可知，P1-P6 的 HOMO 电势分别为 -5.31、-5.32、

-5.51、-5.25、-5.22 和 -5.28; **P1-P6** 的能隙范围为 2.53V~2.78V。其中, **P1**、**P2** 和 **P3** 的起始氧化电势比 **P4** 和 **P5** 要高, 这是由于供电子基团会降低化合物的氧化电位, 而吸电子基团会提高化合物的氧化电位<sup>[33]</sup>。在所有化合物中, **P3** 的能隙最小, 这主要是由于 **P3** 分子中含有强吸电子基团—CHO, 使聚合物链间的电子云转移较为显著, 导致  $\pi$ - $\pi$  堆积相互作用增强, 从而降低了能隙<sup>[34]</sup>。

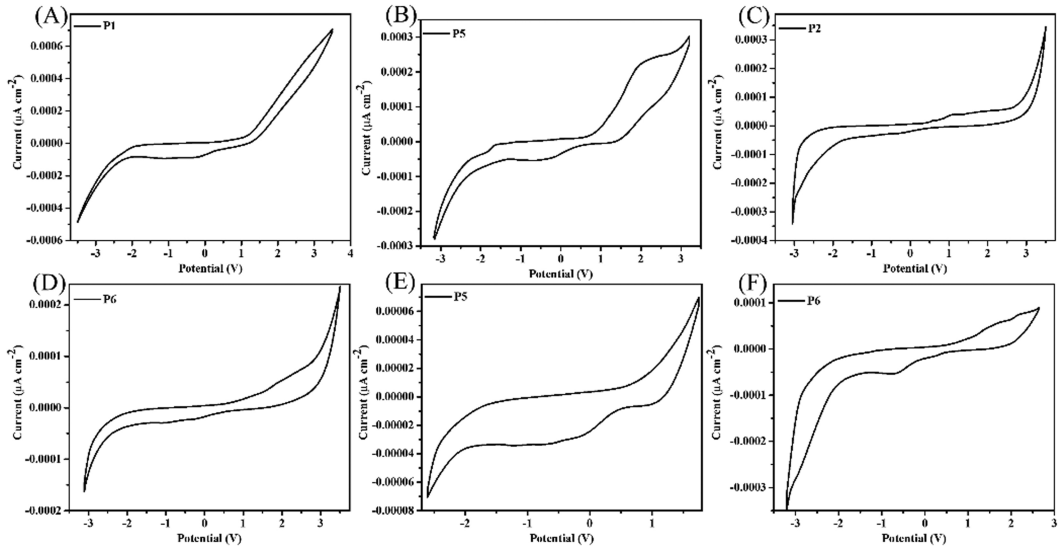


图 6 聚合物 **P1-P6** 的循环伏安曲线图

Figure 6 Cyclic voltammograms of polymers **P1-P6**

表 4 聚合物 **P1-P6** 的电化学数据<sup>a</sup>

Table 4 Electrochemical data of polymers **P1-P6**

样品	$E_{ox}^b$ (V)	$E_{red}^c$ (V)	HOMO (eV)	LUMO (eV)	$E_g^d$ (V)
<b>P1</b>	0.91	-1.68	-5.31	-2.72	2.59
<b>P2</b>	0.92	-1.63	-5.32	-2.77	2.55
<b>P3</b>	1.11	-1.42	-5.51	-2.98	2.53
<b>P4</b>	0.85	-1.89	-5.25	-2.51	2.74
<b>P5</b>	0.82	-1.96	-5.22	-2.44	2.78
<b>P6</b>	0.88	-1.77	-5.28	-2.63	2.65

<sup>a</sup> 在实验中用  $Fc^+/Fc$  的电势 0.44V 作为外标,  $E(Fc^+/Fc)$  vs. Ag/AgCl; <sup>b</sup> 氧化电势的起始电势 vs. Ag/AgCl; <sup>c</sup> 还原电势的起始电势 vs. Ag/AgCl; <sup>d</sup> 能隙由不同的起始氧化电势和还原电势计算得到。

有机荧光聚合物本身毒性较低且生物相容性好, 可以作为细胞成像材料应用于生命科学领域。本工作选取具有较高荧光量子效率的 **P3** 和 **P5** 作为研究对象, 考察了其在细胞成像中应用的可能性。在 HeLa 的培养基中分别引入 **P3** 和 **P5** 的水分散液并培育 12h 后, 经处理后的样品在 488nm 波长的激发光照射下分别呈现出黄色和浅红色的荧光(见图 7B 和 E)。其中, 荧光位点主要是存在于细胞膜和细胞质中, 而在细胞中央区域则基本上观察不到荧光。这一现象表明, **P3** 和 **P5** 可以穿透细胞膜进入细胞质内, 但不会进入细胞核, 因此不会诱发基因突变<sup>[35]</sup>。同时, 引入 **P3** 和 **P5** 水分散液的细胞并没有发生形貌的变化, 表明细胞结构没有被破坏, 进一步证实了 **P3** 和 **P5** 具有良好的生物相容性。以上实验结果证明, **P3** 和 **P5** 不仅具有出色的黄色-浅红色的光致发光性能, 同时还具有良好的生物相容性及细胞标记能力, 有望应用于细胞显影、蛋白质分析和基因工程等生物领域。

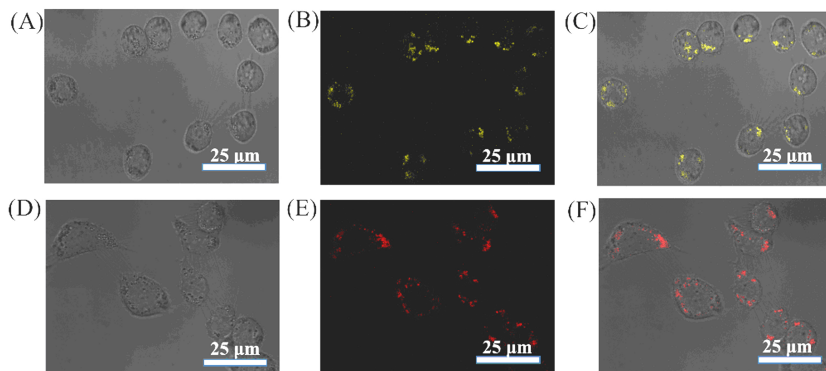


图 7 含 P2 和 P5 的样品的激光共聚焦照片

(A, D)明场无激光照射;(B, E)暗场有激光照射(激发波长分别为 488nm 和 543nm)和(C, F)明场与暗场复合照片

Figure 7 Cellular imaging photos of P2 and P5

(A, D) Washed cells imaged under bright field; (B, E) confocal photoluminescent; (C, F) overlap of corresponding bright field image and fluorescence image

### 3 结论

设计合成了一系列含有噻吩结构和 2,3-位不同取代官能团的吡啶结构的新型功能单体及它们对应的聚合物,通过 GPC、FTIR 等确认了聚合物的结构。TGA 及电化学分析结果表明,吡啶部分 2 位或 3 位含有吸电子基团时可以提高聚合物的热稳定性,同时增大聚合物的能隙。紫外及荧光发射光谱结果表明,供、吸电子效应和链间相互作用以及  $\pi$ - $\pi$  堆积相互作用等因素共同导致了聚合物具有不同的光谱现象,从而发出蓝绿色、黄色、橙红色、红棕色、浅红色和红色等不同颜色的荧光。由于所制备的聚合物发出橙黄色和浅红色的荧光并具有荧光量子效率高特点,在细胞成像方面表现出很好的应用效果,有望在生命科学等相关领域体现其实际应用价值。

### 参考文献:

- [ 1 ] González-Juárez E, Güizado-Rodríguez M, Barba V, et al. *J Mol Struct*, 2016, 1103: 25~34.
- [ 2 ] Groenendaal L, Zotti G, Aubert P H, et al. *Adv Mater*, 2003, 15(11): 855~879.
- [ 3 ] Jensen J, Hösel M, Dyer A L, et al. *Adv Funct Mater*, 2015, 25(14): 2073~2090.
- [ 4 ] Jensen J, Hösel M, Kim I, et al. *Adv Funct Mater*, 2014, 24(9): 1228~1233.
- [ 5 ] Sonmez G, Sonmez H B, Shen C K F, et al. *Macromolecules*, 2005, 38(3): 669~675.
- [ 6 ] Noh H B, Won M S, Hwang J, et al. *Biosens Bioelectron*, 2010, 25(7): 1735~1741.
- [ 7 ] Guo C, Li P, Pei M, et al. *Sensors and Actuat B: Chem*, 2015, 221: 1223~1228.
- [ 8 ] Guo L, Ge J, Liu W, et al. *Nanoscale*, 2016, 8(2): 729~734.
- [ 9 ] Liu B, Dai H, Bao Y, et al. *Polym Chem*, 2011, 2(8): 1699~1705.
- [ 10 ] Chen L, Mcbranch D, Wang R, et al. *Chem Phys Lett*, 2000, 330(1/2): 27~33.
- [ 11 ] Hou J, Park M H, Zhang S, et al. *Macromolecules*, 2008, 41(16): 6012~6018.
- [ 12 ] He F, Tang Y, Wang S, et al. *J Am Chem Soc*, 2005, 127(35): 12343~12346.
- [ 13 ] Li Y, Zou Y. *Adv Mater*, 2008, 20(15): 2952~2958.
- [ 14 ] Wu H, Ying L, Yang W, et al. *Chem Soc Rev*, 2009, 38(12): 3391~3400.
- [ 15 ] Brédas J L, Heeger A J. *Chem Phys Lett*, 1994, 217(5): 507~512.
- [ 16 ] Jin S H, Kang S Y, Yeom I S, et al. *Chem Mater*, 2002, 14(12): 5090~5097.
- [ 17 ] Dong B, Li B, Cao Y, et al. *Tetrahedron Lett*, 2017, 58(1): 35~42.
- [ 18 ] Borkin D, Pollock J, Kempinska K, et al. *J Med Chem*, 2016, 59(3): 892~913.
- [ 19 ] Baumann M, Baxendale I R. *J Org Chem*, 2015, 80(21): 10806~10816.

- [20] Liu X G, Li Z H, Xie J W, et al. *Tetrahedron*, 2016, 72(5): 653~657.
- [21] Masumi Takemoto, Yasutaka Iwakiri, Tanaka K. *Heterocycles*, 2007, 72(1): 373~383.
- [22] Li Q, Zou J, Chen J, et al. *J Phys Chem B*, 2009, 113(17): 5816~5822.
- [23] Wu Y, Xie Y, Zhang Q, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2014, 53(8): 2090~2094.
- [24] Chen X, Fan H, Zhang S, et al. *Chem Eur J*, 2016, 22(2): 716~723.
- [25] Dong B, Yang M, Ge S, et al. *RSC Adv*, 2016, 6(28): 23737~23745.
- [26] Sarac A S, Ozkara Sarioglan S, Dziomba T, et al. *Eur Polym J*, 2007, 43(8): 3392~3399.
- [27] Shen C, Sun Y, Yao W, et al. *Polymer*, 2014, 55(12): 2817~2824.
- [28] Wang J, Yan H, Lu Y. *J Mater Sci*, 2015, 50(21): 6920~6925.
- [29] Shen C, Sun Y, Wang J, et al. *Nanoscale*, 2014, 6(15): 9139~9147.
- [30] Lee G Y, Han A R, Kim T, et al. *ACS Appl Mater Inter*, 2016, 8(19): 12307~12315.
- [31] Baidl A, Lang A, Nuyken O. *Macromol Chem Phys*, 1996, 197(12): 4155~4171.
- [32] Sung H H, Lin H C. *Macromolecules*, 2004, 37(21): 7945~7954.
- [33] Cui A, Peng X, Fan J, et al. *J Photochem Photobiol A: Chem*, 2007, 186(1): 85~92.
- [34] Lai R Y, Bard A J. *J Phys Chem B*, 2003, 107(21): 5036~5042.
- [35] Sun Y, Shen C, Wang J, et al. *RSC Adv*, 2015, 5(21): 16368~16375.

## Design, Synthesis and Properties of Organic Conjugated Polymers Based on Thiophene/Indole Structure

DONG Ben, LU Yun\*

*(Department of Polymer Science and Engineering, State Key Laboratory of Coordination Chemistry, Key Laboratory of High Performance Polymer Materials and Technology, Ministry of Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)*

**Abstract:** A series of novel functional monomers containing thiophene and 2,3-substituted indoles were designed and synthesized. Their structures were confirmed by GPC and FTIR. The results of TGA and electrochemical analysis showed that by introducing the electron-absorbing groups into the indole part, the thermal stability of the polymer could be improved and the energy gap of the polymer could be enlarged. The results of UV-vis and fluorescence emission spectroscopy showed that the donor-acceptor effect, the chain-to-chain interaction and the  $\pi$ - $\pi$  stacking interaction together lead to different spectroscopic phenomena of polymers, emitting fluorescence with different colors such as red, orange-red, light red, blue-green, yellow and brown, which can effectively avoid the fluorescence interference of cells, and showed good application potential.

**Key words:** Conjugated polymers; Thiophene; Indole; Spectroscopic phenomena; Electrochemical properties