



螺吡喃基光响应催化纳米反应器的设计合成与性能研究

姬佩佩¹, 龚思熒¹, 金成雯¹, 陈 涛^{1,2}

(1. 浙江理工大学绿色低碳染整技术浙江省工程研究中心, 杭州 310018; 2. 浙江省绿色清洁技术及洗涤用品重点实验室, 浙江丽水 323000)

摘要: 为了探究光响应两性亲性聚合物基催化剂的可控催化性能, 通过可逆加成-断裂链转移(RAFT)聚合、活化酯功能化及自组装策略, 设计合成了含有手性脯氨酸催化位点的光响应性纳米反应器。采用核磁共振氢谱(¹H NMR)、紫外-可见光谱(UV-vis)、动态光散射(DLS)等表征方法, 对聚合物的结构和性能进行表征; 通过苯甲醛和丙酮在水中的羟醛缩合反应, 评价光响应性纳米反应器在不同刺激条件下的催化活性。结果表明: 聚合物纳米胶束分散均匀, 在可见光和紫外光照条件下结构可逆, 具有光可逆催化控制行为; 在可见光条件下催化产率达到 93%, 在紫外光条件下催化产率降至 78%, 且均表现出良好的立体选择性; 对映体过量(Enantiomeric excess, ee)均在 90% 以上。该研究为速率可控催化纳米反应器的设计提供了思路。

关键词: 光响应性; 螺吡喃; 纳米反应器; 自组装; 光控催化

中图分类号: TS195.644

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2025)07-0480-08

引用格式: 姬佩佩, 龚思熒, 金成雯, 等. 螺吡喃基光响应催化纳米反应器的设计合成与性能研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2025, 53(4): 480-487.

Reference Format: JI Peipei, GONG Siyi, JIN Chengwen, et al. A study on the design, synthesis, and performance of spiropyran-based photoresponsive catalytic nanoreactors[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2025, 53(4): 480-487.

A study on the design, synthesis, and performance of spiropyran-based photoresponsive catalytic nanoreactors

Ji Peipei¹, Gong Siyi¹, Jin Chengwen¹, Chen Tao^{1,2}

(1. Zhejiang Provincial Engineering Research Center for Green and Low-Carbon Dyeing & Finishing, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Key Laboratory of Green Cleaning Technology & Detergent of Zhejiang Province, Lishui 323000, China)

Abstract: To explore the controllable catalytic performance of photoresponse amphiphilic polymer-based catalysts, photoresponse nanoreactor containing chiral proline catalytic sites were designed and synthesized through reversible addition-fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization, activated ester functionalization, and self-assembly strategy. The structure and properties of the polymers were characterized by proton nuclear magnetic resonance (¹H NMR), ultraviolet-visible spectroscopy (UV-vis), and dynamic light scattering (DLS). Subsequently, the aldol condensation reaction of benzaldehyde and acetone in water was adopted to evaluate the catalytic activity of the light-responsive nanoreactors under different stimulation conditions. The results show that the polymer nanomicelles were uniformly dispersed and structurally reversible under visible and UV illumination, demonstrating photoreversible catalytic control behavior. Under visible light, the catalytic yield reached 93%, while under ultraviolet light, the yield achieved 78%, both exhibiting good stereoselectivities. The enantiomeric excess (ee)

收稿日期: 2025-01-08 网络出版日期: 2025-04-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(52273216)

作者简介: 姬佩佩(1999—), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事催化纳米反应器方面的研究。

通信作者: 陈 涛, E-mail: tao.chen@zstu.edu.cn

values exceeded 90% in all cases. This study provides an idea for the design of rate-controlled catalytic nanoreactors.

Key words: photo-responsiveness; spiropyran; nanoreactor; self-assembly; light-controlled catalysis

0 引言

刺激响应材料可通过调整其物理和化学性质(如颜色、形态、体积、凝胶/溶胶转变、亲水/疏水转变等)来响应外部刺激^[1]。近年来,由于光的非侵入性,光响应材料在刺激响应材料领域引起了越来越多的关注,在光学数据存储^[2]、光控催化^[3]、药物输送^[4-5]、生物处理^[6]、信息防伪^[7]等领域被广泛研究。

由于光可以实现非接触控制,且可以瞬间传递到整个反应系统或特定区域^[8],具有环境安全性和操作便利性,因此将光响应材料应用于化学反应控制具有重要意义。例如,Nakatani 等^[9]利用含有 TiO₂ 凝胶的 PS-*b*-PAA 开发了可见光响应聚合物光催化剂系统;Zhao 等^[10]报道了一种原位反应封装了银纳米粒子的方法,该方法将银纳米粒子封装在介孔二氧化硅(Mesoporous Silica, MS)中,在纳米反应器上引入了偶氮苯/ α -CD 超分子单元,从而制备出具有光调节催化行为的智能纳米反应器;Cai 等^[11]利用螺吡喃的光致变色性能合成了一系列带有 DTE 光学分子开关的(硫)脲类催化剂,该催化剂具有高催化活性和良好的控制性,硫脲/脲催化剂中的光响应基团实现了对 L-内酰胺的 ROP 反应的光控调控。

螺吡喃作为一类光致变色性能优异的有机材料,备受研究者的关注与青睐。通过对光照的调控,螺吡喃分子能产生高效、灵敏的变化^[12]。在光的诱导下,螺吡喃分子通常以无色、非平面、闭环形式和有色、平面、开环形式存在^[13];当暴露于紫外光(UV)时,螺吡喃分子会发生光异构化反应,将非平面的无色形式转变为平面的有色形式,并从非极性的疏水状态(SP)转变为极性的亲水状态(MC)。因此,将光响应材料应用于催化纳米反应器具有重要意义。

利用活化酯策略可以将小分子催化剂引入聚合物基纳米反应器中。手性脯氨酸可以催化羟醛缩合反应,产生高对映选择性的产物。然而,羟醛缩合反应通常在有机溶剂或少量水的存在下完成,且需要较大用量的催化剂。将手性脯氨酸负载到聚合物中,以提供疏水微环境,可以实现手性脯氨酸在水中的高效催化^[14-16]。例如,Liu 等^[17]使用含有偶氮苯

的 L-脯氨酸印迹聚合物,诱导 L-proline 的光控释放,以催化羟醛反应,收率在 64%~69%。

本文采用光响应速率更快的螺吡喃分子,参考先前的研究^[18],采用羟基官能团化的螺吡喃(SPOH)与 2-甲基丙烯酸异氰乙酯反应,合成了含氨基甲酸酯的螺吡喃甲基丙烯酸酯单体(SPMA),作为共聚物的光响应嵌段;以聚乙二醇甲醚甲基丙烯酸酯(OEGMA)作为亲水嵌段,制备了两亲性光响应嵌段共聚物,通过水相自组装构筑了光响应性纳米反应器,采用活化酯策略将脯氨酸引入聚合物中,构建了螺吡喃基脯氨酸催化纳米反应器。通过改变光照条件,探讨纳米反应器在水相中羟醛缩合反应的光控催化性能。本文结果可为刺激响应性材料的制备和有机催化剂的水相催化研究提供策略和技术参考。

1 实验部分

1.1 主要材料

2,3,3-三甲基吡啶(98%),2-溴乙醇(95%),5-硝基水杨醛(97%),甲基丙烯酸异氰基乙酯(98%,含有 0.1% BHT 稳定剂),二月桂酸二丁基锡(DBTL,95%),聚乙二醇甲醚甲基丙烯酸酯(OEGMA,98%, $M_n=30$),二氯甲烷中重结晶的偶氮二异丁腈(AIBN,99%), $(2S,4S)$ -4-氨基-1-(叔丁氧羰基)吡咯烷二羧酸(98%),氘代氯仿(CDCl₃,99.8%),4-二甲氨基吡啶(DMAP,99%),二环己基碳二亚胺(DCC,98%),无水硫酸镁(MgSO₄),无水碳酸钾(K₂CO₃),N-羟基琥珀酰亚胺(NHS,98%),均购自上海阿拉丁试剂有限公司。分析纯级甲醇、二氯甲烷、乙酸乙酯、石油醚和四氢呋喃等溶剂购自杭州高晶精细化工有限公司。所用水均为去离子水。

1.2 主要仪器

磁力搅拌仪(上海力辰仪器有限公司),分析天平(上海力辰仪器有限公司),7895B-5977A 型气质联用仪(美国 Agilent 公司),UV-8000 型紫外可见光光度计(上海元析仪器有限公司),高速离心机(美国 Thermo 公司),AVANCEAV-400 MHz 傅里叶变换核磁共振波谱仪(瑞士 BRUKER 公司),N-1200B 型旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司),Zetasizer Nano S 型纳米粒度分析仪(英国 Malvern

公司),高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)。

1.3 负载手性脯氨酸的螺吡喃基两亲性嵌段共聚 P1 的制备

负载手性脯氨酸的螺吡喃基两亲性嵌段共聚 P1 的制备总路线如图 1 所示。末端含有活化酯官能团的 RAFT 链转移试剂 CEPA-NHS 利用 4-氰基-4-(((乙硫基)硫代羰基)硫基)戊酸(CEPA)与 N-羟基琥珀亚胺(NHS)的缩合反应制备得到^[19]。利用 CEPA-NHS 作为链转移剂(CTA),以带有氨

基甲酸酯联结基团的螺吡喃基丙烯酸甲酯、聚乙二醇甲基醚甲基丙烯酸酯为单体, AIBN 为引发剂,通过 RAFT 聚合合成了末端带有活化酯的两亲性嵌段共聚物 POEGMA₄₂-*b*-PSPMA₁₆-NHS。采用活化酯功能化策略,将含有氨基的手性氨基酸(2S, 4S)-4-氨基-1-(叔丁氧羰基)吡咯烷二羧酸引入嵌段共聚物的末端,并去除 Boc 保护基团,得到手性脯氨酸功能化的两亲嵌段共聚物 POEGMA₄₂-*b*-PSPMA₁₆-Proline(P1)。

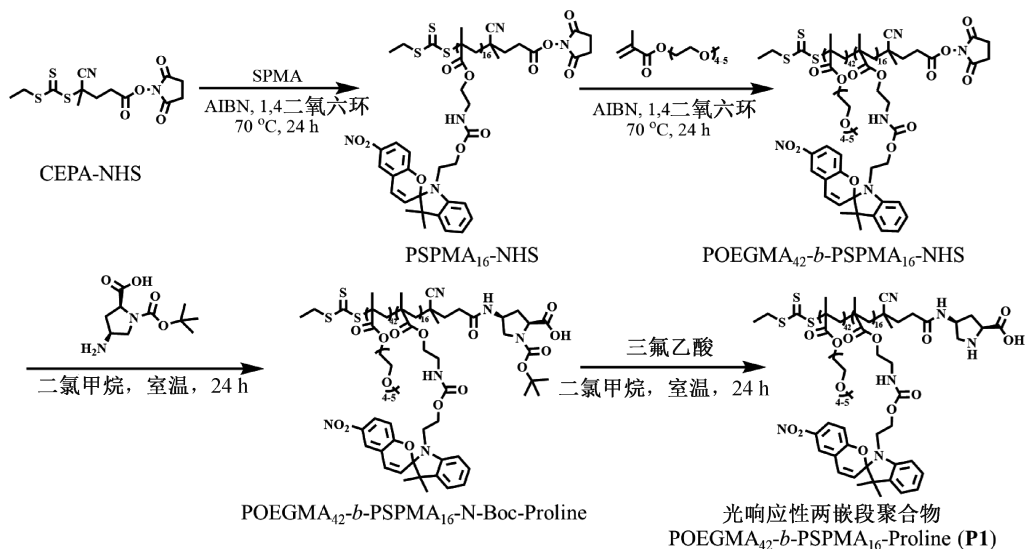


图 1 光响应性两嵌段聚合物 POEGMA₄₂-*b*-PSPMA₁₆-Proline (P1) 的合成路线示意图

1.3.1 链转移试剂 CEPA-NHS 和功能性单体 SPMA 的合成

RAFT 链转移试剂 CEPA-NHS 是参照了先前报道的方法^[19]。称取 4-氰基-4-(((乙硫基)硫代羰基)硫基)戊酸(CEPA)(200 mg, 0.76 mmol)、DCC(190 g, 0.92 mmol)和 N-羟基琥珀亚胺(NHS)(110 g, 0.96 mmol)溶于 15 mL 二氯甲烷中,并在室温下持续搅拌 24 h;用去离子水和饱和食盐水各洗涤 2 次,用无水硫酸镁干燥,滤纸过滤,旋转蒸发除去有机溶剂得到粗产物;采用硅胶色谱柱层析法纯化,用乙酸乙酯和石油醚的混合体系(体积比 4:1)作为洗脱剂,得到目标产物 CEPA-NHS。

SPOH 及功能性单体 SPMA 根据以前的方法^[20]合成。将 SPOH(1.0 g, 3.3 mmol)溶于二氯甲烷(10 mL)中,加入催化剂二月桂酸二丁基锡(DBTL, 20 μ L)并充分搅拌 5 min,将甲基丙烯酸异氰酸乙酯(800 mg, 4.90 mmol)的二氯甲烷溶液(15 mL)加入上述溶液,继续在室温下搅拌 24 h;反应结束后,反应混合物用饱和 NaCl 水溶液洗涤,并用无水硫酸镁干燥。减压条件下除去溶剂,粗产物通过

柱层析纯化,得到黄色粉末状的 SPMA 产品。

1.3.2 PSPMA₁₆-NHS 的合成

将 CEPA-NHS(50 mg, 0.14 mmol)、SPMA(2.12 g, 4.17 mol)溶于 1,4-二氧六环(2 mL)中,加入 3 mL AIBN 的 1,4-二氧六环溶液(1 mg/mL),加入三恶烷(125 mg)作为内标,将上述样品瓶中的混合物转移到 25 mL 安瓿瓶中。通过三次冷冻-抽真空-解冻循环对溶液进行脱气,然后用氮气重新填充安瓿瓶并密封,RAFT 聚合在 70 $^{\circ}$ C 下反应 24 h。反应结束时,将反应混合液暴露于空气中,并将温度降至 0 $^{\circ}$ C 以使反应骤冷,在冷乙醚中对反应混合液进行多次沉淀而获得聚合物 PSPMA₁₆-NHS。

1.3.3 POEGMA₄₂-*b*-PSPMA₁₆-NHS 的合成

将 PSPMA₁₆-NHS(300 mg, 0.03 mmol)、OEGMA(528 mg, 1.76 mmol)溶于 1,4-二氧六环(4 mL)中,加入 1 mL AIBN 的 1,4-二氧六环溶液(1 mg/mL),加入三恶烷(11 mg)。将混合物转移到 25 mL 安瓿瓶中。通过 3 次冷冻-抽真空-解冻循环对溶液进行脱气,然后用氮气重新填充安瓿并密封。RAFT 聚合在 70 $^{\circ}$ C 下反应 24 h。反应结束

时,将反应混合液暴露于空气中,并将温度降至 0 °C 以使反应骤冷,在冷乙醚中对反应混合液进行多次沉淀,获得聚合物 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 。

1.3.4 聚合物 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-Proline(P1)}$ 的合成

将 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ (0.01 mmol)和 (2S,4S)-4-氨基-1-(叔丁氧羰基)吡咯烷二羧酸(0.1 mmol)溶于 4 mL 的 N,N-二甲基甲酰胺(DMF)中,室温下搅拌 4 h,得到 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-N-Boc-Proline}$ 。将 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-N-Boc-Proline}$ (300 mg)在室温下用三氟乙酸(TFA,2 mL)在 DCM(6 mL)中处理 24 h。然后真空减压去除挥发物,将残留物溶解在 DCM(10 mL)中,再次去除挥发物以去除大部分 TFA。将残余物再溶于甲醇中,并使用 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{MeOH}$ 饱和溶液将 pH 调节至 10,将中和后的产物在冷乙醚(20 mL)中多次沉淀,获得产物 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-Proline(P1)}$ 。

1.4 嵌段共聚物胶束的制备

通过溶剂交换法制备负载手性脯氨酸的纳米胶束,过程如下:将嵌段共聚物 P1(110 mg)溶于 2 mL 四氢呋喃中;缓慢滴入 8 mL 去离子水中,并搅拌以使其均匀分散;将胶束溶液放入透析袋(3500 MWCO⁻¹)中,并用 1000 mL 去离子水透析 48 h(约 3 h 更换一次去离子水),得到自组装的胶束溶液(10 mL,11 mg/mL)。

1.5 纳米反应器催化羟醛缩合反应的一般催化程序

脯氨酸功能化纳米反应器在不同光刺激下催化

的羟醛缩合反应。取自组装的胶束溶液(2 mL,脯氨酸催化剂的物质的量分数为 10%)添加到 10 mL 样品瓶中,在室温下分别加入苯甲醛(11 mg,0.1 mmol,1.0 eq.)和丙酮(38 μL ,0.5 mmol,5.0 eq.);反应 24 h 后,在反应体系中取几滴反应液,用乙醚萃取 3 次;用 GC-MS 监测反应,并通过柱层析法分离计算产率,通过 HPLC 测定对映体过量(ee 值)。

2 结果和讨论

2.1 负载手性脯氨酸的螺吡喃基两亲性嵌段共聚物的表征

对 $\text{PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 、 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 等产物进行核磁共振氢谱测试。其中,SPMA 和 OEGMA 聚合度(DPs)通过内标法确定,以三恶烷为内标,通过反应前后单体中烯烃氢的¹H NMR 信号峰积分面积对比计算。

CEPA-NHS、 $\text{PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 、 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 的核磁共振氢谱图如图 2 所示。图 2(a)显示,SPMA 苯环上硝基邻位氢(a,b,8.02 ppm)等特征峰的出现证实了聚合物 $\text{PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 的成功合成。通过¹H NMR,根据特征峰的比率,即活化酯 NHS 与 SPMA 苯环(a,b)的¹H NMR 信号峰的比率,确定 PSPMA 嵌段的聚合度(DP)为 16,这与内标法计算结果基本一致。图 2(b)显示,POEGMA 在 3.6 ppm 附近出现特征峰,证实了嵌段共聚物 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 的成功合成。

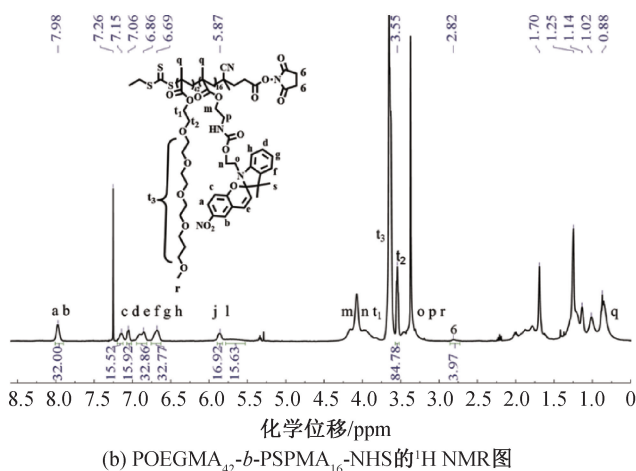
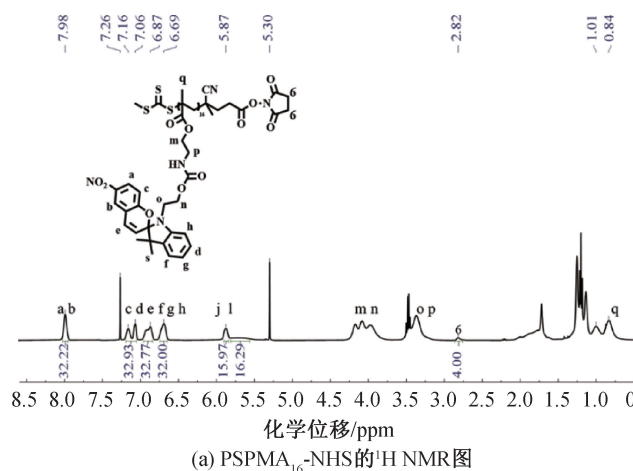


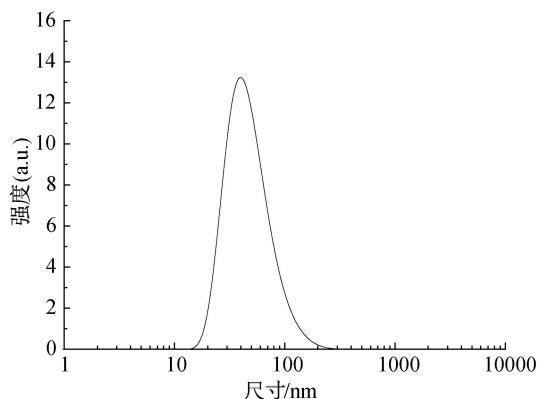
图 2 $\text{PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 和 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 的¹H NMR 图

$\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-NHS}$ 、 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-N-boc-Proline}$ 及 $\text{POEGMA}_{42}\text{-}b\text{-PSPMA}_{16}\text{-Proline}$ 的核磁共振氢谱图如图 3 所示。图 3(a)显示,活化酯特征峰(2.75 ppm)的消失和叔丁

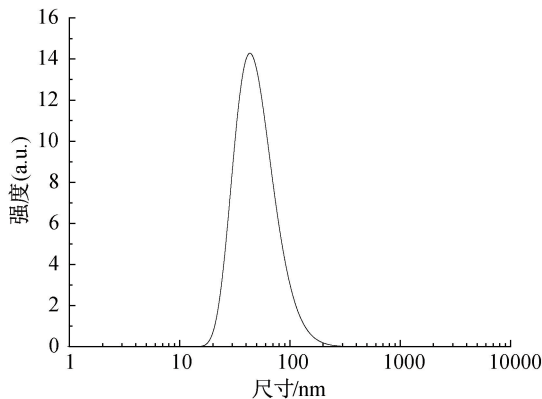
基特征峰(1.44 ppm)出现,证实含有 Boc 保护基的手性氨基酸 (2S,4S)-4-氨基-1-(叔丁氧羰基)吡咯烷二羧酸通过活化酯功能化策略成功引入到了两亲共聚物的末端;图 3(b)显示,

色恢复到初始状态,表明 SP-MC 状态是可逆的。对胶束溶液进行紫外-可见光重复试验,结果如图 6(d)所示,光响应嵌段的 SP-MC 之间状态的光调

节可逆异构化行为至少可以重复 5 次。MC 异构体吸光度的可逆变化表明这种可逆行为不会使 PSPMA 产生明显的疲劳。

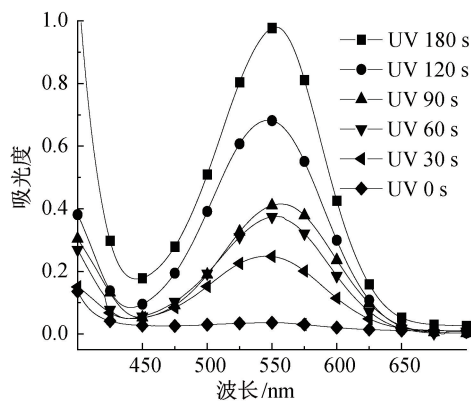


(a) 紫外光照射下的DLS曲线

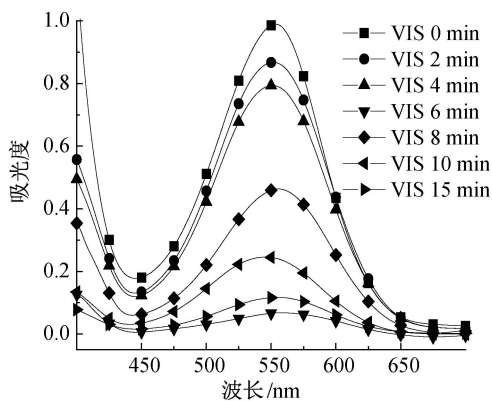


(b) 可见光照射下的DLS曲线

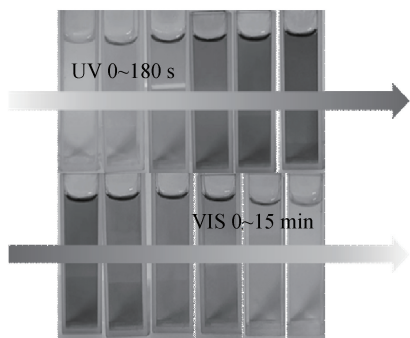
图 5 紫外和可见光照射下 POEGMA₄₂-*b*-PSPMA₁₆-Proline 的 DLS 曲线



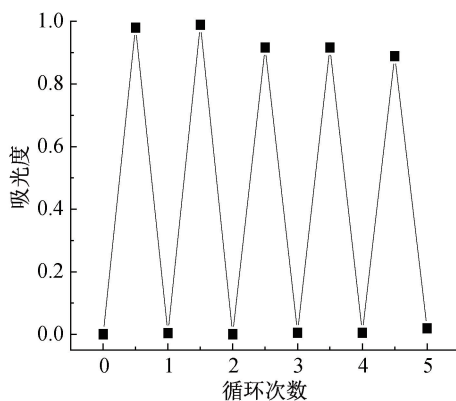
(a) 紫外光照射下胶束的吸光度变化曲线



(b) 可见光照射下胶束的吸光度变化曲线



(c) 紫外光和可见光照射下胶束的颜色变化



(d) 胶束的抗疲劳测试

图 6 胶束的吸光度的可逆变化过程示意图

2.4 螺吡喃基纳米反应器的光控催化性能

以苯甲醛和丙酮为底物,使用负载脯氨酸的螺吡喃基纳米胶束作为催化剂,进行羟醛缩合反应,反应方程式如图 7 所示。结果表明,在可见光照射下,反应分离产率达到了 93%,ee 值达到了 96%;而在紫外光照射下,产率降至 78%,ee 值基本保持不变。

DLS 及 UV-Vis 结果揭示了这一现象的可能原因:在可见光条件下,螺吡喃以 SP 状态存在,催化纳米反应器具有良好的核壳结构,催化剂集中在纳米反应器的疏水核中,催化纳米反应器具有较好的底物浓缩效应,从而实现了羟醛缩合的水相催化反应,并具有较高的产率;紫外光照射后,螺吡喃转变为亲水

的 MC 状态,由于 PSPMA 中氨基甲酸酯结构的存在,螺吡喃侧链间形成氢键,稳定了胶束结构,但螺吡喃嵌段的渗透性增强,导致纳米反应器疏水核的底物浓缩效应减弱,因而降低了反应产率。

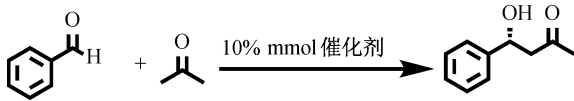


图 7 苯甲醛和丙酮的羟醛缩合反应方程式示意图

3 结 论

本文设计合成了一种负载手性脯氨酸的螺吡喃基嵌段共聚物 POEGMA₄₂-*b*-PSPMA₁₆-Proline (P1),探讨了其自组装胶束的光响应性能及光控催化性能。该工作提供了一种高效构建刺激响应性催化纳米反应器的方法,主要结论如下:

a) 采用¹H NMR 等表征手段,证实了嵌段聚合物 P1 的成功制备。聚合物 P1 在水中自组装形成胶束型纳米反应器,DLS 分析验证了该纳米反应器在可见光和紫外光的照射下胶束尺寸的变化。

b) UV-Vis 分析证实,胶束型纳米反应器在可见光和紫外光的照射下可以发生 SP-MC 状态的可逆转变,且这种转变是可逆的,可逆转变可以循环 5 次以上。

c) 纳米反应器成功应用于苯甲醛和丙酮在水中的羟醛缩合反应,在可见光照射下,反应产率达到了 93%,而在紫外光照射下,产率降至 78%,展现出了一定的可控催化性能,为可控催化体系的设计提供了思路,构建在不同刺激条件下实现组装/完全解离的催化体系将更有利于催化速率的调控。

光响应催化的研究具有重要的理论意义和实际应用价值,为材料科学、能源科学和生物医学等领域的交叉融合提供了新的研究方向。其创新性和先进性为智能催化材料的发展开辟了新的道路。

参考文献:

[1] 武文静,代昭,余荃. 基于刺激响应型智能纳米反应器的研究进展[J]. 精细石油化工, 2016, 33(6): 72-77.

[2] Devi S A, Singh K J, Devi K N. Effective, reusable and low energy visible light responsive free-standing CdS/PVDF nanocomposite films for MG dye degradation [J]. Materials Science in Semiconductor Processing, 2024, 175: 108260.

[3] Xiao W, Qiu M S, Peng Y, et al. Cooperative catalysis of Cu/2, 2, 6, 6-tetramethyl-1-piperidine-N-oxyl nanocatalysts supported by ultraviolet light-responsive polyimides[J]. Dalton

Transactions, 2022, 51(40): 15246-15250.

[4] 李子程,李攻科,胡玉玲. 刺激响应聚合物在生物医药中的应用[J]. 化学进展, 2017, 29(12): 1480-1487.

[5] Chatterjee S, Hui P C. Review of stimuli-responsive polymers in drug delivery and textile application[J]. Molecules, 2019, 24(14): 2547.

[6] Hao Y W, Meng J X, Wang S T. Photo-responsive polymer materials for biological applications [J]. Chinese Chemical Letters, 2017, 28(11): 2085-2091.

[7] Zhang J Z, Chen T D, Zhu M, et al. Scalable, fast light-responsive, and excellent color-retention fiber-based photochromic wearables for sustainable photo-patterning and information security encryption [J]. Advanced Functional Materials, 2025, 35(8): 2415622.

[8] Vapaavuori J, Bazuin C G, Priimagi A. Supramolecular design principles for efficient photoresponsive polymer-azobenzene complexes[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2018, 6(9): 2168-2188.

[9] Nakatani H, Hamachi R, Fukui K, et al. Synthesis and activity characteristics of visible light responsive polymer photocatalyst system with a styrene block copolymer containing TiO₂ gel[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2018, 532: 210-217. [

[10] Zhao R, Hu J, Niu C R, et al. A smart nanoreactor with photo-responsive molecular switches for controlling catalytic reactions[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2016, 4(21): 4748-4755.

[11] Cai W, Zheng S Q, Pang W M, et al. Photoresponsive thiourea and urea catalysts for ring-opening polymerization of L-lactide[J]. Journal of Polymer Science, 2023, 61(6): 439-446.

[12] 鲍艳,韩旆,张文博,等. 螺吡喃类刺激响应变色聚合物的研究进展[J]. 材料导报, 2024, 38(17): 23060044.

[13] Jiang J W, Chen Q, Xu M H, et al. Photoresponsive diarylethene-containing polymers: Recent advances and future challenges[J]. Macromolecular Rapid Communications, 2023, 44(14): 2300117.

[14] Kristensen T E, Vestli K, Jakobsen M G, et al. A general approach for preparation of polymer-supported chiral organocatalysts via acrylic copolymerization[J]. The Journal of Organic Chemistry, 2010, 75(5): 1620-1629.

[15] Ahmed E, Cho J, Jang S S, et al. Nonorthogonal cascade catalysis in multicompartment micelles [J]. Chemistry-A European Journal, 2023, 29(43): e202301231.

[16] Ren L X, Liu S Q, Sun Z Y. Harboring organocatalysts in a star-shaped block copolymer for micellar catalysis and emulsion catalysis[J]. Catalysis Science & Technology, 2024, 14(2): 255-260.

[17] Liu H D, Zheng A X, Gong C B, et al. A photoswitchable organocatalyst based on a catalyst-imprinted polymer containing azobenzene [J]. RSC Advances, 2015, 5(77): 62539-62542.

[18] Zhang R Z, Min Y T, Ji P P, et al. Light and temperature dual stimuli-responsive micelles from carbamate-containing

spiropyran-based amphiphilic block copolymers: Fabrication, responsiveness and controlled release behaviors[J]. European Polymer Journal, 2023, 200: 112493.

[19] Chen T, Xu Z K, Zhou L, et al. Highly efficient polymer-based nanoreactors for selective oxidation of alcohols in water [J]. Molecular Catalysis, 2019, 474: 110422.

[20] Min Y T, Zhang R Z, Dong X L, et al. Spiropyran-based polymeric micelles in aqueous solution: Light-regulated reversible size alterations and catalytic characteristics [J]. Polymer Chemistry, 2023, 14(7): 888-897.

团队介绍

陈涛教授团队现有在读博士生 1 名,硕士生 9 名。团队专注于聚合物基新材料的研究,以应用基础研究带动产业升级。主要研究方向包括绿色染整助剂、可控催化纳米反应器研究等。团队带头人:陈涛,男,博士(后),教授。主持国家自然科学基金 2 项,校内主持浙江省重点研发项目 1 项、浙江省“尖兵”计划项目 1 项,主持了省自然科学基金、省公益项目、省重点创新子课题及其他横向项目多项。发表学术论文 40 余篇,授权发明专利 10 余件。作为负责人组建了“浙江理工大学-彩蝶实业功能纺织品研发中心”;主持了浙江理工大学桐乡研究院的产业化项目以及绍兴柯桥研究院的产业化项目各 1 项;指导的学生多次获得“百篇优秀学士论文”、优秀硕士学位论文、硕士研究生国家奖学金等奖项;发表教改论文 2 篇,主持校级和院级教改项目 3 项。

(责任编辑:张会巍)