

非共轭型荧光聚合物的研究进展

原璐瑶, 颜红侠*, 白利华, 牛 松, 杜玉群, 黄 为

(西北工业大学理学院, 西安 710129)

摘要:具有聚集诱导发光(AIE)效应的聚合物一般是由 π - π 共轭基元充当发色团。近年来, 聚合物中仅含脂肪胺、羰基、酯基等传统意义上的非共轭基元的助色团, 在特定条件的激发下也能发射肉眼可见的明亮荧光。相对于含有苯环或杂环的共轭型聚合物, 非共轭型荧光聚合物具有低的生物毒性和环境友好性, 因此在生物探针、药物传输、生物成像等领域拥有巨大的发展潜力。但其发光机理众说纷纭, 因此, 探索并揭示非共轭型荧光聚合物的发光机理成为十分具有挑战的工作。本文主要以非共轭型荧光聚合物的种类为主线, 包括超支化聚酰胺胺、聚氨基酯、聚乙烯亚胺、聚硅氧烷等, 主要对其发光机理和近年来的应用研究进展进行概述。

关键词:聚集诱导发光; 非共轭; 超支化聚合物; 荧光

引言

聚集诱导发光(aggregation induced emission, AIE)是唐本忠院士于 2001 年提出的, 其广义上是指分子体系在溶液中不发光或发光微弱, 而聚集后或在固态下发光显著增强的现象。由于 AIE 可以解决传统分子聚集猝灭发光的难题, 这一概念一经报道就引起了世界范围内科学家的兴趣^[1]。经过十余年的发展, 已开发出许多具有 AIE 效应的发光聚合物, 大致可归纳为共轭型聚合物和非共轭型聚合物^[2]两类。共轭型的发光聚合物因含有苯环或杂环等传统的发光基团^[3~5], 其颜色可覆盖整个可见光和近红外光区域, 且荧光量子产率高, 已在荧光传感、生物传感、有机发光二极管等领域^[6]得到广泛应用。非共轭型的发光聚合物(如聚酰胺胺、聚氨基酯、聚乙烯亚胺、聚硅氧烷等)^[7~9]因不含大 π 电子共轭基元, 仅含羰基、酯基、酰胺基等助色团, 在化学结构上更接近于普通高分子, 具有良好的生物相容性以及环境友好性, 因此在化学合成、细胞毒性、生物荧光成像以及药物缓释等方面更具优势^[10], 已经发展成为有机发光高分子研究领域一个充满活力的重要分支。本文以聚合物的化学结构为主线, 主要对发光机理和近几年的应用研究进展进行概述。

1 含脂肪胺和羰基的聚合物

1.1 聚酰胺胺

聚酰胺胺(PAMAM)是研究最早也是最多的一类非共轭发光聚合物。2001 年, 美国密苏里大学哥伦比亚分校的 Tucker 课题组^[11]首次研究了不同代数 PAMAM 羧酸盐的本体荧光特性, 发现荧光光强度和荧光寿命均随着支化代数的增加而升高, 开创了非共轭发光聚合物的先河。到 2004 年 6 月, 美国德克萨斯大学奥斯汀分校的 Bard 课题组^[12]率先报道了端羟基的树枝状的 PAMAM-OH 经氧化后能发出明亮的蓝色荧光(如图 1 所示), 而末端为端氨基的 PAMAM-NH₂ 荧光强度不到 PAMAM-OH 的 0.01%。由此, 他们认为树枝状的 PAMAM 大分子骨架不是荧光形成的主要因素, 而末端羟基的氧化才是其产生荧光的根源^[13]。然而, 同年 9 月日本名古屋大学的 Imae 课题组^[14]却发现 PAMAM 的代数对

10.14028/j.cnki.1003-3726.2018.03.003

收稿:2017-06-08;修回:2017-09-22;

基金项目:西北工业大学博士论文创新基金项目(CX201719);

作者简介:原璐瑶(1995—),女,硕士,主要从事超支化聚合物的荧光性能研究;

* 通讯联系人, E-mail: hongxiayan@nwpu.edu.cn.

荧光强度具有显著的影响。在酸性条件下,末端含伯胺、羟基和羧酸盐的 PAMAM 树枝状大分子均能发射强烈的蓝色荧光,原因在于质子化的叔胺使整个树枝状的内部充满了阳离子,这种强的电荷-电荷排斥效应使得 PAMAM 的结构更具刚性,端位官能团之间变得更加紧密。此后,该课题组又发现氧化也能使其发光,叔胺的氧化是荧光产生的根源^[15],并且在大分子内部叔胺的支化点上氧原子是不可缺少的,聚合物能够在氧与叔胺支化点处形成过氧自由基或者激基缔合物,从而导致瞬态吸收和蓝色发光^[16]。但是,近期山东大学的冯圣玉课题组^[17]发现一些含硅的 PAMAM 树枝状大分子(Si-PAMAM)未经任何氧化或酸化处理,也可发射出明亮的荧光,发光强度随着代数及溶液浓度的增加而快速增强。通过与不含硅的 PAMAM 树枝状聚合物进行对比研究,发现 N→Si 配位键所引起的羰基的聚集是荧光产生的根源。由此可见,PAMAM 的本体荧光特性很弱,但对其进行酸化、氧化或引入硅原子可赋予其显著的荧光发射性。

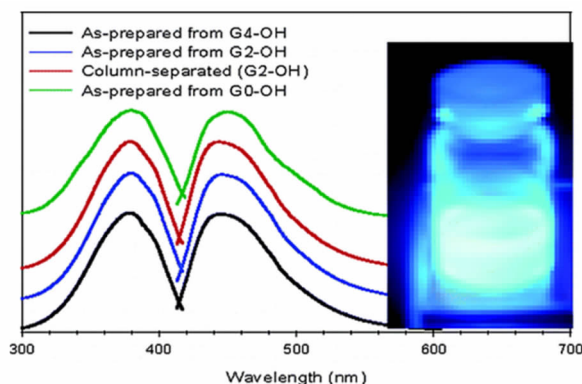


图 1 经 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (APS)氧化处理后不同代数 PAMAM-OH 的荧光光谱

Figure 1 The fluorescence spectra of APS-treated PAMAM-OH with different generation

尽管聚酰胺胺的发光机理存在争议,但近年来通过对聚酰胺胺进行修饰及改性,赋予其特殊的性能,并将其应用于各个领域的工作从未停止^[18]。2015 年, Tsai 等^[19]用光致发光的树枝状 PAMAM 作为基因载体运载反义寡核苷酸(AS-ODN),来抑制 C6 神经胶质瘤细胞的 p75 神经营养因子受体(P75NTR),作为集基因运载、细胞成像于一体的发光聚合物。同年, Chen 等^[20]合成了具有 pH 响应性和荧光性的纤维素纳米晶体接枝的树枝状聚酰胺胺(CNC-PAMAM), CNC-PAMAM 在 pH 响应装置、荧光感应性的纳米反应器上具有潜在的应用。2016 年, Koley 等^[21]发现在硝基芳香化合物的存在下,树枝状 PAMAM 具有很高的电子转移速率,导致其荧光猝灭。因此,树枝状 PAMAM 可以用来检测硝基芳香爆炸化合物。Yang 等^[22]将 PAMAM 和氧化海藻酸钠(OALG)的水溶液混合,形成水凝胶。该水凝胶可发射蓝色荧光,有自修复功能、pH 敏感性和降解能力,因此在组织工程学、可控药物释放等生物医学领域有潜在应用价值。Gao 等^[23]通过聚醚 F127 修饰聚酰胺胺,合成了具有 CO_2 刺激响应性和荧光性的树枝状聚合物。 CO_2 存在下聚合物荧光强度增强,并可用作姜黄素的药物控释体。

1.2 聚氨基酯

聚氨基酯(PAE)是另一类常见的含氮发光聚合物。2005 年,新加坡国立大学的 Liu 等^[24]首次报道了末端分别为单羟基、伯胺基和双羟基的超支化聚氨基酯的光致发光现象。研究发现,分子中叔胺/羰基的共存和紧密的树枝状结构是其发光的关键因素,且末端含单羟基的超支化 PAE 的荧光最强,通过氧化处理能起到增强荧光的作用。2012 年,中国科学技术大学的潘才元课题组^[25]发现超支化的 PAE 可发射强烈的荧光,而线性 PAE 仅能发射微弱的荧光。由此认为,超支化结构对于保持叔胺的高荧光效率是非常重要的, N→O 的形成是荧光产生的原因。

近年来,由于聚氨基酯的荧光性能,其在生物医学、离子检测等领域得到了广泛的研究。2011 年, Shen 等^[26]合成了具有 pH 和温度双重响应的树枝状聚氨基酯,利用聚合物固有的荧光性可以用来检测

疏水性药物阿霉素(DOX)的负载和释放。2016 年,西北工业大学颜红侠课题组 Du 等^[27]通过简易的一步法,合成了水溶性的荧光超支化聚氨基酯(如图 2 所示)。该聚合物具有 pH 响应性,当 pH 由 10 逐步降到 4 时,荧光强度逐渐提高。然而,当 pH 进一步降低时,荧光强度反而降低。该团队又探究了不同浓度的 Hg^{2+} 和 Fe^{3+} 对聚合物荧光强度的影响,研究发现,随着 Hg^{2+} 和 Fe^{3+} 浓度的增加,聚氨基酯溶液的荧光强度明显降低。当 Hg^{2+} 和 Fe^{3+} 的浓度增加至 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,聚氨基酯溶液的荧光强度减弱至几乎为零。因此,有望作为 Hg^{2+} 和 Fe^{3+} 的离子探针。

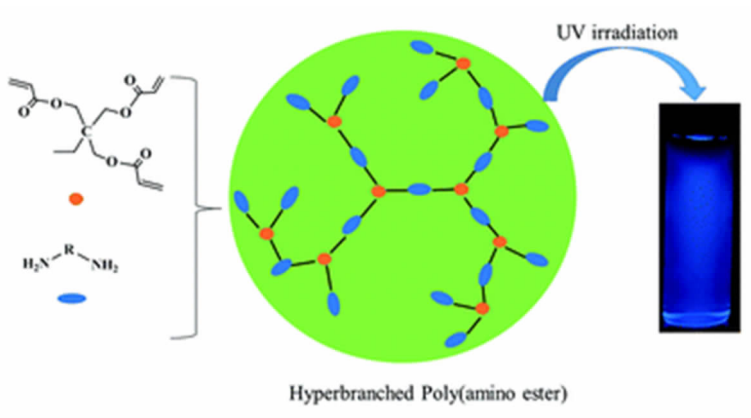


图 2 水溶性超支化 PAE 的合成

Figure 2 Synthesis of water-soluble hyperbranched PAE

2 仅含脂肪胺的聚合物

2.1 聚乙烯亚胺

在研究含羰基的胺类发光聚合物的同时,科学家们还发现一些不含羰基的胺类聚合物,如聚乙烯亚胺(PEI)在适当的条件下也可发射明亮的荧光。超支化 PEI 和线性 PEI 经氧化或酸化后荧光也会增强,且线性 PEI 具有更强的荧光,说明树枝状结构和超支化结构不是荧光产生的必要条件,而脂肪胺基的存在对荧光种的形成起到了关键作用^[28]。另外,近期吉林大学的孙宸晨课题组^[29]将超支化 PEI 用 CCl_4 进行交联后荧光增强,原因在于交联 PEI 分子的振动和旋转受到限制,使得非辐射通道受阻,更容易以辐射方式释放能量(如图 3 所示)。

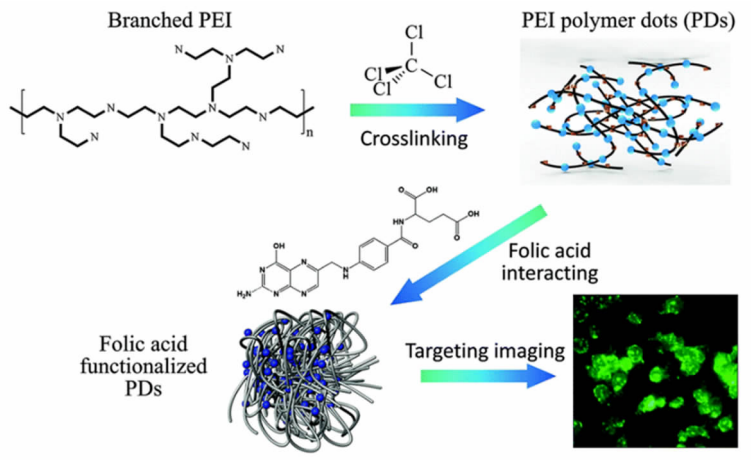


图 3 PEI 聚合物点的制备、功能化以及靶向成像

Figure 3 PEI polymer dots synthesis, functionality, and targeted imaging

2016 年,中国医学科学院 Zhang 等^[30]成功合成了一种新型的具有荧光性、生物相容性和低毒性的京尼平交联的球蛋白-PEI 纳米颗粒(Gb-G-PEI),Gb-G-PEI 纳米颗粒在追踪标记和肿瘤细胞药物选择性输送系统中有很大应用潜力。同年,西南大学的 Liu 等^[31]用超支化聚乙烯亚胺(hPE)和甲醛交联合成聚合物微球和凝胶,研究了其在不同 pH 值下的荧光行为,发现聚合物有高度的 pH 依赖性。

2.2 聚醚胺

聚醚胺作为另一类不含羰基的聚合物,也具有 AIE 效应。例如,2008 年,Jayamurugan 等^[32]研究了末端含大量羟基的聚醚胺树枝状聚合物,发现随着树枝状聚合物代数的增加,荧光强度增强,其溶液的荧光在酸性 pH 及粘性溶剂中增强(如图 4 所示)。并且,还发现高氯酸根、高碘酸根和亚硝酸根可有效猝灭荧光。2013 年,该团队又研究了在芳香化合物存在下聚醚胺树枝状聚合物的光致发光现象,在客体芳香硝基聚合物的存在下,聚合物发生了荧光猝灭^[33]。

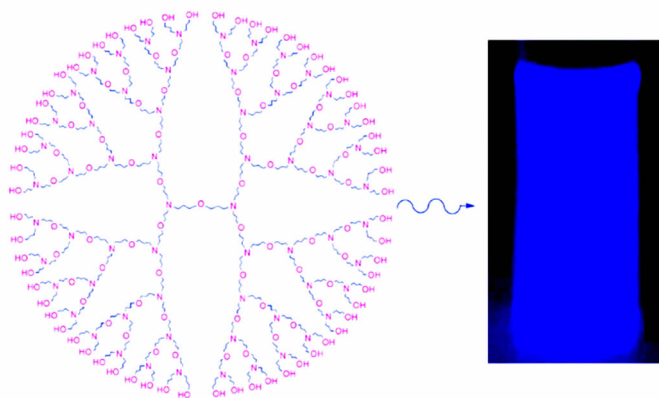


图 4 含端羟基的超支化聚醚胺及其蓝色荧光

Figure 4 Hydroxyl-terminated hyperbranched poly(ether imine) and its blue fluorescence

3 超支化聚硅氧烷

3.1 含端氨基和端羟基的水溶性超支化聚硅氧烷

超支化聚硅氧烷是一类新型的具有 AIE 效应的荧光聚合物。西北工业大学颜红侠课题组首次发现并研究了骨架含 Si 的超支化聚合物荧光性能,Si—O 键的存在赋予其优良的荧光特性及生物降解性。2016 年,该团队通过简单的酯交换工艺,经一步法成功合成了两种同时含端氨基和端羟基的水溶性超支化聚硅氧烷,发现所制备的聚合物在紫外灯照射下能发射明亮的蓝色荧光,表现出 AIE 效应^[34],并且含新戊二醇(NPG)单元的聚合物由于具有更大的空间位阻,从而更容易限制其分子内旋转,导致荧光强度高于含 2-甲基-1,3-丙二醇(MPD)单元的聚合物。令人意外的是,水解后荧光强度进一步增强。研究表明,氨基的存在对聚合物的发光几乎没有贡献,而端羟基的聚集对蓝色荧光种的形成起到了关键作用。该合成方法成本低廉,简单可控,所合成的聚合物有望用于荧光探针、生物成像等领域。

3.2 含端羟基和环氧基的超支化聚硅氧烷

该团队又合成了含端羟基和环氧基的超支化聚硅氧烷(SHBEp)(如图 5A 所示),该聚合物在紫外灯照射下可发出蓝色荧光^[35, 36]。为了进一步考察环氧基在荧光发射中所起的作用,又合成了结构中仅含环氧基的超支化聚硅氧烷(SHBEp),结果发现,新制得的聚合物仍能发射蓝色荧光,由此说明,羟基和环氧基同时对荧光种的形成起到了关键作用。此外,还探究了溶剂比例对发光强度的影响,发现不良溶剂的加入可显著影响荧光发射。用端羧基聚醚对 SHBEp 进行改性(如图 5B 和 C 所示),赋予其一定的水溶性,且荧光强度进一步增加;然而,随着聚醚含量的增加,聚合物的荧光强度反而变弱。

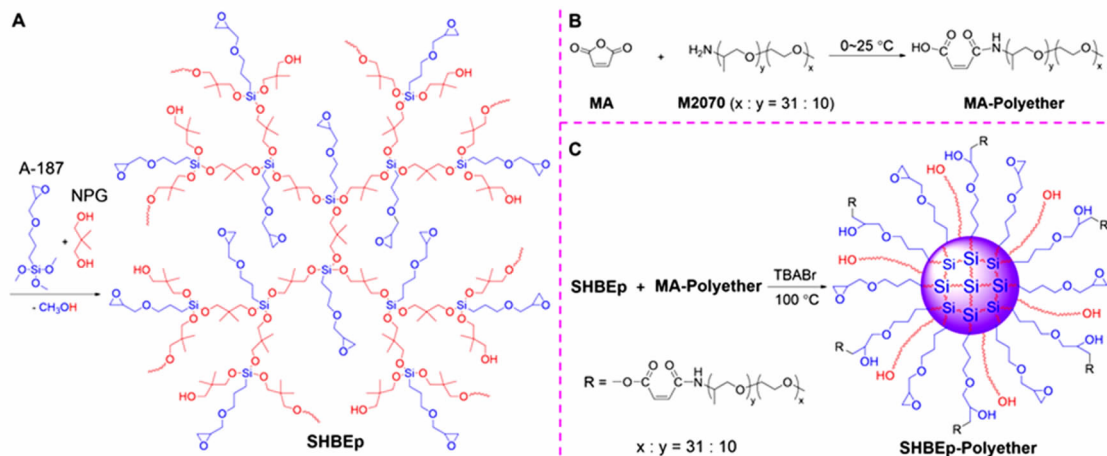


图 5 (A)SHBEp、(B)MA-Polyether 和(C)SHBEp-Polyether 的合成

Figure 5 The synthesis route to (A) SHBEp, (B) MA-polyether and (C) SHBEp-polyether

3.3 含非共轭双键和羟基的超支化聚硅氧烷

为了进一步证实了酯交换缩聚法的通用性,为开发新的荧光材料提供一种新思路,研究者又合成了同时含有非共轭双键和羟基的超支化聚硅氧烷,发现聚合物的荧光强度随分子量的增加而增强,非共轭双键也对荧光种的形成起到了关键作用^[37]。

3.4 含脂肪叔胺的水溶性超支化聚硅氧烷

研究发现,脂肪叔胺在荧光种的形成过程中起到了关键作用,它的酸化或氧化是产生荧光的原因^[38],含脂肪叔胺的水溶性超支化聚硅氧烷未经任何处理就可发射明亮的蓝色荧光^[39]。研究还发现端羟基在蓝色荧光种的形成中也起到了关键作用。此外,还观察到显著的浓度和 pH 依赖的发光现象,同时该类聚合物对 Fe^{3+} 表现出了显著的选择性猝灭。因此,该类聚合物有望用于 Fe^{3+} 荧光探针。

4 其它

4.1 仅含羰基的聚合物

研究发现,仅含羰基的聚合物也具有 AIE 效应。2015 年,香港科技大学的唐本忠课题组^[40]报道了仅含羰基的马来酸酐和醋酸乙烯酯交替共聚物(PMV)的荧光性能,发现其有溶致变色效应,与富电子的溶剂作用后,其吸收和发射峰因聚合物-溶剂络合物的形成而产生红移现象。这些结果进一步证明了即使没有共轭体系,羰基功能团的聚集可产生生色团(如图 6 所示)。

4.2 超支化聚醚

仅含醚键的超支化聚合物也能发出明亮的荧光。2016 年,北京工业大学的 Miao 等^[41]通过质子转移聚合的简单一步法合成了脂肪族超支化聚醚,该超支化聚醚不含任何生色团,在溶剂和聚集状态下都可发出强烈的蓝色荧光,聚合物表现出 AIE 效应。除此之外, Fe^{3+} 可使超支化聚醚荧光猝灭,因此可作为 Fe^{3+} 的生物荧光探针。

4.3 自组装体

除上述之外,自组装体也表现出明显的 AIE 效应。2016 年,Liu 等^[42]用两亲性分子聚醚酰胺(PEA)自组装形成可自发荧光的纳米胶束,PEA 分子在溶液中是不发光或发光微弱的,形成胶束后发出明显增强的蓝色荧光。胶束的荧光是由于两亲性分子在水中自组装的结果,通过分子内酰胺基间的氢键使分子内旋转受阻。

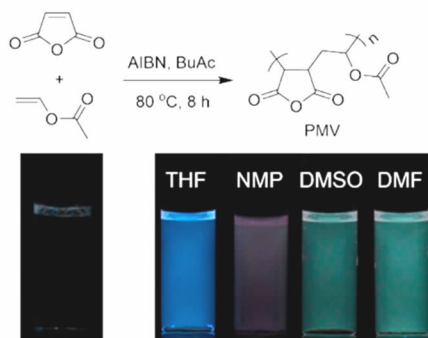


图 6 马来酸酐与醋酸乙烯酯交替共聚物的制备及其溶致变色

Figure 6 Synthesis of poly[(maleic anhydride)-alt-(vinyl acetate)] and its solvatochromism

5 总结与展望

目前,非共轭发光聚合物的研究主要集中在新聚合物的开发、发光机理的探索和生物等领域的应用。这类发光聚合物主要是一些含氮的聚合物,如聚酰胺胺、聚氨基酯、聚醚酰胺、聚脲以及聚乙烯亚胺等以及少数的不含氮聚合物(超支化聚硅氧烷、仅含羰基聚合物、超支化聚醚等)。产生荧光的原因众说纷纭,没有形成统一的观点。前期研究认为,脂肪叔胺类的聚合物分子中叔胺的氧化是其发光的原因,而有的研究又发现无需氧化也能发光;后期发现不含氨基的聚合物也能发光。最近的理论倾向于唐本忠及其合作者提出的分子内旋转受阻(RIR)引起聚合物的发光^[43],即旋转受阻时非辐射通道被抑制,辐射通道打开,因此激发态能量以辐射方式产生显著的荧光。

这类非共轭发光聚合物仍存在以下问题:(1)荧光强度不高,色谱单一(主要为蓝色光),量子产率偏低;(2)可发光的聚合物种类较少,制备工艺复杂,难以大规模生产;(3)对于其发光机理缺少统一的深刻理解,呈现出了“百家争鸣”的状态。这些问题大大限制了非共轭荧光聚合物的研究发展及在生物领域中的应用。因此,设计、开发荧光强度高、易于大规模生产的非共轭荧光聚合物,阐明其结构与发光性能之间的关系,揭示其发光机理,已成为目前发光材料领域研究的热点和难点。

参考文献:

- [1] Mei J, Leung N L, Kwok R T, Lam J W, Tang B Z. *Chem Rev*, 2015, 115(21): 11718.
- [2] Zhao E, Lam J W Y, Meng L, Hong Y, Deng H, Bai G, Huang X, Hao J, Tang B Z. *Macromolecules*, 2015, 48(1): 64~71.
- [3] Hu R, Leung N L, Tang B Z. *Chem Soc Rev*, 2014, 43(13): 4494~4562.
- [4] Cao Z, Liang X, Chen H, Gao M, Zhao Z, Chen X, Xu C, Qu G, Qi D, Tang B Z. *Polym Chem-UK*, 2016, 7(35).
- [5] Shao A, Xie Y, Zhu S, Guo Z, Zhu S, Guo J, Shi P, James T D, Tian H, Zhu W H. *Angew Chem*, 2015, 54(25): 7275~7280.
- [6] 唐本忠. *光学与光电技术*, 2016, 14(3): 1~8.
- [7] Li W, Qu J, Du J, Ren K, Wang Y, Sun J, Hu Q. *Chem Commun*, 2014, 50(67): 9584~9587.
- [8] Pastor Pérez L, Chen Y, Shen Z, Lahoz A, Stiriba S E. *Macromol Rapid Comm*, 2007, 28(13): 1404~1409.
- [9] Sun M, Hong C Y, Pan C Y. *J Am Chem Soc*, 2015, 134(51): 20581~20584.
- [10] 黄田, 汪昭旸, 秦安军, 孙景志, 唐本忠. *化学学报*, 2013, 71(7): 979~990.
- [11] Larson C L, Tucker S A. *Appl Spectrosc*, 2001, 55(6): 679~683.
- [12] Lee W I, Bae Y, Bard A J. *J Am Chem Soc*, 2004, 126(27): 8358~8359.
- [13] Lin S Y, Wu T H, Jao Y C, Liu C P, Lin H Y, Lo L W, Yang C S. *Chemistry*, 2011, 17(26): 7158.
- [14] Wang D, Imae T. *J Am Chem Soc*, 2004, 126(41): 13204~13205.
- [15] Wang D, Imae T, Miki M. *J Colloid Interface Sci*, 2007, 306(2): 222~227.
- [16] Chu C C, Imae T. *Macromol Rapid Comm*, 2009, 30(2): 89~93.
- [17] Lu H, Feng L, Li S, Zhang J, Lu H, Feng S. *Macromolecules*, 2015, 48(3): 1866~186622.

- [18] 王东军,贾丹丹,郑学芳,刘璐,田宏燕,王少飞. 高分子通报,2011,(5):27~33.
- [19] Tsai Y J, Hu C C, Chu C C, Imae T. Biomacromolecules, 2014, 12(12):4283~4290.
- [20] Chen L, Cao W, Grishkewich N, Berry R M, Tam K C. J Colloid Interface Sci, 2015, 450(12):101.
- [21] Koley S, Ghosh S. Phys Chem Chem Phys Pcp, 2016, 18(36):24830.
- [22] Yang W, Wu X, Liu F, Dou Y, Hu Z, Hao W. RSC Adv, 2016, 6(41):34254~34260.
- [23] Gao C, Lü S, Liu M, Wu C, Xiong Y. Nanoscale, 2015, 8(2):1140.
- [24] Decheng Wu, Liu Y, Chaobin He A, Goh S H. Macromolecules, 2015, 38(24):9906~9909.
- [25] Sun M, Hong C Y, Pan C Y. J Am Chem Soc, 2015, 134(51):20581~20584.
- [26] Shen Y, Ma X, Zhang B, Zhou Z, Sun Q, Jin E, Sui M, Tang J, Wang J, Fan M. Degradable Dual pH-and Temperature-Responsive Photoluminescent Dendrimers. 2011, 5319, 5326.
- [27] Du Y, Yan H, Niu S, Bai L, Chai F. RSC Adv, 2016, 6(91).
- [28] Pastor Pérez L, Chen Y, Shen Z, Lahoz A, Stiriba S E. Macromol Rapid Comm, 2007, 28(13):1404~1409.
- [29] Sun B, Zhao B, Wang D, Wang Y, Tang Q, Zhu S, Yang B, Sun H. Nanoscale, 2016, 8(18):9837.
- [30] Zhang Y, Mao L, Liu J, Liu T. Mater Sci Eng C, 2017, 71:17~24.
- [31] Shi G L, Na L, Yu L, Bei H K, Geng S, Li N B, Hong Q L. Langmuir Acs J Surfaces Colloids, 2016, 32(7):1881.
- [32] Jayamurugan G, Umesh C P, Jayaraman N. Org Lett, 2008, 10(1):9~12.
- [33] Bagul R S, Rajesh Y B R D, Jayamurugan G, Bera A, Sood A K, Jayaraman N. J Photochem Photobiol A Chem, 2013, 253(2):1~6.
- [34] Niu S, Yan H, Chen Z, Yuan L, Liu T, Liu C. Macromol Rapid Comm, 2015, 37(2):136~142.
- [35] Niu S, Yan H, Li S, Xu P, Zhi X, Li T. Macromol Chem Phys, 2016, 217: 1185~1190.
- [36] Niu S, Yan H, Li S, Tang C, Chen Z, Zhi X, Xu P. J Mater Chem C(J Mater Chem C), 2016, 4(28):6881~6893.
- [37] Niu S, Yan H, Chen Z, Li S, Xu P, Zhi X. Polym Chem-UK, 2016, 7(22):3747~3755.
- [38] Yang W, Pan C Y. Macromol Rapid Commun, 2009, 30(24):2096~2101.
- [39] Niu S, Yan H, Chen Z, Du Y, Huang W, Bai L, Lv Q. RSC Adv, 2016, 6(108).
- [40] Zhao E, Lam J W Y, Meng L, Hong Y, Deng H, Bai G, Huang X, Hao J, Tang B Z. Macromolecules, 2015, 48(1):64~71.
- [41] Miao X, Liu T, Zhang C, Geng X, Meng Y, Li X. Phys Chem Chem Phys, 2016, 18(6):4295~4299.
- [42] Liu C, Cui Q, Jing W, Yang L, Jing C. Soft Matter, 2016, 12(19):4295~4299.
- [43] Tseng N W, Liu J, Ng J C Y, Lam J W Y, Sung H H Y, Williams I D, Tang B Z. Chem Sci, 2012, 3(2):493~497.

The Progress of Nonconjugated Photoluminescent Polymers

YUAN Lu-yao, YAN Hong-xia*, BAI Li-hua, NIU Song, DU Yu-qun, HUANG Wei

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: The polymers with the aggregation-induced emission (AIE) effect usually contain π - π conjugated chromophore. Recently, polymers containing unconventional chromophores, such as aliphatic amine, carbonyl, ester group et al., can also emit eye-catching bright fluorescence under appropriate conditions. Compared with conjugated photoluminescent polymers, containing benzene and heterocyclic ring, nonconjugated photoluminescent polymers show lower toxicity and better environmental friendly. Therefore, nonconjugated photoluminescent polymers have potential application in biological probe, drug delivery, and bioimaging. However, it is a big challenge to reveal the mechanism of photoluminescence, which is now controversial. In this paper, the photoluminescence mechanism and the latest application research of the polymers are analyzed, based on the species of polymers, including hyperbranched poly(amidoamine), poly(amino ester), poly(ethylenimine), polysiloxanes.

Key words: Aggregation-induced emission; Conjugated; Hyperbranched polymers; Fluorescence