



基于单分子荧光团构筑多色超分子组装体

周晓和, 刘会, 吉晓帆*

能量转换与存储材料化学教育部重点实验室, 材料化学与服役失效湖北省重点实验室, 华中科技大学化学与化工学院, 武汉 430074

*通讯作者, E-mail: xiaofanji@hust.edu.cn

收稿日期: 2023-08-01; 接受日期: 2023-08-29; 网络版发表日期: 2023-12-01

国家自然科学基金(编号: 22001087)和中央高校基本科研业务费专项资金(编号: 2020kfyXJJS013)资助项目

摘要 超分子组装体是基于分子间的非共价作用形成的具有一定结构和功能的聚集体, 将其与多色荧光材料结合可实现其在生物成像、化学传感以及智能防伪材料等领域应用, 因此, 受到了科研工作者广泛关注。目前, 多色荧光材料一般是通过结合多种荧光团的方式来实现不同颜色的构筑, 但其需要进行多个不同荧光分子的制备, 且合成复杂。而基于单一荧光分子制备多色超分子组装体的方法相对简单。只需制备一种荧光分子, 而且合成相对容易且荧光颜色灵活可调。通过利用单分子荧光团构筑多色超分子组装体对于研究超分子自组装过程以及开发新型多色荧光功能体系具有重要意义。本文聚焦多色荧光超分子组装体的研究和发展现状, 重点介绍了本课题组基于单分子荧光团制备的不同拓扑结构的多色超分子组装体及其功能应用并对该领域的未来发展进行了展望。

关键词 单分子荧光团, 非共价作用, 多色, 超分子组装体

1 引言

超分子组装体是指相同或不同分子之间通过非共价作用形成具有一定结构和功能的聚集体。其中常见的非共价作用有氢键作用、 π - π 堆积作用、金属配位作用、主客体作用以及亲疏水作用等^[1,2]。超分子组装体的结构和功能往往取决于分子之间的排列方式和相互作用力的性质。例如, 分子之间的亲疏水相互作用, 使得其不同比例的亲水亲油溶剂中形成具有不同形貌的聚集体, 如胶束、囊泡、纤维等结构^[3,4]; 分子之间特定的氢键基序可使得组装体呈现不同的二维或三维有序结构^[5-7]; 分子之间的 π - π 堆积作用可以赋予组装体特定的光学、电子或磁性^[8-11]。超分子组装体

由于其独特的连接方式, 多样的排列结构以及动态可逆等特点使其在生物、化学以及材料科学等领域中展现出广泛的应用前景^[12-17]。其一, 超分子组装体可被用作载体材料^[18,19], 用于药物运输与释放; 其二, 超分子组装体可用于构建化学传感材料^[20,21], 将具有特殊识别位点的功能基元引入超分子组装体中, 可实现对特定金属离子或者有机分子的高灵敏检测; 其三, 超分子组装体可用于构筑新型智能材料, 得益于超分子单体易修饰的特性, 将具有光/热/pH等刺激响应性的功能分子引入到组装基元中, 可制备具有不同功能的响应性智能材料^[22,23]。现如今, 关于超分子组装体的研究已经取得丰硕的成果, 并且在化学、生物、材料科学等领域都有重要研究和应用价值。通过深入理

引用格式: Zhou X, Liu H, Ji X. Multi-color supramolecular assemblies constructed based on single molecule fluorophore. *Sci Sin Chim*, 2023, 53: 2561–2567, doi: 10.1360/SSC-2023-0174

解组装过程以及精确控制组装行为, 对于设计和开发新型超分子组装体以及拓宽其应用领域具有重要意义。

多色荧光材料作为一种具有多波段吸收的发光材料, 因其在全色彩显示、生物成像、荧光探针和防伪材料等领域中的潜在应用而引起了科研工作者极大的研究兴趣^[24-29]。陈涛课题组^[30-33]在多色荧光智能水凝胶领域开展了一系列工作。2021年, 该课题组将多种荧光团与水凝胶材料结合实现仿生变色软体皮肤的构筑^[34]; 同年, 该课题组利用三种不同颜色的荧光分子开发设计一种具有核壳结构的超分子凝胶, 并基于其荧光颜色可编程性将其应用于防伪材料^[35]; 同时, 该课题组将两种荧光团引入到凝胶网络中, 并基于紫外触发荧光共振能量转移的变色机理构筑了具有动态荧光信息防伪能力的信息储存材料^[36]。此外, 本课题组^[37]在构筑多色荧光凝胶材料方面开展了一系列工作。2018~2022年, 本课题组通过利用多种荧光团来构筑具有不同颜色的凝胶基元, 并基于凝胶基元间界面黏附作用制备出具有多色荧光性质的凝胶组装体。其中界面黏附可通过氢键作用^[38,39]、主客体识别作用^[40]、动态共价键^[41]以及多种驱动力结合^[42]的方式来实现。在完成多色荧光凝胶组装体的制备后, 本课题组利用该组装体的多色荧光性质成功实现其在信息存储以及信息加密材料的应用。

目前, 多色荧光材料一般需要结合多种荧光分子来实现其不同颜色的制备。这种方法需要合成多种荧光分子, 合成复杂且耗时。利用单一荧光团制备多色荧光材料的方法则相对简单, 因此受到了极大的关注。近年来, 科研工作者开发了许多具有荧光颜色可调性的单分子荧光团。例如, 2007年, 维尔茨堡大学 Würthner等^[43]总结了许多具有J型聚集的染料分子, 这类染料分子具有多种聚集模式且在不同浓度下呈现不同的荧光发射。2015年, 田禾院士团队^[44]研制出一种含吩嗪单元的荧光分子, 并通过控制溶剂极性 or 聚集状态实现其多种荧光颜色的切换。2017年, 唐本忠院士团队^[45]开发了一种具有湿度响应的变色荧光分子四苯乙烯衍生物, 该分子基于聚集诱导活性分子转子的扭曲电荷转移效应, 使得不可见的湿度响应转变为可视化的荧光颜色变化。2020年, 该团队^[46]研发出一种具有溶剂极性响应的荧光分子三苯胺乙烯吡啶衍生物, 其不同溶剂中可显示不同的荧光颜色。

2020~2023年, 华东理工大学曲大辉团队^[47-49]基于单分子荧光团开发制备出一系列多色荧光超分子组装体。由于含芘衍生物的荧光发射波长与荧光团之间的距离密切相关, 作者通过主客体识别作用、亲疏水作用以及控制溶剂组成等方式来调控组装行为, 进而可产生不同的荧光颜色变化。2022年, 倪新龙课题组^[50]开发设计了一种具有荧光性质的客体分子二苯并咪唑苯基吡啶阳离子衍生物。他们将其与葫芦[8]脲进行主客体络合从而构建超分子组装体, 并通过调控单体浓度实现了不同颜色的荧光发射。尽管目前关于多色单分子荧光团的研究受到广大科研工作者的青睐, 并已成为当前热门研究领域之一, 但是将其与超分子组装体结合的例子还是比较少。因此, 将超分子组装体与具有多色荧光性质单分子荧光团进行巧妙结合, 不仅为开发制备新型多色荧光功能材料提供了新的研究方向, 而且对材料科学以及超分子化学的发展具有重要意义。本文主要介绍本课题组基于单分子荧光团构筑的多色超分子组装体, 并且依据组装体的拓扑结构将其分为三类: 线形超分子聚合物、超分子聚合网络、超分子凝胶(图1)。

2 基于单分子荧光团构筑不同拓扑结构的多色超分子组装体

2.1 基于单分子荧光团构筑多色线形超分子聚合物

超分子聚合物是单体通过非共价作用连接而成的聚合物阵列, 并且在溶液或体相中均表现出聚合物的性质。基于超分子聚合物的浓度依赖性, 单体浓度不同, 所形成的超分子聚合物分子量不同。将具有荧光颜色可调节的单分子荧光团引入到超分子聚合物中, 若其荧光颜色随着单体浓度的变化发生相应的改变, 可将其用于超分子聚合物分子量的荧光可视化区分。

2022年, 本课题组^[51]报道了基于J型聚集染料萘二酰亚胺(NDI)构筑的超分子聚合物, 其单体M1以NDI为核心, 双臂修饰有三联吡啶配体。在DMF/H₂O混合溶液中, 单体M1与Zn(OTf)₂通过Zn²⁺与三联吡啶金属配位作用发生自组装行为(图2)。随着单体浓度的增加, 其自组装行为发生变化, 由最初环状组装体或寡聚物到最终高浓度形成的超分子聚合物。由于单体聚集程度增加, NDI发生J型聚集, 荧光发射发生红移, 其荧光颜色发生从绿色到黄色再到橙色的转变。基于NDI

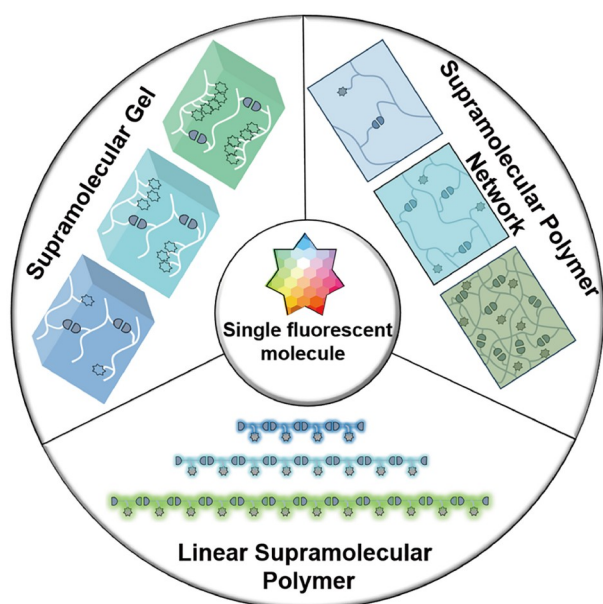


图 1 基于单分子荧光团构筑不同拓扑结构的多色超分子组装体(网络版彩图)

Figure 1 Multi-color supramolecular assemblies with different topological structures were constructed based on single molecule fluorophore (color online).

的浓度依赖性, 我们通过不同单体浓度的超分子聚合实现了具有不同荧光颜色的超分子聚合物的构筑. 在超分子自组装过程中, 单体分子与荧光分子的聚集行为是同步的, 因此可以利用荧光颜色的变化可视化观察单体的聚集行为从而定性分析超分子聚合物分子量的变化. 此外, 本课题组通过阴离子调控实现超分子聚合物的解离.

同年, 本课题组基于结构可调的苊苯并脲衍生物设计并合成了一种具有聚集诱导比率特性的发光超分子聚合物^[52], 其单体M2由含苊苯并脲和2-脲基-4-嘧啶酮单元组成. 苊苯并脲衍生物作为一类特殊的聚集诱导发光物质^[53], 该荧光团中含有酰胺结构, 酰胺上的氢键作用会诱导增强荧光分子间的 π 共轭结构, 进而使荧光发射波长发生变化, 实现不同荧光颜色的转变, 因此可以将其用于表示超分子聚合物聚集状态的变化. 随着单体M2浓度的增加, 超分子聚合物聚合度发生变化, 其荧光团聚集程度也发生相应颜色变化即由蓝色到黄绿色(图3). 因此, 可以通过荧光颜色的不同来区分不同区间段的超分子聚合物, 从而实现超分子聚合物分子量的荧光可视化区分.

随后, 本课题组^[54]报道了另一种基于J型聚集染料

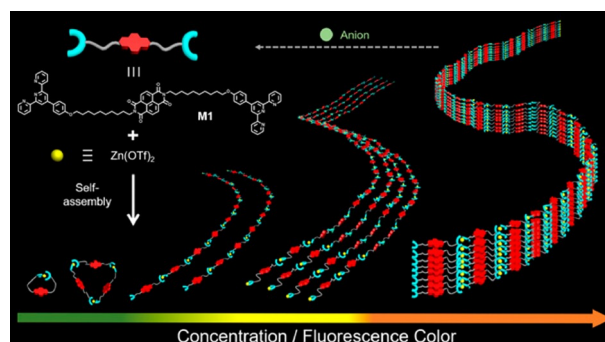


图 2 超分子单体的化学结构和超分子聚合过程, 以及荧光颜色的变化和阴离子响应示意图^[51](网络版彩图)

Figure 2 Chemical structure and supramolecular polymerization process of supramolecular monomers, and schematic diagram of the fluorescence color changes and anion response behavior with increasing interaction between monomers^[51] (color online).

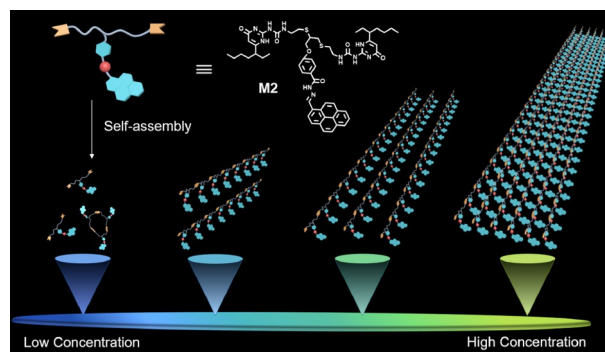


图 3 单体M2的化学结构, 以及超分子聚合过程和荧光颜色随M2浓度增加而变化的示意图^[52](网络版彩图)

Figure 3 Chemical structure of monomer M2, and the schematic diagram of supramolecular polymerization process and the change of fluorescence color as M2 concentration increases^[52] (color online).

的发光超分子聚合物. 将寡聚(对苯基乙烯基)衍生物引入到超分子单体M3中并通过金属配位驱动实现超分子聚合. 由于超分子单体M3与荧光分子都具有浓度依赖性, 随着超分子聚合物聚集状态的变化, 其荧光颜色发生从青色到黄绿色的变化(图4).

2.2 基于单分子荧光团构筑多色超分子聚合网络

在线形聚合物上修饰非共价位点可实现线性聚合物向超分子聚合物网络的转变. 在线形聚合物演变为超分子聚合物网络过程中, 将单分子荧光团引入其中, 随着交联度的增加, 聚合物之间的聚集程度增加, 如果单分子荧光团也因聚合物聚集程度的增加发生荧光颜色变化, 则可实现聚合物交联过程的可视化监测.

2022年, 本课题组^[55]将具有聚集诱导比率发光特性的荧光物质苝苯并脲衍生物引入到由聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)主链和2-脲基-4-嘧啶(UPy)官能化单元组成的聚合物**P1**中. 由于UPy四重氢键作用, 聚合物**P1**会自组装形成超分子聚合网络. 在聚合物向超分子聚合网络转变过程中, 聚合物中链与链之间距离缩小, UPy单元间的四重氢键作用增加, 进而使荧光分子的聚集程度和交联程度不断增加, 直至形成超分子聚合网络. 同时, 随着浓度的增加, 聚合物的苝苯并脲荧光团相互靠近, 它们在聚集状态下分子间芳香族的堆叠距离发生改变, 使超分子聚合网络发生了变化, 其荧光颜色也从蓝色变到绿色, 进而实现了聚合物交联过程的可视化(图5).

2023年, 本课题组^[56]制备了含有吡啶溴盐和苝苯并脲衍生物的聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)主链聚合物**P2**和双柱[6]芳烃主体分子**M4**, 基于柱[6]芳烃与吡啶

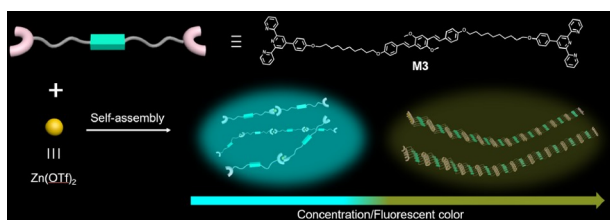


图4 超分子单体**M3**的化学结构以及荧光颜色随单体浓度的增加而变化的示意图^[54](网络版彩图)

Figure 4 Chemical structure of the supramolecular monomer **M3**, and the schematic diagram of variations in the fluorescence color with the increasing monomer concentration ^[54] (color online).

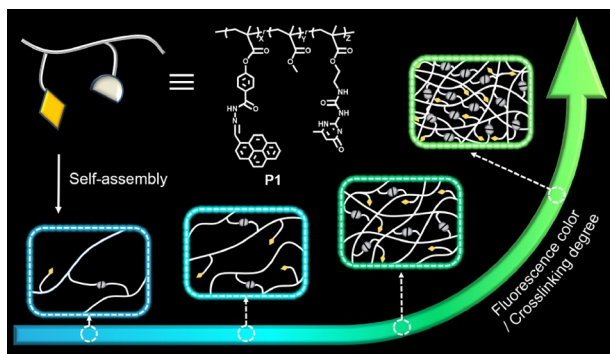


图5 聚合物链**P1**的化学结构以及其交联成超分子聚合物网络的过程以及荧光颜色随**P1**溶液浓度增加而变化的示意图^[55](网络版彩图)

Figure 5 Chemical structure of polymer chain **P1**, and schematic diagram of its crosslinking process into supramolecular polymer networks and the change of fluorescence color with increasing concentrations of **P1** solution ^[55] (color online).

盐的主客体识别作用, **P2**与**M4**在溶液中可形成超分子聚合物网络(图6). 随着浓度升高, 聚合物网络交联度提高, 荧光团聚集增加, 荧光颜色发生了从蓝色到绿色的转变, 从而实现交联过程的可视化监测. 此外, 通过升温或者加入还原剂二硫苏糖醇(DTT)的方式可实现其刺激响应性.

2.3 基于单分子荧光团构筑多色超分子凝胶

当超分子聚合网络中的交联密度进一步增加, 其聚集形态会从超分子聚合网络溶液向超分子凝胶转变. 凝胶具有类似固体材料的特性, 将具有多色荧光性质的单分子荧光团引入到超分子凝胶中, 可实现多色凝胶的构筑. 基于多色凝胶的荧光颜色可变的特性, 可将其用于信息加密和智能防伪材料等领域.

2022年, 本课题组^[57]基于苝苯并脲(PBHZ)荧光团和2-脲基-4-嘧啶酮(UPy)单元设计了一种具有多色荧光性质的超分子黏合剂凝胶(**P3**). 通过适当调节PBHZ组分的浓度可使制备出的凝胶块显示出不同的荧光颜色, 范围从蓝色到绿色(图7a). 此外, 凝胶中因含有2-脲基-4-嘧啶酮(UPy)非共价模块, 可通过界面超分子黏附作用将不同荧光颜色的凝胶块进行组装结合实现各种模式的信息加密, 包括信息码、生物图形、数字图形(图7b).

3 总结与展望

本文总结了本课题组利用单一荧光团构筑多色超

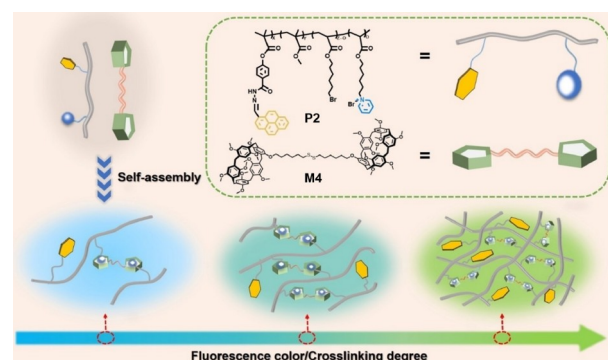


图6 **M4**和**P2**的化学结构, 以及随着混合溶液中**P2**和**M4**浓度增加交联过程和荧光颜色变化的示意图^[56](网络版彩图)

Figure 6 Chemical structures of **M4** and **P2**, and the schematic diagram of the cross-linking process and fluorescence color change of the mixed solution of **P2** and **M4** with increasing concentration ^[56] (color online).

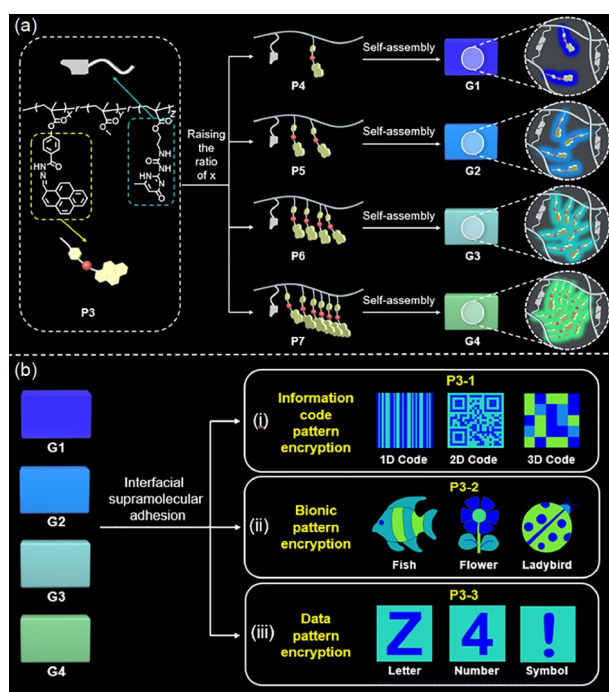


图 7 (a) 聚合物P3的化学结构, 具有不同浓度PBHZ的四种聚合物, 即P4、P5、P6、P7的卡通表示, 以及PBHZ基团在相应的具有不同荧光颜色的自组装凝胶G1、G2、G3、G4中的聚集状态。(b) 通过界面超分子黏附形成具有各种加密模式的P3的卡通表示, 即P3-1、P3-2、P3-3, 其应用于(i) 信息代码模式, (ii) 仿生模式, (iii) 数据模式^[57](网络版彩图)

Figure 7 (a) Chemical structures of the polymer P3, the cartoon representation of four polymers with different concentrations of PBHZ, namely, P4, P5, P6, P7, and the aggregation state of PBHZ groups in the corresponding self-assembled gels G1, G2, G3, G4 with different fluorescence colors. (b) Cartoon representation of the formation of P3 with various encryption patterns through interfacial supramolecular adhesion, namely, P3-1, P3-2, P3-3, which applied in (i) information code patterns, (ii) bionic patterns, (iii) data patterns ^[57] (color online).

分子组装体的一系列工作。基于组装体的拓扑结构不同, 将其分为三类: (1) 基于单分子荧光团构筑多色线形超分子聚合物。将单分子荧光团与线形超分子聚合物结合, 不仅制备了具有多色荧光性质的超分子聚合物, 而且实现了超分子聚合物分子量的荧光可视化。(2) 基于单分子荧光团构筑多色超分子聚合网络。将单分子荧光团引入到超分子聚合物网络中, 其荧光颜色受聚合物网络聚集程度变化而变化, 基于荧光团聚集程度与聚合物网络交联度的同步性, 从而实现超分

子聚合物网络交联过程的可视化监测。(3) 基于单分子荧光团构筑多色超分子凝胶。利用单分子荧光团制备不同颜色的凝胶基元, 并通过凝胶基元之间的超分子黏附作用实现多色凝胶组装体的构筑。目前, 基于单分子荧光团构筑的超分子组装体的研究还处于初始阶段, 如何将单分子荧光团颜色可变的特性与超分子组装体动态可逆的特点进行优势互补, 开发制备出更为智能的动态多色功能材料, 对于促进材料科学的发展以及拓宽超分子化学的应用领域具有重要意义。

致谢 感谢课题组所有成员以及与我们有合作的所有研究团队。

参考文献

- 1 Yang L, Tan X, Wang Z, Zhang X. *Chem Rev*, 2015, 115: 7196–7239
- 2 Peng H, Zhu W, Guo WJ, Li Q, Ma S, Bucher C, Liu B, Ji X, Huang F, Sessler JL. *Prog Polym Sci*, 2023, 137: 101635
- 3 Lu D, Hou S, Liu S, Xiong Q, Chen Y, Duan H. *J Phys Chem C*, 2022, 126: 14967–14975
- 4 Fu S, Niu N, Song S, Yan D, Ge J, Li J, Peng Z, Li L, Xiong Y, Wang L, Wang D, Tang BZ. *Macromolecules*, 2022, 55: 4742–4751

- 5 Shi Y, Ding Y, Tao W, Wei P. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2022, 14: 36071–36078
- 6 Luo J, Wang JW, Zhang JH, Lai S, Zhong DC. *CrystEngComm*, 2018, 20: 5884–5898
- 7 Zhang Z, Ye Y, Xiang S, Chen B. *Acc Chem Res*, 2022, 55: 3752–3766
- 8 Babu SS, Kartha KK, Ajayaghosh A. *J Phys Chem Lett*, 2010, 1: 3413–3424
- 9 Haque A, Alenezi KM, Khan MS, Wong WY, Raithby PR. *Chem Soc Rev*, 2023, 52: 454–472
- 10 Kalita A, Hussain S, Malik AH, Barman U, Goswami N, Iyer PK. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2016, 8: 25326–25336
- 11 Shao Y, Yin GZ, Ren X, Zhang X, Wang J, Guo K, Li X, Wesdemiotis C, Zhang WB, Yang S, Zhu M, Sun B. *RSC Adv*, 2017, 7: 6530–6537
- 12 Du C, Fu S, Wang X, Sedgwick AC, Zhen W, Li M, Li X, Zhou J, Wang Z, Wang H, Sessler JL. *Chem Sci*, 2019, 10: 5699–5704
- 13 Wang X, Xie L, Lin K, Ma W, Zhao T, Ji X, Alyami M, Khashab NM, Wang H, Sessler JL. *Angew Chem Int Ed*, 2021, 60: 7188–7196
- 14 Long L, Liu W, Ruan P, Yang X, Chen X, Li LL, Yuan F, He D, Huang P, Gong A, Wang K. *Anal Chem*, 2022, 94: 2803–2811
- 15 Long L, Han Y, Liu W, Chen Q, Yin D, Li LL, Yuan F, Han Z, Gong A, Wang K. *Anal Chem*, 2020, 92: 6072–6080
- 16 Shi Y, Wang S, Tao W, Guo J, Xie S, Ding Y, Xu G, Chen C, Sun X, Zhang Z, He Z, Wei P, Tang BZ. *Nat Commun*, 2022, 13: 1882
- 17 Guo W, Peng T, Zhu W, Ma S, Wang G, Li Y, Liu B, Peng H. *Aggregate*, 2023, 4: e297
- 18 Zhang Z, Yue Y, Li Q, Wang Y, Wu X, Li X, Li H, Shi L, Guo D, Liu Y. *Adv Funct Mater*, 2023, 33: 2213967
- 19 Yuan Y, Nie T, Fang Y, You X, Huang H, Wu J. *J Mater Chem B*, 2022, 10: 2077–2096
- 20 Ren C, Zhang J, Chen M, Yang Z. *Chem Soc Rev*, 2014, 43: 7257–7266
- 21 Yeung MCL, Yam VWW. *Chem Soc Rev*, 2015, 44: 4192–4202
- 22 Yan X, Wang F, Zheng B, Huang F. *Chem Soc Rev*, 2012, 41: 6042–6065
- 23 Panja S, Adams DJ. *Chem Soc Rev*, 2021, 50: 5165–5200
- 24 Gather M, Köhnen A, Falcou A, Becker H, Meerholz K. *Adv Funct Mater*, 2007, 17: 191–200
- 25 Jiang K, Sun S, Zhang L, Lu Y, Wu A, Cai C, Lin H. *Angew Chem Int Ed*, 2015, 54: 5360–5363
- 26 Arai S, Kriszt R, Harada K, Looi L, Matsuda S, Wongso D, Suo S, Ishiura S, Tseng Y, Raghunath M, Ito T, Tsuboi T, Kitaguchi T. *Angew Chem Int Ed*, 2018, 57: 10873–10878
- 27 Wang Z, Chen J, Li Q, Zhang H, Zhang J. *Adv Opt Mater*, 2023, 11: 2202743
- 28 Xiao Y, Wu Z, Yao Q, Xie J. *Aggregate*, 2021, 2: 114–132
- 29 Yu X, Zhang H, Yu J. *Aggregate*, 2021, 2: 20–34
- 30 Lu W, Si M, Le X, Chen T. *Acc Chem Res*, 2022, 55: 2291–2303
- 31 Wei S, Qiu H, Shi H, Lu W, Liu H, Yan H, Zhang D, Zhang J, Theato P, Wei Y, Chen T. *ACS Nano*, 2021, 15: 10415–10427
- 32 Wei S, Lu W, Le X, Ma C, Lin H, Wu B, Zhang J, Theato P, Chen T. *Angew Chem Int Ed*, 2019, 58: 16243–16251
- 33 Li W, Zhang H, Lu W, Zhang Y, Zheng T, Yang G, Chen T. *Adv Opt Mater*, 2023, 11: 202202738
- 34 Liu H, Wei S, Qiu H, Si M, Lin G, Lei Z, Lu W, Zhou L, Chen T. *Adv Funct Mater*, 2021, 32: 2108830
- 35 Lu W, Si M, Liu H, Qiu H, Wei S, Wu B, Wang R, Yin G, Zhang J, Theato P, Wei Y, Chen T. *Cell Rep Phys Sci*, 2021, 2: 100417
- 36 Le X, Shang H, Wu S, Zhang J, Liu M, Zheng Y, Chen T. *Adv Funct Mater*, 2021, 31: 2108365
- 37 Hu Z, Xu S, Zhang H, Ji X. *Aggregate*, 2023, 4: e283
- 38 Zhang H, Li Q, Yang Y, Ji X, Sessler JL. *J Am Chem Soc*, 2021, 143: 18635–18642
- 39 Yang Y, Li Q, Zhang H, Liu H, Ji X, Tang BZ. *Adv Mater*, 2021, 33: 2105418
- 40 Ji X, Wu R, Long L, Ke X, Guo C, Ghang Y, Lynch VM, Huang F, Sessler JL. *Adv Mater*, 2018, 30: 1705480
- 41 Ji X, Li Z, Liu X, Peng H, Song F, Qi J, Lam JWY, Long L, Sessler JL, Tang BZ. *Adv Mater*, 2019, 31: 1902365
- 42 Ji X, Li Z, Hu Y, Xie H, Wu W, Song F, Liu H, Wang J, Jiang M, Lam JWY, Zhong Tang B. *CCS Chem*, 2021, 3: 1146–1156
- 43 Würthner F, Saha-Möller CR, Fimmel B, Ogi S, Leowanawat P, Schmidt D. *Chem Rev*, 2016, 116: 962–1052
- 44 Huang W, Sun L, Zheng Z, Su J, Tian H. *Chem Commun*, 2015, 51: 4462–4464
- 45 Cheng Y, Wang J, Qiu Z, Zheng X, Leung NLC, Lam JWY, Tang BZ. *Adv Mater*, 2017, 29: 1703900
- 46 Hu Y, Barbier L, Li Z, Ji X, Le Blay H, Hourdet D, Sanson N, Lam JWY, Marcellan A, Tang BZ. *Adv Mater*, 2021, 33: 2101500
- 47 Wang Q, Zhang Q, Zhang QW, Li X, Zhao CX, Xu TY, Qu DH, Tian H. *Nat Commun*, 2020, 11: 158
- 48 Lin B, Wang Q, Qi Z, Xu H, Qu DH. *Sci China Chem*, 2023, 66: 1111–1119
- 49 Wang Q, Lin B, Chen M, Zhao C, Tian H, Qu DH. *Nat Commun*, 2022, 13: 4185

- 50 Ren J, Zhang X, Redshaw C, Ni XL. *Dyes Pigments*, 2022, 203: 110335
- 51 Li Q, Zhang H, Lou K, Yang Y, Ji X, Zhu J, Sessler JL. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2022, 119: e2121746119
- 52 Liu H, Hu Z, Zhang H, Li Q, Lou K, Ji X. *Angew Chem Int Ed*, 2022, 61: e202203505
- 53 Li Y, Huang W, Yong J, Huang S, Li Y, Liu Y, Wu D. *New J Chem*, 2018, 42: 12644–12648
- 54 Lou K, Li Q, Zhang R, Sun H, Ji X. *Macromol Rapid Commun*, 2022, 43: 2200242
- 55 Xu S, Zhang H, Li Q, Liu H, Ji X. *Molecules*, 2022, 27: 7881
- 56 Sheng L, Liu H, Hu Z, Ji X. *Chem Eur J*, 2023, 29: e202300990
- 57 Zhang H, Liu H, Hu Z, Ji X. *Supramol Mater*, 2022, 1: 1–6

Multi-color supramolecular assemblies constructed based on single molecule fluorophore

Xiaohe Zhou, Hui Liu, Xiaofan Ji*

Key Laboratory of Material Chemistry for Energy Conversion and Storage, Ministry of Education, Hubei Key Laboratory of Material Chemistry and Service Failure, Hubei Engineering Research Center for Biomaterials and Medical Protective Materials, School of Chemistry and Chemical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

*Corresponding author (email: xiaofanji@hust.edu.cn)

Abstract: Supramolecular assemblies are aggregates of monomers formed by non-covalent interactions, which exhibit certain structures and functions. Combining them with multicolor fluorescent materials enables their applications in various fields such as biological imaging, chemical sensing, and intelligent anti-counterfeiting materials. Therefore, it has garnered great interest among researchers. Currently, multicolor fluorescent materials are generally prepared by incorporating multiple fluorescent groups, requiring the sophisticated synthesis of fluorescent molecules that involves cumbersome procedures. In contrast, the method based on a single fluorescent molecule to prepare multicolor supramolecular assemblies is relatively simple, for which one kind of fluorescent group synthesis could be available to achieve that. Taking advantage of the synthesis of a single fluorescent molecule only, this approach provides a more flexible tuning of the fluorescence color for supramolecular assemblies, offering rational design guidelines for novel multicolor fluorescent functional systems. This article focuses on the research and current development status of multicolor fluorescent supramolecular assemblies, and highlights the different topological structures of multicolor supramolecular assemblies prepared by our research group based on single fluorescent groups, as well as their functional applications. Lastly, this article provides an outlook for the promising future development in this field.

Keywords: single-molecule fluorescent group, non-covalent interaction, multi-color, supramolecular assemblies

doi: [10.1360/SSC-2023-0174](https://doi.org/10.1360/SSC-2023-0174)