http://pmse.scu.edu.cn

含三苯乙烯结构高分子蓝光转光剂的设计、合成及其性能

孙烁昀[1], 汤云倩[2], 贺佳雨[1], 王晓瑜[2], 陈建玲[2], 李海银[1]
(1. 河北大学 化学与材料科学学院, 河北 保定 071002; 2. 河北大学 公共卫生学院, 河北 保定 071002)

摘要:设计发光效率高、加工相容性好的转光剂对于制备高性能农用转光薄膜具有重要的研究价值。采用溴三苯乙烯、4-乙烯基苯硼酸为原料,利用 Suzuki 偶联反应合成了发光单体 VP_3St,进而通过自由基聚合制备了高分子 PVP_3St。紫外吸收光谱和荧光光谱分析表明,PVP_3St 的最大发射波长为 443 nm,随着不良溶剂水体积的增加,发光强度逐渐增强,表现出优异的聚集诱导发光效应;热失重分析表明,其 5% 热失重温度为 461 ℃,热稳定性高。通过物理混合将 PVP_3St 分别分散于聚己内酯(PCL)与聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)中制备了转光薄膜 PVP_3St-PCL 和 PVP_3St-PMMA,其在 410~800 nm 范围内的透光率均大于 90%,拉伸强度分别为 1456 kPa 和 1157 kPa,断裂伸长率分别为 1147%和 247.9%,可吸收 230~400 nm 的紫外线并将其转化为蓝色荧光,其光谱与叶绿素的紫外吸收光谱重叠率分别为 73.5%和 77.7%,有利于农作物的光合作用,具有潜在应用价值。

关键词:农用转光薄膜;发光单体;蓝光转光剂;聚集诱导发光;光合作用
中图分类号:TQ314.24 **文献识别码**:A **文章编号**:1000-7555(2026)05-0139-08

农业是我国经济发展的基础,提高农作物产量与质量是当务之急[1]。农用转光薄膜,可将紫外光转换为植物能够利用的蓝光和红光,提高太阳光的利用率,进而增强光合作用,越来越受到世界各国的高度重视[2]。因此,设计合成能将紫外光转换成蓝光和红光的农用转光薄膜,使其具有增温保墒和高光利用率的特点,能够提高农作物的产量,具有深远的社会意义和经济价值[3]。在转光薄膜中,核心成分是转光剂,目前常用的转光剂主要是无机光学材料和传统有机发光染料,如量子点、碳点、金属配合物、罗丹明等[4]。这些材料虽能将紫外线和绿光转化为蓝光和红光,但存在生物安全性低、抗光学漂白性不强、固态下不或弱发光、与聚合物基体相容性差等较为明显的缺陷[5]。设计合成发光效率高、加工相容性好及生物安全性优异的转光剂,并将其用于制备农用转光薄膜,对于阳光不足的春冬季植物生长具有重要的研究意义[6]。

聚集诱导发光(AIE)材料不含金属离子,在溶解状态下不发光或弱发光、聚集态下强发光,可有效克服固态下不/弱发光与生物安全性低的难题[7]。同时,AIE 材料的分子结构易调控,可通过有机反应制备不同发光行为与性能的 AIE 材料[8],被认为是高性能转光剂最有前途的候选者。但是已报道的 AIE 转光剂多是小分子,与薄膜树脂的相容性不好,易出现转光剂溢出,进而降低使用寿命和转光效果[9]。与小分子不同的是,薄膜树脂与高分子材料具有优异的加工相容性[10,11],为制备高性能的农用转光薄膜提供了重要选择。因此,设计合成 AIE 高分子转光剂对制备高性能的农用转光薄膜具有重要的科学意义。

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2026.0078
收稿日期: 2025-05-30
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(82304197, 21605093); 河北省自然科学基金资助项目(B2023201013); 大学生创新训练计划项目(DC2026299)
通讯联系人: 李海银, 主要从事农用高分子转光薄膜研究, E-mail: lihaiyin@hbu.edu.cn;
陈建玲, 主要从事功能性聚集诱导发光材料的设计与合成, E-mail: chenjl2022@hbu.edu.cn

针对上述问题,本文设计合成了含有三苯乙烯骨架的聚集诱导发光单体,以偶氮二异丁腈为引发剂,采用自由基聚合制备了发蓝光的高分子转光剂,考察了其发光性能与热稳定性;将其与聚己内酯和聚甲基丙烯酸甲酯物理混合,考察了其成膜性、透光率、拉伸性能与光转换能力。与以往报道的转光剂相比,AIE 高分子转光剂的发光效率高、生物安全性好、与农用薄膜基础树脂的加工相容性优异,具有潜在应用价值。

1 实验部分

1.1 原料与试剂

二苯甲酮、对溴苄溴、亚磷酸三乙酯、四三苯基膦钯、对乙烯基苯硼酸、二氯甲烷、三氯甲烷:分析纯,萨恩化学技术(上海)有限公司;碳酸钾(K_2CO_3):分析纯,上海泰坦科技股份有限公司;三辛基甲基氯化铵(Aliquat 336):分析纯,百灵威;偶氮二异丁腈(AIBN):分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;N, N-二甲基甲酰胺(DMF)、盐酸(HCl)、甲苯、正己烷、四氢呋喃(THF):分析纯,上海泰坦科技股份有限公司;聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA):高流动型,上海泰坦科技股份有限公司;聚己内酯(PCL):$\overline{M}_n = 8\times10^4 \sim 1\times10^5$,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 蓝光单体 VP_3St 的制备

蓝光单体 VP_3St 的合成路线如 Fig.1 所示。4-溴苯叶立德试剂和中间体化合物 VP_3-Br 分别按照参考文献合成[12]。在带有搅拌器、温度计和回流冷凝管的三口烧瓶中,将 VP_3-Br(3.35 g,0.01 mol)与 4-乙烯基苯硼酸(1.48 g,0.01 mol)加入到 60 mL 甲苯中,搅拌促使其溶解;随后继续加入 K_2CO_3 水溶液(2 mol/L,10 mL)和 10 滴 Aliquat336。在氮气保护下搅拌反应 0.5 h 后升温至 85 ℃,加入催化剂四三苯基膦钯继续反应 24 h。反应结束后,将反应液旋干,将粗产品用正己烷过柱,得到白色固体 2.94 g,产率 82%。^{1}H-NMR:(400 MHz, $CDCl_3$),δ(TMS, ppm):5.14~5.21(d, 1H), 5.63~5.69(d, 1H), 6.57~6.66(m, 1H), 6.95~7.15(s, 19H)。FT-IR:1647 cm^{-1}, 1520 cm^{-1}, 1424 cm^{-1}, 1367 cm^{-1}, 1146 cm^{-1}, 1014 cm^{-1}, 789 cm^{-1}。

1.3 高分子蓝光转光剂 PVP_3St 的制备

在带有搅拌器、温度计与回流冷凝管的三口烧瓶中,加入单体 VP_3St(1.79 g,0.005 mol)与 THF 30 mL,在氮气保护下搅拌促使其溶解。随后加入引发剂 AIBN(0.018 g),升温至 65 ℃继续反应 8.0 h(Fig.2)。反应完毕后将溶液倒入大量正己烷中,过滤收集沉淀得到高分子转光试剂 PVP_3St 1.23 g,产率为 69%。

1.4 高分子转光薄膜的制备

将 0.02 g PVP_3St 与 0.15 g 聚己内酯或聚甲基丙烯酸甲酯共同溶解于 4.0 mL THF 中,超声完全溶解后将混合溶液倒在玻璃板模具中。室温放置 3.0 h 后在 60 ℃真空干燥 6.0 h 即得相应高分子转光薄膜,经测试其厚度约为 0.1 mm。

1.5 测试与表征

1.5.1 红外光谱分析:采用傅里叶变换红外光谱仪(Nicolet iS50 型,美国赛默飞世尔科技公司)在 400~2500 cm^{-1} 波数范围内,通过透射法对样品进行红外表征。样品前处理采用 KBr 压片法,将干燥后

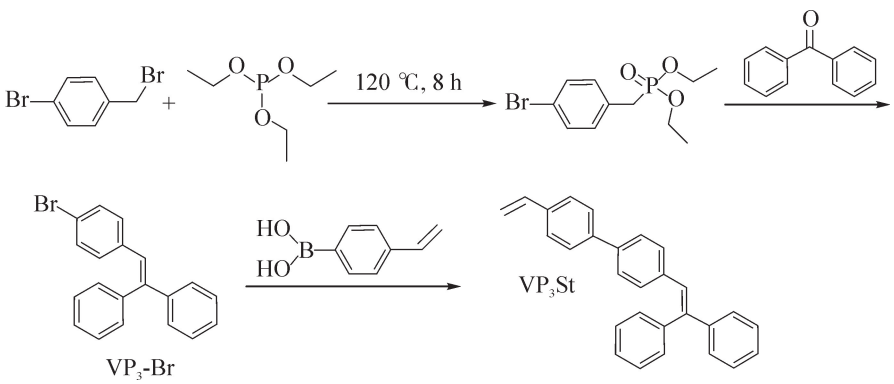


Fig. 1 Synthesis route of VP_3St

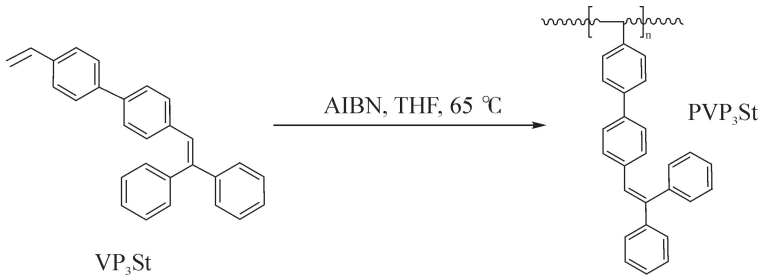


Fig. 2　Synthesis route of blue light conversion polymer agent

的 2 mg 样品与 200 mg 纯 KBr 粉末混合,经充分研磨后置于模具中制成透明样片进行测试。

1.5.2　*核磁共振分析*:使用 400 MHz 数字化超导核磁共振波谱仪(BUXI-I NMR 型,中科牛津波谱公司)进行分析。称取 10 mg 样品,溶于氘代 $CDCl_3$ 制样后进行分析。

1.5.3　*微观形貌表征*:利用透射电子显微镜(Tecnal G2 F20 S-TWIN 型,美国 FEI 公司)对样品的微观精细结构进行表征分析。测试前,将铜网浸泡在样品溶液中,待样品充分附着于铜网表面,在 60 ℃干燥 4 h 后置于样品台上进行表征。

1.5.4　*光学性能测试*:使用荧光分光光度计(RF-6000 型,日本岛津公司)以 Xe 灯为激发光源测试。激发光带宽 3.0 nm,发射光带宽 5.0 nm,数据间隔 2.0 nm,扫描速度 2000 nm/min。使用紫外-可见分光光度计(UV-1900 型,日本岛津公司)测试紫外吸收光谱,设置扫描速度为高速,采样间隔 1.0,波长范围为 200~800 nm。

1.5.5　*热失重分析*:使用热重分析仪(TGA-50H 型,日本岛津公司)于 N_2 中测试。样品质量为 5~10 mg,升温速率为 10 ℃/min,起始温度为室温,终止温度为 750 ℃。

1.5.6　*力学性能测试*:使用万能试验机(DN-W10 KN 型,浙江戴纳自动化技术有限公司)测试样品的拉伸强度。将样品切成 4 mm×45 mm 的长方形样条,拉伸加载速度为 100 mm/min。

1.5.7　*扫描电镜表征*:使用冷场扫描电子显微镜(JSM-7500 型,日本电子)在 15 kV 的加速电压下观察样品薄膜的表面和横截面结构。测试前,样品在 20 mA 电流下进行喷金处理。

2　结果与讨论

2.1　结构表征

Fig.3(a)为 VP_3St 和 PVP_3St 的红外光谱图。单体 VP_3St 分别在 1647 cm^{-1},1520 cm^{-1},1424 cm^{-1},1367 cm^{-1},1146 cm^{-1},1014 cm^{-1} 和 789 cm^{-1} 处存在红外特征峰。其中 1647 cm^{-1} 处的强峰为 VP_3St 中

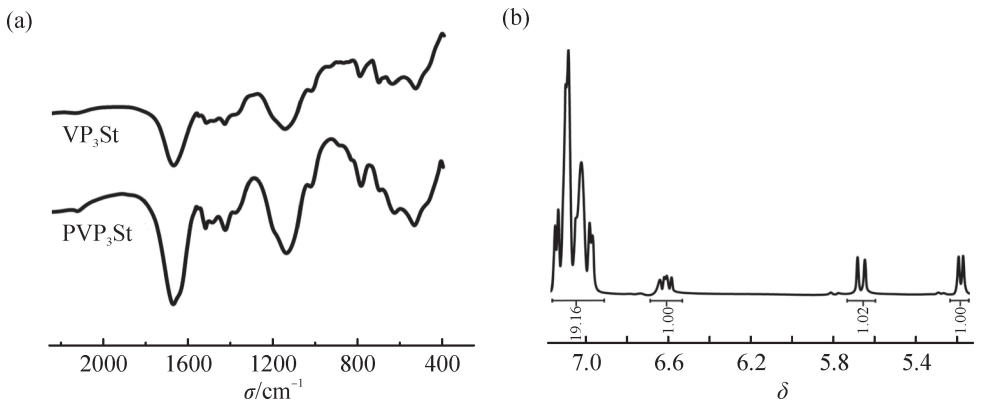


Fig. 3　(a) FT-IR spectra of VP_3St and PVP_3St, and (b) ^{1}H-NMR spectrum of VP_3St

烯烃 C═C 的伸缩振动峰；1360～1520 cm^{-1} 处的宽峰对应于苯环中 C═C 的伸缩振动峰及 C—H 的面外弯曲振动峰；1146 cm^{-1} 和 1014 cm^{-1} 处的特征峰为苯环上 C—C 的伸缩振动峰与 C—H 的面内弯曲振动峰；789 cm^{-1} 处的峰归属于苯环上的 C—H 面外弯曲振动峰。Fig.3(b)为 VP_3St 的核磁共振氢谱，其中 δ7.04 和 δ7.1 处的峰对应于 VP_3St 分子结构中苯环上的质子峰，δ6.6，δ5.7 和 δ5.2 处的峰对应 VP_3St 分子中烯烃 C═C 的质子峰。上述红外光谱和核磁氢谱表征证实了单体 VP_3St 的成功制备。

聚合后产物 PVP_3St 在 1710 cm^{-1}，1531 cm^{-1}，1433 cm^{-1}，1374 cm^{-1}，1134 cm^{-1}，1038 cm^{-1} 和 784 cm^{-1} 处存在吸收峰，分别对应于聚合物中 C—C 、C—H 及残留 C═C 的伸缩、弯曲振动吸收峰(Fig.3(a))。PVP_3St 的红外峰与 VP_3St 基本一致，保留了单体的分子结构骨架；同时其特征峰出现了明显的红移或蓝移，如 1647 cm^{-1} 处的峰红移至 1710 cm^{-1} 处，1146 cm^{-1} 处的峰蓝移至 1134 cm^{-1} 处，表明单体 VP_3St 向聚合物 PVP_3St 成功转化。

2.2 聚集诱导发光效应

采取向 PVP_3St 的良溶剂 DMF 中加入不良溶剂水的方法来考察 PVP_3St 是否具有 AIE 效应。由 Fig.4(a, b)可见，当水体积分数为 0%时，其荧光强度低，随着水含量增加(<30%)，荧光光谱和强度几乎不发生变化；当水体积分数增加到 30%时，荧光强度增加到 20.5 a.u.，其最大发射波长为 443 nm，在 390～530 nm 范围内均存在荧光发射；随着水含量进一步增加，其荧光强度持续增强，在水体积分数增加到 80%时荧光强度增强至 165.6 a.u.，且不再随着水含量的增加而出现明显变化。同时随着水含量增加，溶液蓝色荧光亮度逐渐增强。这主要是因为随着水含量增加，PVP_3St 从良溶剂 DMF 中析出形成聚集体进而增强荧光，证实 PVP_3St 具有优异的 AIE 效应，可作为蓝光高分子转光剂制备农用转光薄膜。

以上结论也可由 PVP_3St 在不同水含量下的紫外吸收光谱证实。如 Fig.5(a)所示，在水体积分数小于 30%时，其紫外吸收光谱在 327 nm 处存在紫外吸收峰，对应于聚合物骨架中的共轭 π 键。而当水体积分数超过 30%以后，其紫外吸收曲线除了在 327 nm 处存在吸收峰外，在可见光区域其光谱“尾巴”明显的翘起来远离基线。这主要是因为随着不良溶剂水含量的增加，聚合物 PVP_3St 在混合溶剂中的溶解性越来越差，逐渐析出聚集体，进而造成其紫外吸收光谱尾巴的“level off”现象。透射电镜测试表明，在水体积分数为 80%时，大量的无规则纳米聚集体出现(Fig.5(b))，进一步证实，溶液中荧光强度的增加是由 PVP_3St 从良溶剂 DMF 析出形成聚集体造成的。

2.3 热性能与成膜性

聚合物 PVP_3St 的热性能对于其作为转光剂制备转光薄膜有着重要的影响。通过热失重分析法研究了单体 VP_3St 及聚合物 PVP_3St 的热稳定性。由 Fig.6 所示，单体 VP_3St 及聚合物 PVP_3St 均具有优异的热稳定性。对单体 VP_3St 而言，其 5%热失重温度为 425 ℃；当聚合成聚合物后，其 5%热失重温度升高至 461 ℃，增加了 36 ℃。这主要是因为聚合以后分子链的堆积更加紧密，破坏其聚集态和分子骨架

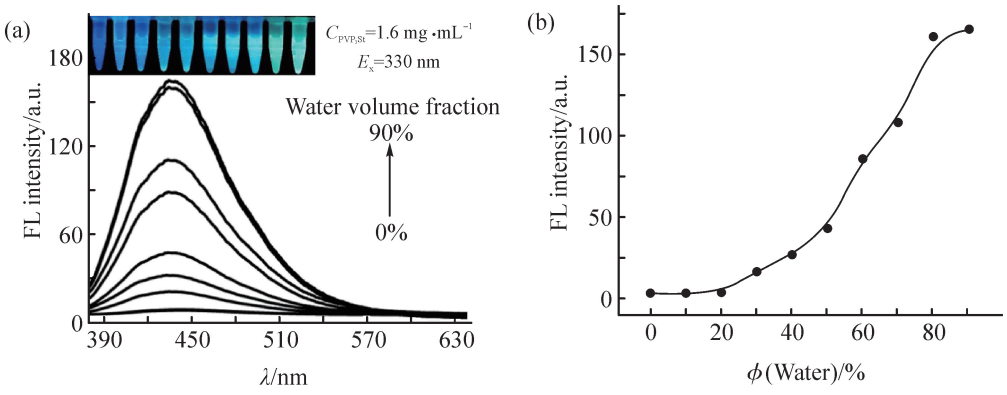


Fig. 4 (a) Fluorescence spectra of PVP_3St in DMF-H_2O with different water volume fractions; (b) relationship between fluorescence intensity of PVP_3St versus different water volume fractions

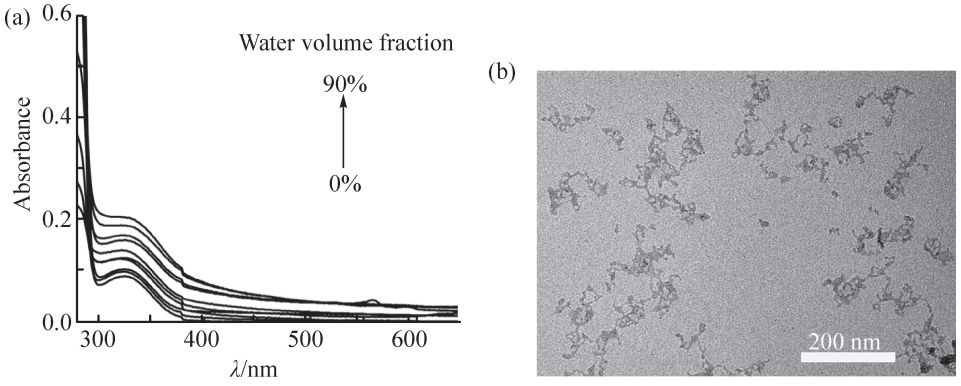


Fig. 5　(a) UV-vis spectra of PVP_3St in DMF-H_2O with different water volume fractions; (b) TEM morphology of PVP_3St in DMF-H_2O with water volume fraction of 80%

结构需要更高的能量。综上所述,以 VP_3St 为单体制备的聚合物 PVP_3St 具有优异的热稳定性,其热分解温度高于以往报道的有机小分子转光材料和部分无机转光材料[13],可用于高温环境。

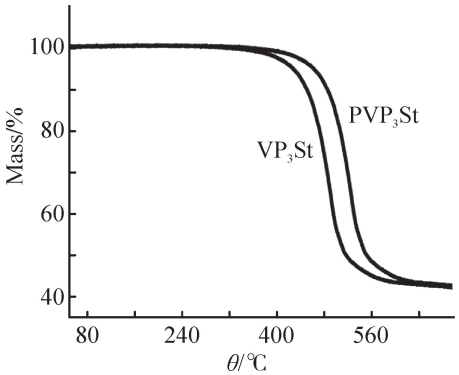


Fig. 6　TGA curves of PVP_3St and VP_3St

上述结果表明,PVP_3St 具有优异的发光性能与热稳定性,可作为转光剂掺入聚合物基体制备高分子转光薄膜。如 Fig.7 所示,PVP_3St 与 PCL 及 PMMA 具有优异的加工相容性,制备的高分子薄膜具有优异的透光性和力学性能。PVP_3St-PCL 复合薄膜在 410~800 nm 波长范围内的透光率大于 90%,PVP_3St-PMMA 复合薄膜在 410~800 nm 波长范围内的透光率大于 92%,与单独的 PCL 或 PMMA 相似(Fig.7(a, b));PVP_3St-PCL 和 PVP_3St-PMMA 均可发射出明亮的蓝色荧光,其波长接近于 PVP_3St 的发光波长(Fig.7(c))。这表明聚合物基体不影响转光剂 PVP_3St 的发光性质,制备的薄膜不影响植物对太阳光线中可见光的吸收。PVP_3St-PCL 的拉伸强度为 1456 kPa,断裂伸长率为 1147%(Fig.7(c)),PVP_3St-PMMA 的拉伸强度为 1157 kPa,断裂伸长率为 247.9%(Fig.7(d)),分别接近于 PCL 和 PMMA 的力学性能。上述结果表明,将 PVP_3St 掺入到聚合物基体中制备的复合薄膜具有优异的力学性能及柔韧性,优于传统无机转光剂制备的高分子转光薄膜[14]。这主要是因为转光剂 PVP_3St 与 PCL 和 PMMA 有着优异的加工相容性,可均匀分散在聚合物基体中而不出现相分离(Fig.7(f));而无机转光材料与传统聚合物的相容性差,容易产生相分离,降低力学性能。

2.4　转光效应

太阳光线中存在紫外线,其对农作物的生长起不到任何有益的作用,开发新型转光薄膜将其转化为对农作物有益的蓝光具有重要的研究价值。本文以 PVP_3St-PMMA 与 PVP_3St-PCL 复合薄膜为研究模型,改变激发波长(290 nm,310 nm,330 nm,350 nm,370 nm 及 390 nm),考察其荧光发射行为。

如 Fig.8(a)所示,230~400 nm 波长范围内的光均可激发 PVP_3St-PMMA 与 PVP_3St-PCL 复合薄膜产生荧光,这表明其可吸收 230~400 nm 范围内的紫外线,并转换成对农作物有益的蓝光,远宽于以往报道的无机转光材料[15]。为进一步考察不同波长对 PVP_3St-PMMA 与 PVP_3St-PCL 复合薄膜的激发效果,选择 290 nm,310 nm,330 nm,350 nm,370 nm 及 390 nm 的激发波长,测试结果如 Fig.8(b)所示。在 290 nm,310 nm,330 nm,350 nm 和 370 nm 5 个激发波长下,PVP_3St-PMMA 与 PVP_3St-PCL 薄膜均可发

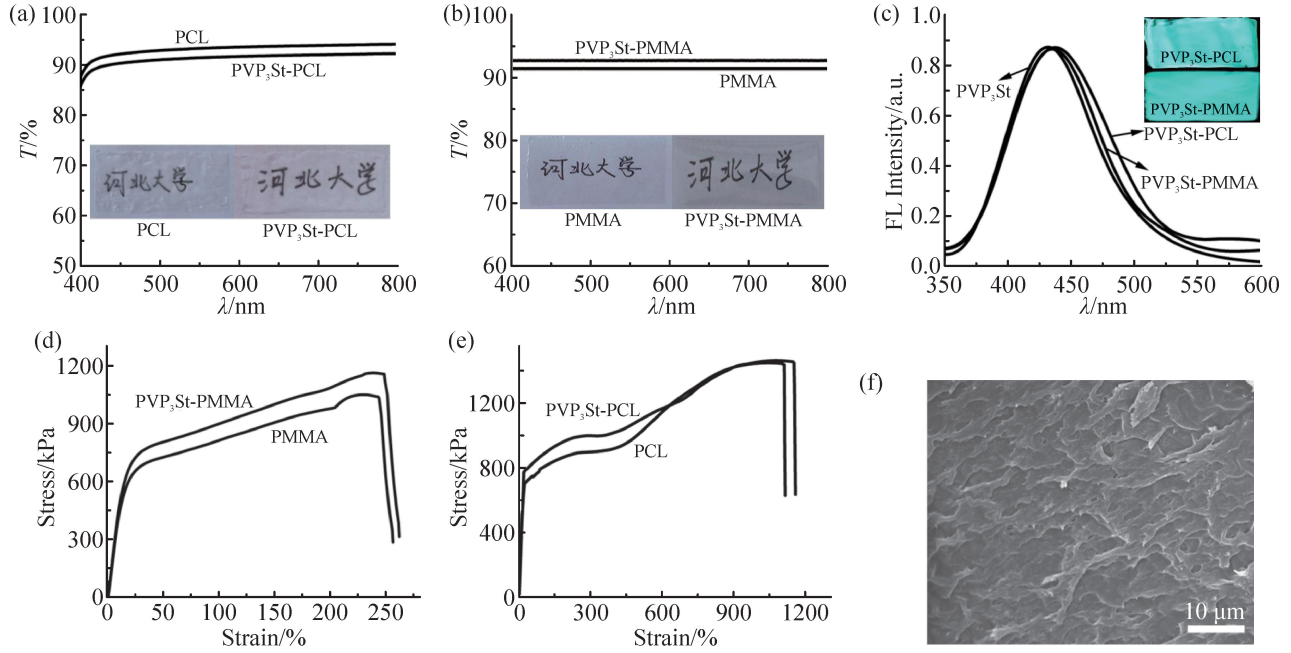


Fig. 7 Transmittance curves of (a) PVP_3St-PCL and PCL, and (b) PVP_3St-PMMA and PMMA; (c) normalized fluorescence spectra of PVP_3St, PVP_3St-PCL and PVP_3St-PMMA, and fluorescence image at the excitation of 365 nm; tensile curves of (d) PVP_3St-PMMA and PMMA, and (e) PVP_3St-PCL and PCL; (f) SEM morphology of PVP_3St-PMMA

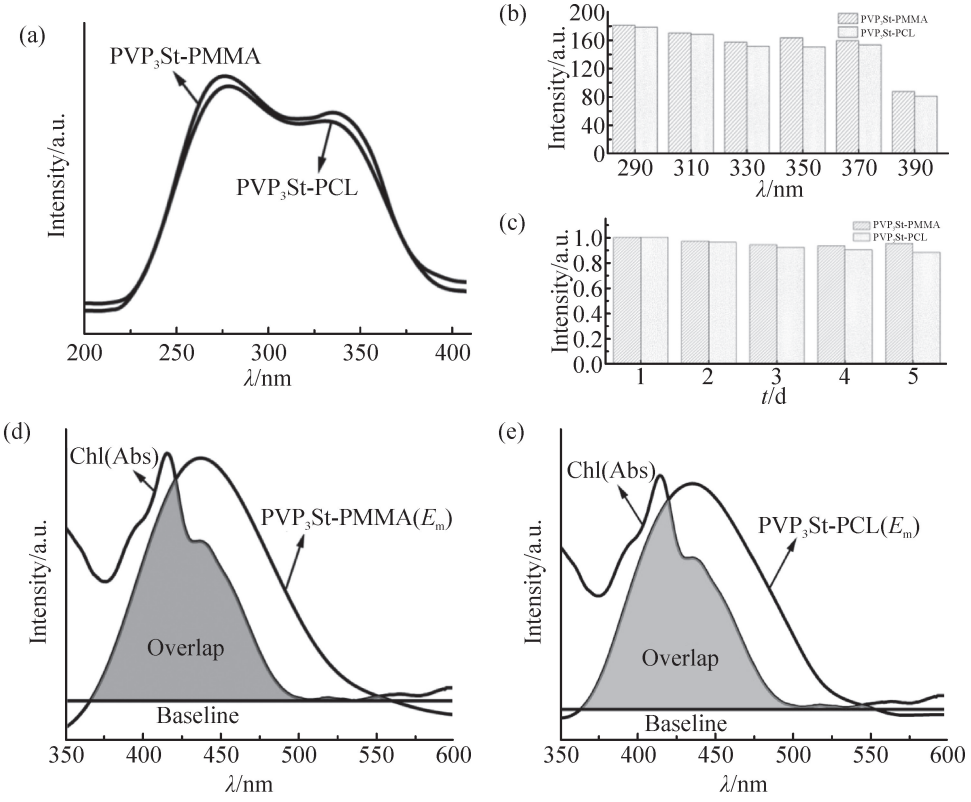


Fig. 8 (a) Excitation spectra of PVP_3St-PMMA and PVP_3St-PCL; (b) fluorescence intensity of PVP_3St-PMMA and PVP_3St-PCL at different excitation wavelength; (c) fluorescence intensity of PVP_3St-PMMA and PVP_3St-PCL versus different storing time; UV-vis spectra of chlorophyll and fluorescence spectra of (d) PVP_3St-PMMA and (e) PVP_3St-PCL

射出强烈的蓝色荧光信号;在 390 nm 激发波长下,发射光谱荧光强度虽稍有降低,但仍有 88.5 a.u. 和 82.1 a.u. 的荧光强度。放置 1 d,3 d,5 d,7 d 和 9 d 后,其发光强度基本不变(Fig.8(c))。上述结果表明,PVP_3St-PMMA 与 PVP_3St-PCL 复合薄膜可吸收太阳光中的紫外线,并转换成对农作物有益的蓝光,储存稳定性高,转换效果良好。为了进一步确认蓝光有利于农作物的生长,考察了农作物中叶绿素的紫外吸收光谱与 PVP_3St-PMMA 及 PVP_3St-PCL 薄膜的荧光光谱重叠行为,结果如 Fig.8(d, e)所示。PVP_3St-PMMA 和 PVP_3St-PCL 薄膜的荧光光谱与叶绿素的紫外吸收光谱在 400~500 nm 范围内有着较大程度的重叠,重叠率分别为 77.7% 和 73.5%,表明 PVP_3St-PMMA 和 PVP_3St-PCL 复合薄膜吸收紫外线发射出的蓝色荧光可被农作物中的叶绿素高效率吸收,进而促进农作物的生长,提高其质量与产量。

3　结论

(1)设计合成了含三苯乙烯结构的高分子 PVP_3St,其具有优异的 AIE 效应与热稳定性,可吸收短波长的紫外线,发射出明亮的蓝色荧光。

(2)以 PVP_3St 为转光剂,通过物理混合制备了 PVP_3St-PCL 和 PVP_3St-PMMA 复合薄膜,拉伸强度分别为 1456 kPa 和 1157 kPa,断裂伸长率分别为 1147% 和 247.9%,具有优异的力学性能。

(3)PVP_3St-PCL 和 PVP_3St-PMMA 复合薄膜在 410~800 nm 范围内的透光率均大于 90%,并可吸收 230~400 nm 的紫外线,并将其转化为蓝色荧光,其光谱与叶绿素的紫外吸收光谱重叠率分别为 73.5% 和 77.7%。

参考文献:

[1] Chen J, Wang C, Huang X, *et al*. Quantum dots-engineered flexible hydrogel as plant-wearable sensor for on-site profiling dynamic pesticide degradation[J]. Advanced Functional Materials, 2025, 35: 2423643.

[2] 董波, 卢亚娟, 马婷婷. 农作物光合作用效率的提升策略[J]. 河北农机, 2024(14): 105-107.
Dong B, Lu Y J, Ma T T. Strategies for improving photosynthetic efficiency of crops[J]. Hebei Agricultural Machinery, 2024(14): 105-107.

[3] 黄健荣, 沈林晨, 肖富生, 等. 转光剂在玻璃温室建设中的应用探讨[J]. 南方农机, 2025, 56(2): 53-55.
Huang J R, Shen L C, Xiao F S, *et al*. Discussion on application of light-converting agent in glass greenhouse construction[J]. Southern Agricultural Machinery, 2025, 56(2): 53-55.

[4] Chen J, Zhu Z, Li Y, *et al*. Interface-adaptive dual-color hydrogel with self-repairing function and high adhesion as flexible wearable sensor for minimally-invasive monitoring pesticide residue in living crop[J]. Advanced Science, 2025, 13: e12386.

[5] 齐云鹏, 刘禹, 王永涛. AIE 型发光分子在农用转光膜中的应用进展[J]. 广州化工, 2024, 52(2): 4-9.
Qi Y P, Liu Y, Wang Y T. Application progress of AIE-type luminescent molecules in agricultural light-converting films[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2024, 52(2): 4-9.

[6] Wu J, Zhang S, Shen M, *et al*. The design and synthesis of triphenylethylene photochromic materials with dibenzothiophene and dibenzofuran groups[J]. Dyes and Pigments, 2025, 235: 112562.

[7] Liu Z, Zhang Y, Feng J, *et al*. Synthesis of carbazole-chalcone bis-oxime esters (CCBOEs) as blue light photoinitiators of polymerization[J]. Polymer Chemistry, 2024, 15: 2642-2651.

[8] 宋冬冬. 三苯乙烯衍生物的制备与光学性能应用研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2023.
Song D D. Preparation and application research on optical properties of triphenylethylene derivatives[D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2023.

[9] Krucaite G, Tavgeniene D, Kirstukas M, *et al*. Blue aggregation-induced emission bipolar materials consisting of diphenylsulfone or benzophenone core and triphenylethene-carbazole fragments for highly efficient OLEDs[J]. Dyes and Pigments, 2024, 228: 112231.

[10] Li Z, Liang Z, Zhang Z, *et al*. Multi-stimuli geminate encryption based on triphenylethylene for advanced anti-counterfeiting[J]. Chemical Engineering Journal, 2024, 502: 158090.

[11] Yi S, Wang Y, Liu H, *et al*. Triphenylethylene benzimidazole derivatives with aggregation-induced emission (AIE) characteristics: an effect of the aryl linker and application in cell imaging[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2022, 425: 113661.

[12] Lera G F, Vázquez V V, Fernández L M, *et al*. Design of large Stokes shift fluorescent ortho-bis-styrylbenzenes. Optical characterization and fluoride sensing in logical gates[J]. Dyes and Pigments, 2024, 225: 112035.

[13] 周璇. Eu^{3+}, Sm^{3+}/Gd^{3+}共掺杂 $K_7CaY_2(B_5O_{10})_3$ 转光剂的制备及发光性能研究[D]. 济南: 济南大学, 2024.
Zhou X. Preparation and luminescence properties of Eu^{3+},

Sm^{3+}/Gd^{3+} co-doped $K_7CaY_2(B_5O_{10})_3$ light-converting agent[D]. Jinan: University of Jinan, 2024.

[14] 张斌. 可替换农用转光涂膜的制备研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.
Zhang B. Preparation of replaceable agricultural light-converting coating film[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2023.

[15] 吴翠霞, 张赛男, 贺军辉. 含[$Eu(hfa)_3(TPPO)_2$]的紫外转红光聚乙烯膜的制备、表征及性能研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(2): 1-6.
Wu C X, Zhang S N, He J H. Preparation, characterization and performance study of UV-to-red light polyethylene film containing [$Eu(hfa)_3(TPPO)_2$][J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(2): 1-6.

Blue Light Conversion Polymer Agent Containing Triphenylethylene Moiety: Design, Synthesis and Property

Shuoyun Sun[1], Yunqian Tang[2], Jiayu He[1], Xiaoyu Wang[2], Jianling Chen[2], Haiyin Li[1]

(*1. College of Chemistry and Material Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China;*
2. School of Public Health, Hebei University, Baoding 071002, China)

ABSTRACT: Design of high-yield light conversion agent with excellent processability is of important research value for synthesizing agricultural light-converting films. Bromine-substituted triphenylethylene and 4-vinylphenylboronic acid were used as raw materials to synthesize monomer VP_3St by Suzuki coupling reaction. And the synthesized monomer VP_3St was polymerized into polymer PVP_3St via radial polymerization in the presence of initiator AIBN. UV-vis and fluorescence characterizations show that the maximum emission wavelength of PVP_3St is 443 nm, and the intensity is gradually improved with increased water volume fraction, showing unique aggregation-induced emission property. In addition, the 5% mass loss temperature of PVP_3St is determined to be 461 ℃, implying high thermal stability. Furthermore, PVP_3St was introduced into polycaprolactone (PCL) and polymethyl methacrylate (PMMA) to fabricate light conversion polymer films PVP_3St-PCL and PVP_3St-PMMA, which have excellent light transmittance (>90%) in the range of 410~800 nm, and show tensile strength of 1456 kPa and 1157 kPa with elongation at break of 1147% and 247.9%, respectively. More importantly, PVP_3St-PCL and PVP_3St-PMMA could effectively absorb the light of 230~400 nm to show blue fluorescence emission, which highly overlap with the UV-vis spectrum of chlorophyll with rates of 73.5% and 77.7%, contributing to the photosynthesis for improving crop quality and yield.

Keywords: agricultural light-converting film; emission monomer; blue light conversion agent; aggregation induced emission; photosynthesis