

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.02.020

# 一种新型席夫碱的合成及其紫外线屏蔽性能

杨珀, 钱永, 袁月鹏

(苏州科技大学化学生物与材料工程学院, 江苏苏州 215009)

**摘要:**以苯偶酰、4-硝基邻苯二胺及吡啶-2-甲醛为原料合成一种新型席夫碱化合物 6-(2-吡啶亚氨基)-2,3-二苯基喹喔啉(QPXF)。利用傅里叶变换红外光谱、核磁共振仪、稳态/瞬态荧光光谱和热重分析仪,研究了目标化合物的分子结构、光物理性能和热稳定性。采用浇铸成膜法制备具有紫外屏蔽功能的聚乙烯醇缩丁醛(PVB)/QPXF和聚氯乙烯(PVC)/QPXF复合膜。结果表明, QPXF在265 nm和370 nm附近有强紫外吸收。随着QPXF含量的增加,复合膜紫外屏蔽性能提高,当QPXF在PVB及PVC中添加量为1%时,两者在300 nm处的透过率均小于1%,屏蔽率均超过95%;在360 nm处的透过率为4.5%和5.3%,屏蔽率分别为94%和87%,表现出良好的紫外屏蔽性能。

**关键词:** 喹喔啉; 席夫碱; 合成; 紫外屏蔽

**中图分类号:** TQ322.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)02-0102-06

## Synthesis of a Novel Schiff Base and Its UV Shielding Properties

Yang Po, Qian Yong, Yuan Yuepeng

(School of Chemistry, Biology and Material Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Jiangsu Key Laboratory of Environmental Functional Materials, Suzhou 215009, China)

**Abstract:** A novel Schiff base compound 6-(2-pyridineimino)-2,3-diphenylquinoxaline (QPXF) was synthesized with benzyl, 4-nitro-o-phenylenediamine and pyridine-2-carbaldehyd. The molecular structure of the target compound was characterized by FTIR,  $^1\text{H}$  NMR. The photophysical properties and thermal stability of the target compound were analyzed by solution UV-Vis, FL and TG analysis. Preparation of UV-shielding PVB/QPXF and PVC/QPXF composite films by casting film formation. The results show that QPXF have strong UV absorption near 265 nm and 370 nm, covering the UVA and UVB bands. With the increase of QPXF, the UV shielding performance of the composite film improves. When QPXF is added to PVB and PVC at 1%, the transmittance of the two at 300 nm are all less than 1%, and the shielding rate both exceed 95%. The transmittance at 360 nm is reduced to 4.5% and 5.3%, the shielding rate reaches 94% and 87%. Good UV shielding properties are prospect.

**Keywords:** quinoxaline; schiff base; synthesis; UV shielding

随着地球臭氧层的破坏,直达地球的紫外线增多,对地球的危害逐渐变大。紫外线含有很大的能量,长时间的照射不仅会破坏人体内的组织,引发众多疾病<sup>[1-2]</sup>,还会老化有机聚合物造成材料性能劣化,如加速聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯(PVC)等高分子材料的降解,使之变脆,破损从而缩减使用寿命<sup>[3-4]</sup>。我国目前对于聚乙烯醇缩丁醛(PVB)和PVC的需求十分巨大,在塑料、户外制品、玻璃夹层、建筑材料和光伏材料中都有着广泛的应用,因此提高PVB与PVC的抗紫外性能,延长材料寿命的研发

十分有意义<sup>[5-6]</sup>。

有机类紫外吸收剂在高分子材料中有着广泛的应用,并且已经实现了商业化,比如UV-9、UV-T<sup>[7-10]</sup>。席夫碱因具有较大共轭体系且易于修饰,引起人们的关注<sup>[11]</sup>。近年来许多结构新颖的席夫碱作为紫外吸收剂被应用在PVC、PVB等合成树脂中,以期待制备具有优良的抗紫外性能的高分子材料<sup>[12-14]</sup>。喹喔啉分子具有较强的 $\pi$ 电子共轭体系、两个氮原子和易于修饰改变共轭体系的独特结构,成为广泛研究的氮杂芳环化合物<sup>[15]</sup>。将喹喔啉

**通讯作者:** 钱永,副教授,研究生导师,主要从事精细有机功能材料合成及应用的研究 E-mail: qianyong-sz@hotmail.com

**收稿日期:** 2019-12-01

**引用格式:** 杨珀,钱永,袁月鹏.一种新型席夫碱的合成及其紫外线屏蔽性能[J].工程塑料应用,2020,48(2):102-107.

Yang Po, Qian Yong, Yuan Yuepeng. Synthesis of a novel schiff base and its UV shielding properties[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(2): 102-107.

砌块引入席夫碱分子,研究改变席夫碱分子共轭程度对紫外吸收的影响,对扩展席夫碱型紫外吸收剂具有重要的意义。

以苯偶酰与 4-硝基邻苯二胺为初始原料经过环合,硝基还原得到重中间体后与 2-甲醛吡啶通过 C=N 双键相连合成一种具有较大结构且含有 D- $\pi$ -A 结构的席夫碱新型小分子,并研究了其光学性能以及在塑料中的紫外屏蔽性能。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

苯偶酰、4-硝基邻苯二胺、对甲苯磺酸(TSOH·H<sub>2</sub>O)、二氯化锡二水合物(SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)、冰乙酸(HOAc)、对甲苯磺酸、二氯化锡二水合物、盐酸、吡啶-2-甲醛、PVB 和 PVC:分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司;

N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、乙醇、乙酸乙酯(EA)、乙腈(CN)和二氯甲烷(DCM):分析纯,江苏强盛功能化学股份有限公司。

### 1.2 主要设备及仪器

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪: Spectrum BX II 型,美国 PE 公司;

核磁共振(NMR)波普仪: AVANCE III 型,瑞士 Bruker 公司;

显微镜熔点测定仪: X-5 型,巩义市予华仪器有限公司;

稳态/瞬态荧光光谱仪: FLS920 型,英国 Edinburgh Instruments 公司;

紫外光谱仪: UV1900 型,日本岛津公司;

微机热差天平: HCT-2 型,北京很久科学仪器厂。

### 1.3 合成路线

中间体 I、II 和目标产物 6-(2-吡啶亚氨基)-2,3-二苯基喹啉(QPXF)的合成路线如图 1 所示。

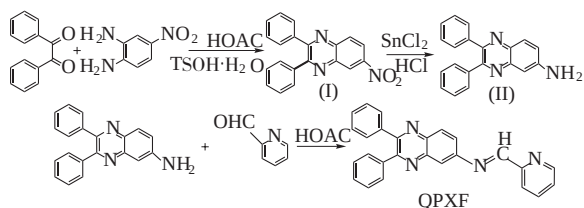


图 1 中间体 I、II 和目标产物 QPXF 的合成路线

#### (1) 中间体 I 和 II 的合成。

中间体 I 的合成。采用参考文献[16-17]的方法,准确称量 2.1 g (10 mmol) 苯偶酰,1.5 g (10 mmol) 4-硝基邻苯二胺加入 100 mL 三口

瓶,加入 30 mL 乙醇,加热搅拌至完全溶解,加入 0.4 g 催化剂对甲苯磺酸,回流反应 8 h,有沉淀析出。抽滤得粗产物,经乙酸乙酯重结晶得到中间体 I 1.96 g,产率 91%,熔点 225.5~226.5℃。

中间体 II 的合成。在 100 mL 三口瓶中加入 3.39 g (15 mmol) SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 与 15 mL 浓盐酸,搅拌至溶解后加入 1.6 g (5 mmol) 的中间体 I,升温至 70℃反应 8 h。用 20% 的 NaOH 中和至弱碱性,析出沉淀后过滤。干燥后的滤饼用乙酸乙酯萃取,蒸干溶剂得到中间体 II 0.65 g,产率 45%,熔点 173~174℃。

#### (2) 目标产物 QPXF 的合成。

称取 0.5 g (2 mmol) 中间体 II 溶于无水乙醇后加入到 100 mL 三口瓶中,少量乙醇溶解 1.5 g (6 mmol) 吡啶-2-甲醛,并用滴管将其慢慢加入三口瓶中,滴加 3 滴 CH<sub>3</sub>COOH 作为催化剂,控制反应温度在 85℃,TLC 点板跟踪至反应结束。将三口瓶中的溶液倒入到烧杯冷却有沉淀析出,抽滤得粗产物,重结晶得到黄色目标产物 0.3 g,产率 38%,熔点 >300℃。

### 1.4 PVB/QPXF, PVC/QPXF 复合薄膜的制备

按参考文献[18-19]的方法,将 QPXF 溶解后与 PVB 溶液混合,超声分散至溶液呈澄清粘稠状且无气泡升起,配制 QPXF 含量分别为 0%,0.25%,0.5%,0.75%,1% 的 PVB/QPXF 混合溶液,通过浇铸成膜法制得厚度约为 1 mm 的复合膜。通过同样的实验方法得到 QPXF 含量分别为 0%,0.25%,0.5%,0.75%,1% 的 PVC/QPXF 复合膜。

### 1.5 测试与表征

FTIR 测试:将产物与光谱级溴化钾按 1:200 的比例混合研磨烘干,压成透光率为 40% 以上的薄片进行 FTIR 测试。

<sup>1</sup>H NMR 测试:利用氘代二甲基亚砜为溶剂进行测试。

TG 分析:在 20 mL/min 高纯度流动氮气氛下,在 TGA-Stare 系统上对产物进行 TG 分析。

紫外荧光测试:称取 0.013 g 产物溶解在 40 mL 有机溶剂中,配制浓度为 1×10<sup>-3</sup> mol/L 的溶液,按比例稀释至浓度为 5×10<sup>-3</sup> mol/L。使用紫外光谱仪与荧光光谱仪进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 产物的 FTIR 与 <sup>1</sup>H NMR 分析

#### (1) 中间体 I。

FTIR (KBr) :  $3\ 050\ \text{cm}^{-1}$  (C—H),  $1\ 610\ \text{cm}^{-1}$  (C=N),  $1\ 564\ \text{cm}^{-1}$ ,  $697\ \text{cm}^{-1}$  (Ar, C=H),  $1\ 519\ \text{cm}^{-1}$  (—NO<sub>2</sub>)。 <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) :  $\delta$ 8.97 (d, 1H), 8.59 (dd, 1H), 8.40 (d, 1H), 7.95 (s, 1H), 7.54 (dt, 4H), 7.48–7.38 (m, 7H)。

## (2) 中间体 II。

FTIR (KBr) :  $3\ 460\ \text{cm}^{-1}$  (—NH<sub>2</sub>),  $3\ 057\ \text{cm}^{-1}$  (Ar, C—H),  $1\ 629\ \text{cm}^{-1}$  (C=H),  $1\ 490\ \text{cm}^{-1}$  (Ar, C=H)。 <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) :  $\delta$ 9.13–8.51 (m, 3H), 8.40 (d, 2H), 7.59–7.22 (m, 8H), 5.33 (t, 2H)。

## (3) 目标产物 QPXF。

QPXF 的 FTIR 与 <sup>1</sup>H NMR 如图 2 所示。FTIR(KBr) :  $3\ 057\ \text{cm}^{-1}$  (C—H) ;  $1\ 615\ \text{cm}^{-1}$  (C=N) ;  $1\ 510\ \text{cm}^{-1}$ ,  $697\ \text{cm}^{-1}$  (r, C—H)。 <sup>1</sup>H NMR(400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>) : 9.48–9.20 (m, 2H), 8.63–8.44 (m, 2H), 8.18–8.04 (m, 1H), 7.90–7.66 (m, 4H), 7.41–7.25 (m, 10H)。

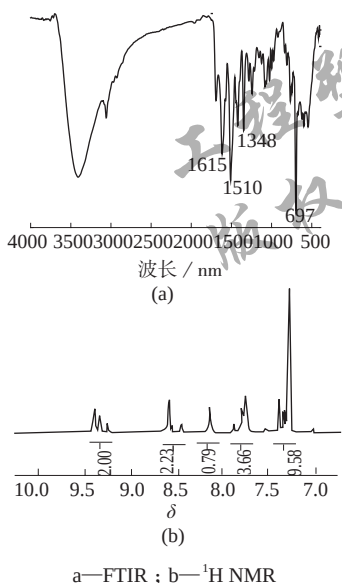


图 2 QPXF 的 FTIR 与 <sup>1</sup>H NMR 谱图

## 2.2 目标产物 QPXF 的 TG

为研究 QPXF 的热稳定性,从室温开始升温速率为  $15\ ^\circ\text{C}/\text{min}$  至  $800\ ^\circ\text{C}$ ,对其进行了 TG 测试,结果如图 3 所示。QPXF 的热分解温度在  $385\ ^\circ\text{C}$  附近,表现出较优异的热稳定性。

## 2.3 QPXF 的紫外-可见吸收光谱及溶液荧光

### (1) 紫外-可见吸收光谱。

QPXF 在 4 种溶剂 DCM, DMF, EA 和乙醇 ( $5 \times 10^{-5}\ \text{mol/L}$ ) 中的紫外-可见吸收光谱图如

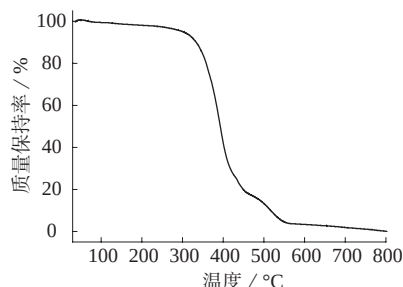


图 3 QPXF 的 TG 图

图 4 所示。在上述溶剂中 QPXF 在 265 nm 与 370 nm 附近有 2 个较强的吸收峰,分别归属于  $\pi-\pi^*$  跃迁和  $n-\pi^*$  跃迁。溶液紫外吸收光谱受溶剂极性的影响,随着溶剂极性的增大,在 265 nm 附近的吸收峰有明显的红移。并且 QPXF 的紫外吸收基本覆盖了日光中的紫外 UVB (275~320 nm) 与 UVA (320~400 nm) 波段,根据郎伯-比尔定律  $A=\epsilon \times l \times c$  计算 QPXF 在 UVA 及 UVB 波段  $\lambda_{\text{max}}$  的摩尔消光系数  $\epsilon$ ,计算结果见表 1,可知 QPXF 具有良好的抗日光紫外线应用前景。

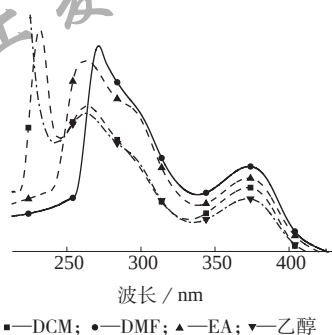


图 4 QPXF 在不同溶剂中的紫外-可见吸收光谱

表 1 QPXF 的  $\epsilon$  L/(mol·cm)

| 溶剂  | $\epsilon_{\lambda_{\text{max1}}}$ | $\epsilon_{\lambda_{\text{max2}}}$ |
|-----|------------------------------------|------------------------------------|
| DCM | $3.0 \times 10^4$                  | $1.6 \times 10^4$                  |
| DMF | $4.2 \times 10^4$                  | $2.0 \times 10^4$                  |
| EA  | $3.8 \times 10^4$                  | $1.7 \times 10^4$                  |
| 乙醇  | $2.8 \times 10^4$                  | $1.3 \times 10^4$                  |

注:  $\lambda_{\text{max1}}(\text{DCM, EA, 乙醇})=263\ \text{nm}$ ,  $\lambda_{\text{max1}}(\text{DMF})=270\ \text{nm}$ ,  $\lambda_{\text{max2}}(\text{DCM, EA, 乙醇, DMF})=370\ \text{nm}$ 。

### (2) 荧光。

以 365 nm 波长激发, QPXF 在 DCM, DMF, EA, 乙醇和  $\text{CN}(5 \times 10^{-5}\ \text{mol/L})$  中的溶液荧光如图 5 所示。

QPXF 的溶液荧光受溶剂极性影响,在极性小的 DCM 和 EA 中为  $\lambda_{\text{em}}=460\ \text{nm}$  的蓝光,在极性大的 DMF, ETOH 和 CN 中为  $\lambda_{\text{em}}=505\ \text{nm}$  左右的蓝绿色光。同时,溶液荧光强度随着溶剂极性的增大而减小。

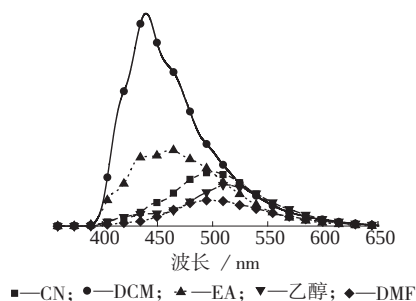
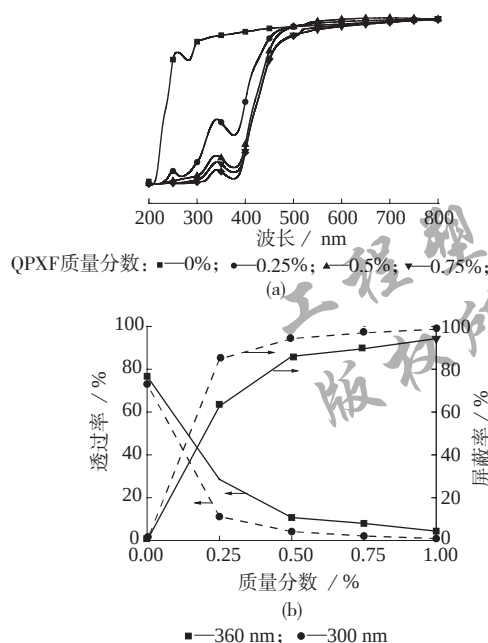


图5 QPXF在不同溶剂中的荧光图谱

## 2.4 PVB/QPXF 和 PVC/QPXF 复合膜的紫外屏蔽性能

### (1) PVB/QPXF 复合膜。

图6为不同含量的PVB/QPXF复合膜的紫外可见吸收光谱及在300 nm和360 nm处的透过率和屏蔽率。



a—吸光度; b—透过率及屏蔽率

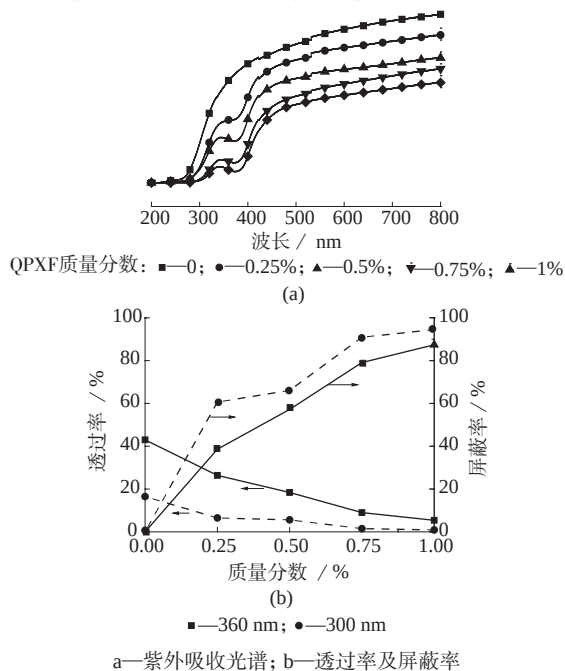
图6 不同含量PVB/QPXF复合膜紫外可见吸收光谱及在300 nm和360 nm处的透过率和屏蔽率

由图6a可知,纯PVB薄膜在275~800 nm区间的透过率很高,几乎没有紫外线吸收性能。随着QPXF含量的增加,复合膜在200~400 nm紫外光区的透过率有明显的降低,对可见光透过率没有影响。定义紫外屏蔽率  $[S\% = (T_0 - T) / T_0 \times 100\%, T_0$  为未添加QPXF的复合膜的透过率,  $T$  为添加一定量的QPXF的复合膜的透过率],以QPXF的含量为横坐标,UVB (275~320 nm) 的中间波段  $\lambda=300$  nm 和 UVA 的中间波段 (320~400 nm)  $\lambda=360$  nm 的紫外透过率、屏蔽率为纵坐标作图,结果如图6b所示。

没有添加QPXF的复合膜在300 nm和360 nm的透过率均在80%附近;当QPXF的质量分数为0.5%,复合膜在300 nm与360 nm的透过率分别降低至4.2%与10.7%,屏蔽率分别为94%与85%,继续添加QPXF至1%时,复合膜在300 nm与360 nm的透过率分别降低至1%与4.5%,屏蔽率分别为99%与94%。1%的QPXF复合膜对UVB波段紫外光屏蔽率达到99%,表现出优异的紫外线吸收性能。同时对UVA波段的紫外光屏蔽率为94%,也具有较好的吸收<sup>[20]</sup>。

### (2) PVC/QPXF 复合膜。

图7为不同含量的PVC/QPXF复合膜的紫外-可见吸收光谱。由图7可知,添加QPXF后的复合膜在275~400 nm紫外光区的透过率有显著的下降,并且随着QPXF的含量增加,复合膜对紫外光的吸收逐渐增大。图7b为PVC/QPXF复合膜在 $\lambda=300$  nm和 $\lambda=360$  nm处的紫外透过率和屏蔽率。由图7可见,添加0.5%的QPXF的复合膜在300 nm与360 nm的透过率分别降低至5.3%与18%,屏蔽率分别为66%与57%;继续添加QPXF至1%时,复合膜在300 nm与360 nm的透过率分别降低至1%与5.3%,屏蔽率分别为95%与87%。可以发现,PVC/QPXF复合薄膜对于UVA与UVB波段的紫外光具有一定的吸收作用。



a—紫外吸收光谱; b—透过率及屏蔽率

图7 不同含量PVC/QPXF复合膜UV-vis及在300 nm和360 nm处的透过率和屏蔽率

### (3) PVB复合膜与PVC复合膜的比较。

由图6与图7可知,PVB/QPXF复合膜与PVC/QPXF复合膜都可以屏蔽UVA(320~400 nm)和UVB(275~320 nm)波段的紫外光,且在UVB波段的紫外光屏蔽率优于UVA波段的紫外光屏蔽。在PVB材料中,随着QPXF含量的增加,复合膜的透过率有明显的降低,添加1%的复合膜相比纯PVB膜在300 nm处的紫外透过率降低77%,在360 nm处的紫外透过率降低72%;在PVC材料中,添加1%的复合膜相比纯PVC膜在300 nm处的紫外透过率降低19%,在360 nm处的紫外透过率降低36%。通过对比可以发现,PVB/QPXF复合膜具有更好的紫外屏蔽性能。

### 2.5 复合膜吸收紫外能的能量转化

分别以300 nm和360 nm波长激发,0.5%含量的PVB/QPXF与PVC/QPXF复合膜的薄膜固体荧光如图8所示。从图8可以发现,复合膜发射波长都在450~500 nm之间,最大发射波长为483 nm,固体荧光与液体荧光一致,证明是复合膜中的目标产物QPXF吸收日光中的紫外并且转化成蓝紫色荧光,还符合荧光增白剂的机制,具有一定的扩展研究价值<sup>[21]</sup>。

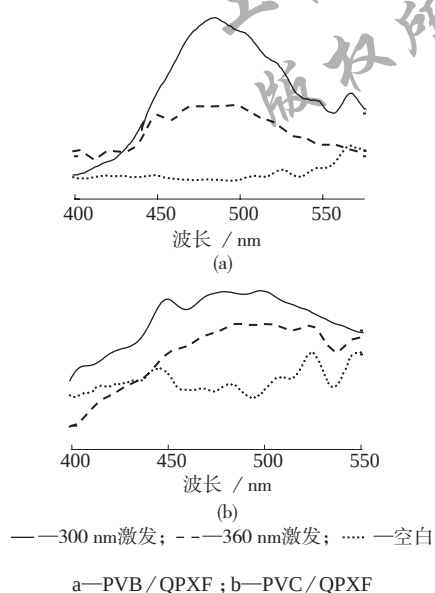


图8 0.5%含量的PVB/QPXF与PVC/QPXF复合膜固体荧光

## 3 结论

以苯偶酰、4-硝基邻苯二胺及吡啶-2-甲醛为原料合成新型席夫碱化合物6-(2-吡啶亚氨基)-2,3-二苯基喹啉。采用FTIR,<sup>1</sup>H NMR对其分子结构进行了表征。通过紫外吸收、荧光和TG考察了化合物的光学性能和热性能,发现QPXF吸收UVB

(275~320 nm)与UVA(320~400 nm)波段紫外光,并以蓝紫光的形式发射出来;产物分解温度在385℃,具有良好的热稳定性。

利用浇铸成膜法制得PVB/QPXF和PVC/QPXF复合膜。通过固体紫外和荧光考察了薄膜的光学性能,发现复合薄膜可屏蔽200~400 nm的紫外光,QPXF在薄膜中的含量增加,薄膜的紫外屏蔽性能增加,当QPXF含量增加到1%时复合薄膜基本可以实现紫外线的全部吸收,具有良好的紫外屏蔽性能。在300 nm和360 nm波长激发下复合薄膜荧光为蓝紫色荧光,吸收的紫外能量转化为荧光,在荧光增白上也有良好的应用前景。

### 参考文献

- [1] Li Jifang, Yang Rui, Yu Jian, et al. Natural photo-aging degradation of polypropylene nanocomposites[J]. Polymer Degradation and Stability, 2008, 93(1):84-89.
- [2] 曾秀妮, 曾志, 韩春春. 聚合物纳米复合材料在光屏蔽领域的研究进展[J]. 塑料助剂, 2017(3):14-19.  
Zeng Xiumi, Zeng Zhi, Han Chunchun. Research progress of polymer nanocomposites in the field of light shielding[J]. Plastic Additives, 2017(3):14-19.
- [3] Matsumoto S, Kumasaka R, Yagi M, et al. Triplet-triplet energy transfer between UV absorbers in solutions at room temperature[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2017, 346:396-400.
- [4] Hao Jiaojiao, Yang Yang. Exploring the ESIPT dynamical processes of two novel chromophores: Symmetrical structure CHC and asymmetric structure CHN[J]. Organic Chemistry Frontiers, 2018, 10:1039-1058.
- [5] 付威. 聚氯乙烯化学改性的研究进展[J]. 科技创新与应用, 2019(32):109-111.  
Fu Wei. Research progress on chemical modification of polyvinyl chloride[J]. Technology Innovation and Application, 2019(32):109-111.
- [6] 周大鹏, 王笑平. 聚乙烯缩丁醛生产技术与应用研究进展[J]. 精细石油化工进展, 2018, 19(4):45-49.  
Zhou Dapeng, Wang Xiaoping. Research progress on production technology and application of polyvinyl butyral[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2018, 19(4):45-49.
- [7] 卢莲英, 汪敦佳, 杨辉. 紫外线吸收剂4,4'-二羟基二苯甲酮的合成[J]. 化学世界, 2005, 46(7):428-430.  
Lu Lianying, Wang Dunjia, Yang Hui. Synthesis of 4,4'-dihydroxybenzophenone as an ultraviolet absorbent[J]. Chemical World, 2005, 46(7):428-430.

- [8] Wang Z Y. The application of UV absorbers in fire retardant coatings[J]. Journal of Shandong Normal University:Natural Science Edition, 2013, 28(4):142-144.
- [9] Nagayoshi H, Kakimoto K, Takagi S, et al. Benzotriazole ultraviolet stabilizers show potent activities as human aryl hydrocarbon receptor ligands[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(1):578-587.
- [10] María T P, Fumagalli F, Benevenuto C G, et al. Novel benzophenone-3 derivatives with promising potential as UV filters:Relationship between structure, photoprotective potential and phototoxicity[J]. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2017, 101:200-210.
- [11] Grabowska A, Kownacki K, Karpiuk J, et al. Photochromism and proton transfer reaction cycle of new internally H-bonded Schiff bases[J]. Chemical Physics Letters, 1997, 267(1-2):132-140.
- [12] Yousif E, Al-Amiery A, Kadhum A, et al. Photostabilizing efficiency of PVC in the presence of schiff bases as photostabilizers[J]. Molecules, 2015, 20(11):19886-19899.
- [13] Emad Y, Gamal A, El-Hiti, et al. Viscoelastic, spectroscopic and microscopic study of the photo irradiation effect on the stability of PVC in the presence of sulfamethoxazole schiff's bases[J]. Polymers, 2015, 7:2190-2204.
- [14] Luo Qingqing, Cao Chaotun, Cao Zhongzhong, et al. Influence of the side-group at C=N bridging bond of bis-aryl Schiff bases on the wavelength of absorption maximum of ultraviolet absorption spectra[J]. J Phys Org Chem, 2016. DOI: 10.1002 / poc.3550.
- [15] 李建立, 万玉春, 王艳菊, 等. 新型喹啉衍生物的合成、光物理性质及理论分析 [J]. 发光学报, 2011, 32(10):1024-1029.
- Li Jianli, Wan Yuchun, Wang Yanju, et al. Synthesis photophysical properties and theoretical analysis of new quinoxaline derivatives[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2011, 32(10):1024-1029.
- [16] 李郁锦, 夏烈, 高建荣. 吩嗪类化合物的绿色研究 [J]. 浙江工业大学学报, 2013, 41(3):286-288.
- Li Yujin, Xia Lie, Gao Jianrong. Green research on phenazines[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2013, 41(3):286-288.
- [17] Kadam H K, Khan S, Kunkalkar R A, et al. Graphite catalyzed green synthesis of quinoxalines[J]. Tetrahedron Letters, 2013, 54(8):1003-1007.
- [18] 陈欣, 王灿耀, 桑杰, 等. PVB-ZnO/CdS 复合膜对紫外光与蓝光屏蔽及光老化的研究 [J]. 塑料工业, 2018(8):35-38.
- Chen Xin, Wang Canyao, Sang Jie, et al. Study on UV and blue light shielding and photoaging of PVB-ZnO / CdS composite film[J]. China Plastics Industry, 2018(8):35-38.
- [19] 姚凯凯, 邱广明. PVC/PVA 共混膜的制备及性能研究 [J]. 膜科学与技术, 2019, 39(3):36-42.
- Yao Kaikai, Qiu Guangming. Preparation and properties of PVC / PVA blend films[J]. Membrane Science and Technology, 2019, 39(3):36-42.
- [20] 李向阳, 皇甫流成, 董莉. 具有紫外线吸收功能的 PVDF/GO 复合膜的制备及表征 [J]. 工程塑料应用 2019, 47(7):34-38.
- Li Xiangyang, Huangpu Liucheng, Dong Li. Preparation and characterization of PVDF / GO composite films with ultraviolet absorption function[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(7):34-38.
- [21] Chen Ruoyang, Qu Jiangang, Zhao Qiangqiang, et al. Environmental impact on the light and perspiration stability of triazinylstilbene fluorescent brighteners on cotton fabrics[J]. Fibers and Polymers, 2014, 15(9):1915-1920.