



易碱洗型分散染料合成及其对二醋酸酯纤维织物的染色性能评估

陈香梅¹,程建伟²,陈海龙³,郭丽雪⁴,陈维国⁵,戚栋明^{1,4},崔志华^{1,4}

(1. 浙江理工大学, a. 生物基纤维材料全国重点实验室; b. 绿色低碳染整技术浙江省工程研究中心, 杭州 310018;
2. 天津渤海化工集团有限责任公司劳动卫生研究所, 天津 300051; 3. 浙江国邦药业有限公司, 浙江绍兴 312369;
4. 浙江省现代纺织技术创新中心, 浙江绍兴 312030; 5. 浙江理工大学桐乡研究院有限公司, 浙江桐乡 314500)

摘要: 为了开发高色牢度、优异染色性能和可碱洗替代还原清洗等特性的分散染料, 采用 N-烷基化反应和重氮-偶合反应, 在染料分子结构中引入羧酸酯基和邻苯二甲酰亚胺基团, 合成了一种新型含羧酸酯和邻苯二甲酰亚胺结构的易碱洗型分散染料 C1; 采用紫外-可见光谱图、红外光谱、质谱、核磁共振氢谱等分析方法来确认染料分子结构, 并根据提升力、上染率和色牢度等指标, 综合评估染料对二醋酸酯纤维织物的染色性能。结果显示: 当染料用量为 2.0%(owf) 时, 纤维表面的染料吸附位点接近饱和状态, 染料 C1 对二醋酸酯纤维织物展现出优异的染色性能, 其 K/S 值超过 19.00 且上染率达到 92.3%。二醋酸酯纤维织物表现出较高的 L^* 、 b^* 、 c^* 值, 最大吸收波长位于 480 nm 处, 织物表现为橙色。经还原清洗与碱洗工艺处理后, 织物色牢度仍能保持在 4 级及以上水平。研究结果表明, 染料 C1 染色的二醋酸酯纤维织物经过碱洗工艺处理后, 其色牢度与还原清洗后的色牢度相当。该工艺免除了保险粉的使用, 同时减少了环境污染, 为二醋酸酯纤维织物的后期染色处理提供了一种高效环保方法。

关键词: 羧酸酯; 邻苯二甲酰亚胺; 二醋酸酯纤维; 分散染料; 色牢度

中图分类号: TS190.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2025)07-0515-08

引用格式: 陈香梅, 程建伟, 陈海龙, 等. 易碱洗型分散染料合成及其对二醋酸酯纤维织物的染色性能评估[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2025, 53(4): 515-522.

Reference Format: CHEN Xiangmei, CHENG Jianwei, CHEN Hailong, et al. Synthesis of an alkali-washable disperse dye and evaluation of its dyeing performance on diacetate fiber fabrics[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2025, 53(4): 515-522.

Synthesis of an alkali-washable disperse dye and evaluation of its dyeing performance on diacetate fiber fabrics

CHEN Xiangmei¹, CHENG Jianwei², CHEN Hailong³, GUO Lixue⁴, CHEN Weiguo⁵, QI Dongming^{1,4}, CUI Zhihua^{1,4}
(1a. State Key Laboratory of Bio-based Fiber Materials; 1b. Zhejiang Provincial Engineering Research Center for Green and Low-carbon Dyeing Finishing, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Tianjin Bohai Chemical Industry Group Co., Ltd., Occupational Health Institute, Tianjin 300051, China; 3. Zhejiang Guobang Pharmaceutical Co., Ltd., Shaoxing 312369, China; 4. Zhejiang Provincial Innovation Center of Advanced Textile Technology, Shaoxing 312030, China; 5. Zhejiang Sci-Tech University Tongxiang Research Institute Co., Ltd., Tongxiang 314500, China)

Abstract: To develop disperse dyes with high color fastness, excellent dyeing properties, and the ability to replace reduction washing with alkaline washing, a novel carboxylate-and phthalimide-containing disperse dye C1 with easy alkali washability was synthesized by introducing carboxylate ester and

收稿日期: 2025-03-04 网络出版日期: 2025-06-03

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(21808210); 中国纺织工业联合会应用基础研究项目(J202108); 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目(2023C01096); 中国纺织工业联合会科技指导性计划项目(2023028)

作者简介: 陈香梅(1998—), 女, 河北三河人, 硕士研究生, 主要从事染料合成及其应用方面的研究。

通信作者: 崔志华, E-mail: zhhcui@zstu.edu.cn

phthalimide groups into the dye molecular structure through N-alkylation and diazo-coupling reactions. The dye's molecular structure was confirmed using UV-Vis spectroscopy, infrared spectroscopy, mass spectrometry, and nuclear magnetic resonance hydrogen spectroscopy. The dyeing performance of C1 on diacetate fiber fabrics was comprehensively evaluated based on strike up, dyeing rate, and color fastness. When the dye concentration was 2.0% (owf), the dye adsorption sites on the fiber surface were nearly saturated. C1 showed outstanding dyeing performance on diacetate fiber fabrics, with a K/S value over 19.00 and a dyeing rate of 92.3%. The diacetate fiber fabrics exhibited high L^* , b^* , and c^* values, and appeared orange with a maximum absorption wavelength at 480 nm. After reduction and alkaline washing, the fabric's color fastness remained at level 4 or above. Results showed that the color fastness of C1-dyed fabrics after alkaline washing was comparable to that after reduction washing. This process eliminates the use of insurance powder and reduces environmental pollution, offering an efficient and eco-friendly method for post-dyeing treatment of diacetate fiber fabrics.

Key words: carboxylate; phthalimide; cellulose diacetate; disperse dyes; color fastness

0 引言

二醋酸纤维(Cellulose diacetate, CA)集吸湿透气性、珍珠光泽、尺寸稳定性等方面的优势于一体,其低玻璃化转变温度与结晶度特性可促进染色过程中分子链运动,从而为分散染料吸附扩散创造有利条件。因此,当采用分散染料染色工艺时,二醋酸纤维织物能够展现出与分散染料工艺的高度适配性,并实现高效且均匀的染色效果^[1-3]。

在分散染料染色织物过程中,通常需要将吸附在纤维表面上的染料进行强碱性还原浴处理,以增强色牢度。这种强碱性还原浴是由强碱(如氢氧化钠)和还原剂(如连二亚硫酸钠)组成。然而,这一过程可能会导致纤维表面乙酰基水解,降低纤维疏水性,削弱纤维与染料之间的范德华力,使染料脱落,色牢度降低。此外,还原清洗还会破坏偶氮键,释放有毒芳香胺类化合物,污染环境^[4-6]。据报道^[7],在我国,还原清洗过程中使用到的保险粉年产量约60万t,而每生产1t保险粉会产生8t盐析废水,这导致行业废水排放量显著攀升。这些废水化学需氧量极高,难以生物降解,且易对土壤和地下水系统造成严重破坏。

为解决因还原清洗带来的环境污染问题,研究人员开发了含有磺酰氟基团的可碱洗染料,这类可碱洗偶氮分散染料可通过碱洗达到除去浮色的目的,无需使用还原剂保险粉,减小了对环境的危害。该染料在碱性条件下水解生成磺酸根离子,在不破坏偶氮键的同时生成亲水性基团,因而便于洗去纤维表面浮色^[8-10]。酰氟染料在水解过程中释放的氟离子具有较高的毒性,处理难度较大,增加了废水处理成本。因此,尽管磺酰氟碱洗分散染料可以减少

保险粉的使用,但在实际应用中仍须进一步优化。

除了磺酰氟可以在碱性条件下水解外,研究发现^[11]含有羧酸酯基团和邻苯二甲酰亚胺结构的偶氮分散染料同样具备可碱洗性。羧酸酯类分散染料在碱性条件下水解后生成低毒性的乙醇,不仅有效降低了废水处理的难度,还显著减少了处理成本。在此基础上,学者们成功研发出多色羧酸酯类可碱洗染料。该类染料合成转化率高,成本低,在聚酯染色时上染率高,染料易水解后循环使用^[12-14]。邻苯二甲酰亚胺类分散染料原料易得,合成工艺成熟,条件温和,易于工业化生产,有利于降低生产成本^[15-17]。

为了获得高色牢度、染色性能优异的易碱洗型分散染料,本文通过N-烷基化和重氮-偶合反应制备了含邻苯二甲酰亚胺结构的羧酸酯型分散染料C1;利用紫外-可见光谱图、红外光谱、质谱、核磁共振氢谱等分析手段对染料的分子结构进行了表征,并通过对提升力、上染率和色牢度等关键指标的分析,综合评估染料对二醋酸纤维织物的染色性能。

1 实验部分

1.1 试剂及仪器

试剂: N-甲基-4-氨基邻苯二甲酰亚胺($\geq 98.0\%$)、3-氨基乙酰苯胺(98.0%)、溴化钠(99.0%)、氯乙酸乙酯(99.0%)、浓盐酸(AR)、亚硝酸钠(99.8%)、二氯甲烷(99.0%)、N,N-二甲基甲酰胺(AR)、无水碳酸钠($\geq 99.5\%$)、甲苯(AR)、乙醇(AR)、氢氧化钠(AR)、尿素(AR)、分散剂 NNO(工业纯)、皂片和二醋酸纤维织物(由浙江吉华有限公司提供)。

仪器:紫外-可见分光光度计(UV2600型,日本岛津公司)、傅里叶变换红外光谱仪(Nicolet iS20

型,美国赛默飞公司)、质谱联用仪(LCQ-Fleet 型,美国 Thermo 公司)、测色配色仪(SF600X 型,美国 Datecolor 公司)、耐摩擦色牢度仪(Y571 L 型,莱州市电子仪器有限公司)和熨烫升华色牢度仪(YG605-Ⅲ型,温州方圆仪器有限公司)。

1.2 染料合成

分散染料 C1 同时含有羧酸酯基团和邻苯二甲酰亚胺结构,是通过 N-烷基化反应和重氮偶合反应^[18-19]合成得到,具体合成路线如图 1 所示。

1.2.1 偶合组分 A1 的合成

将 30.04 g(0.20 mol)3-乙酰氨基苯胺、73.53 g(0.60 mol)氯乙酸乙酯、20.0 mL 甲苯、22.40 g(0.40 mol)无水碳酸钠、64.0 mL(0.60 mol)二氯甲烷、3.00 g 溴化钠投入带有回流冷凝器的 500.0 mL 的圆底烧瓶中,在 120~125 ℃下回流反应 4.0 h,至反应完毕;然后降温至 25~30 ℃,加入 150.00 g 水和 100.00 g N,N-二甲基甲酰胺(DCM),搅拌 5 min 后静置分层;取出有机层并旋转蒸发出过量 DCM,制得含有偶合组分 A1 的产物 63.62 g,产率为 98.7%。

1.2.2 重氮盐 B1 的制备

将 35.24 g(0.20 mol)N-甲基-4-氨基邻苯二甲酰亚胺溶于 13.8 mL(2.3 mol/L)稀盐酸和 140.0 mL 水溶液中,将体系置于冰水浴中并控制温度在 0~5 ℃,加入 1.52 g(0.22 mol)亚硝酸钠,搅拌均匀后在 0~5 ℃下反应 0.5 h,反应完成后加入尿素以去除残余亚硝酸钠。

1.2.3 分散染料 C1 的合成

将偶合组分 A1、100.0 mL 水和约 4.0 mL 盐酸加入 500 mL 的烧杯中,冰水冷却,搅拌,降温至 0~5 ℃;滴加重氮盐 B1 溶液进行偶合反应,滴加时间约 0.5 h,待滴加完成后,继续维持偶合反应 3.0 h;在整个偶合反应过程中,使用浓度为 2.3 mol/L 的稀盐酸调节体系的 pH 值,使其保持在 2~3 范围内;以滤纸上染料与偶合组分接触后无红色晕圈为终点,通过渗圈法判断反应终点;将反应所得物过滤,水洗涤多次至洗涤液为中性,并采用乙醇对反应所得物重结晶,过滤和干燥,得到分散橙染料 C1 98.23 g,产率 96.4%。

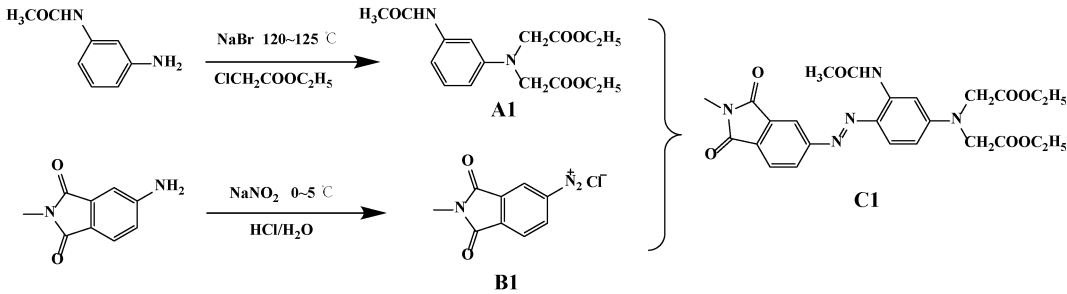


图 1 分散染料 C1 的合成路线

1.3 染色分析

为了全面评估新型偶氮分散染料 C1 的染色性能,将其与结构相似的常见商品染料分散红 74^[20]进行对比分析。染料 C1 的分子结构中含有可水解的 N-甲基邻苯二甲酰亚胺基和两个羧酸酯基团,分散红 74 染料分子结构仅含有 2 个在碱性条件下可水解的羧酸酯基团。

1.3.1 染色方法及染色工艺曲线

分散染料染色方法:在染料用量为 2.0% (owf)、浴比 1:20 和 pH 值 5~6 的条件下,以 30 ℃ 为起始温度,以 2 ℃/min 升温至 90 ℃后,保温 45 min,随后以 3 ℃/min 降温至 60 ℃,取出 CA,在室温中晾干。CA 染色工作曲线如图 2 所示。

1.3.2 染色织物后处理

本文设计了 CA 织物的 4 种后处理工艺,具体包括:未处理、传统还原清洗处理、高浓度碱洗处理

以及低浓度碱洗处理。在浴比 1:20、温度 80 ℃、时间 15 min 条件下,对 4 种方案处理下的试样进行对比分析。后处理工艺配方如表 1 所示。

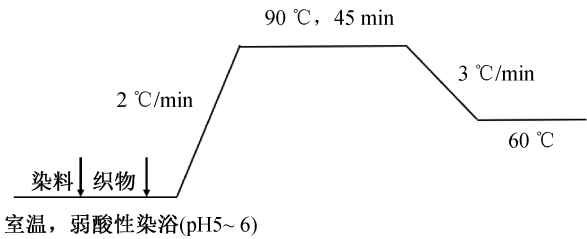


图 2 CA 染色工艺曲线

表 1 染色织物后处理工艺配方

后处理工艺	保险粉/(g·L ⁻¹)	氢氧化钠/(g·L ⁻¹)
未处理		
传统还原清洗	2.0	1.0
高浓度碱洗		1.0
低浓度碱洗		0.1

1.4 合成表征以及染色性能测试

1.4.1 光谱特性测试

将染料 C1 溶解在 DMF 溶剂中,配制成不同浓度的溶液。对于标准工作曲线测定,配制成质量浓度为 2、4、6、8 mg/L 和 10 mg/L 的溶液,对于可见吸收光谱测试,配制浓度为 1 μmol/L 的溶液,采用紫外可见分光光度计测量各溶液的吸光度,记录最大吸收波长下的吸光度值。

1.4.2 红外光谱测试

利用溴化钾压片法将染料制备成薄片,分析 FT-IR 谱图中的特征吸收峰,鉴别样品中的化学键和官能团。

1.4.3 质谱测试

将样品溶解于 DCM 溶液中,在正离子模式下,于质荷比(m/z)150~2000 范围内进行测试。

1.4.4 核磁共振测试

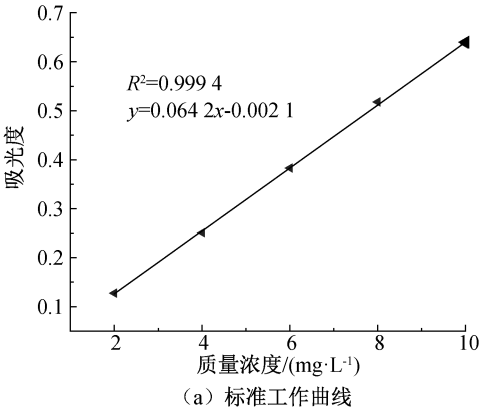
将染料 C1 溶解在氘代氯仿中,确保其完全溶解且溶液均匀透明,将溶解好的样品溶液装入核磁管中进行测试。

1.4.5 上染率测试

分别取染料 C1 和分散红 74 的染前原液和染后残液,将样品用 DMF 溶液稀释至相同的比例,使用 UV-vis 进行吸光度测试。根据式(1)计算上染率:

$$\text{上染率} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\% \tag{1}$$

其中: A_0 为染色前染液的吸光度; A_t 为染色后残液的吸光度。



1.4.6 提升力曲线的测定

将染料 C1 和分散红 74 分别在染料用量为 0.5% (owf)、1.0% (owf)、2.0% (owf)、4.0% (owf)和 6.0% (owf)条件下,对 CA 进行染色。以染料用量为自变量, K/S 值为因变量,构建函数关系并绘制提升力曲线。

1.4.7 色牢度测试

根据 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》测试染色 CA 的耐皂洗色牢度,进行色牢度评级。

根据 GB/T 251—2008《纺织品 色牢度试验 评定沾色用灰色样卡》测试染色 CA 的耐摩擦色牢度,进行色牢度评级。

根据 GB/T 5718—1997《纺织品 色牢度试验 耐干热(耐压除外)色牢度》测试染色 CA 的耐升华色牢度,进行色牢度评级。

2 结果与讨论

2.1 可见光谱分析

C1 的标准工作曲线及可见光谱图如图 3 所示,染料 C1 的标准工作曲线为 $y = 0.0642x - 0.0021$,其中: y 为吸光度; x 为染料质量浓度,mg/L。由图 3(b)可知,染料 C1 在 DMF 溶液中的最大吸收峰位于 484 nm 处,C1 对波长为 450~500 nm 的绿蓝光具有强烈的吸收特性,染料所呈现的色彩由其吸收光谱中的未被吸收的光波长决定,因此 C1 吸收绿蓝光后,呈现出来的颜色为橙色。

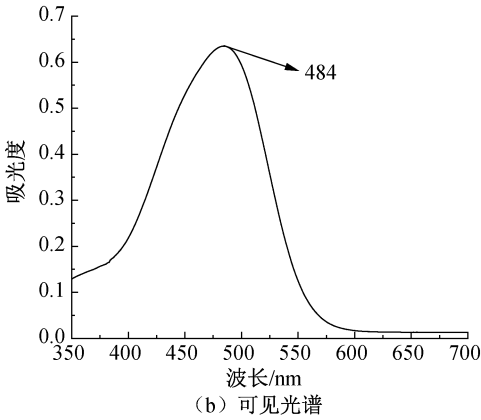


图 3 C1 在 DMF 溶液中的标准工作曲线及可见光谱

2.2 红外光谱分析

C1 的红外光谱图如图 4 所示。由图 4 可知:1593 cm^{-1} 为苯环的骨架伸缩振动带,1766 cm^{-1} 处的特征吸收峰归属于羧酸酯基团上羰基 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动带,1709 cm^{-1} 处的特征吸收峰归属于邻

苯二甲酰亚胺结构上羰基 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动带,2960、2831 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2-$ 的伸缩振动带,3436 cm^{-1} 为乙酰氨基上 N-H 的伸缩振动带,C1 样品的特征吸收峰与目标分子中各官能团的振动模式相一致。

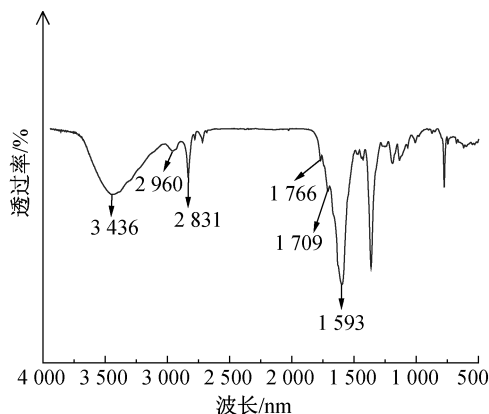


图 4 分散染料 C1 红外光谱

2.3 质谱分析

C1 在正离子模式下的质谱图如图 5 所示。由图 5 可知:在质荷比(m/z)为 510.193 时,出现了 1 个明显的 $[M+H]^+$ 质子化分子离子峰;在正离子模式下,C1 分子结合了一个质子(H^+),可确定 C1 的相对分子质量为 509.183,这一结果与 C1 的理论相对分子质量 509.190 非常接近,验证了所测 C1 分子的准确性。

2.4 核磁共振波谱分析

C1 的核磁共振波谱图如图 6 所示。由图 6 可知: $\delta 11.01$ 处出现积分面积为 1.00 的单峰,归属于 22 号亚氨基上的氢原子,这是因为分子内氢键的形成,即 $-NH-$ 基团中的氢原子与 $C=O$ 基团中的氧原子之间发生相互作用,导致该氢原子的电子云密度降低,因而使其核磁共振化学位移向低场方向显

著移动; $\delta 8.12$ 处单峰对应于 3 号氢原子,由其化学位移向低场移动主要是受到邻近 $C=O$ 吸电子效应的影响; $\delta 8.02$ 和 $\delta 7.98$ 处分别出现氢积分为 1.06、0.95 的双峰,分别归属于 6 号和 5 号氢;在 $\delta 7.97$ 处观察到一个氢积分为 1.08 的双峰, $\delta 6.45$ 处则出现 1 个 DD 峰,耦合常数均为 1.6 Hz,分别归属于 19 号和 17 号氢,因为耦合常数相同,表明 19 号氢与 17 号氢之间存在相互耦合作用,导致 19 号氢的单峰分裂为双峰,17 号氢的双峰进一步分裂为 DD 峰; $\delta 4.25$ 处为单峰,氢积分为 8.00,可确定为 26、30、32、35 号氢质子的归属; $\delta 3.19$ 和 $\delta 2.26$ 处均为单峰,氢积分为 3.02,确定为 10 号、25 号氢原子的归属;化学位移 $\delta 1.29$ 处观察到一个单峰,其积分面积为 6.04,结合分子结构分析,可明确归属为 31 号和 37 号氢原子。该结果与目标分子 C1 的预期结构特征完全吻合,证实了合成产物与 C1 结构的一致性。

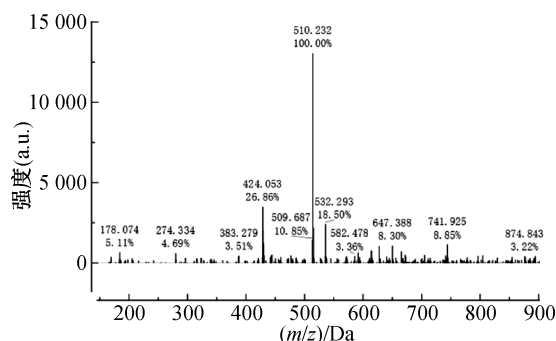


图 5 分散染料 C1 质谱

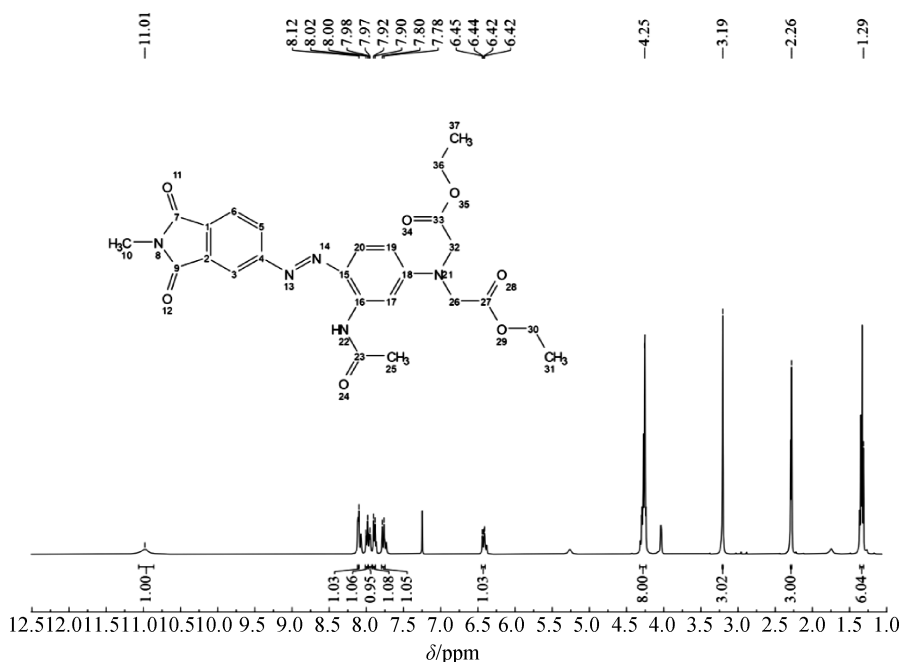


图 6 C1 核磁共振波谱图

2.5 染料提升力分析

染料 C1 和分散红 74 的 K/S 值随染料用量的变化曲线如图 7 所示。由图 7 可知:在染料用量较低时,织物的 K/S 值随染料用量的增加呈线性上升趋势,说明了染料对纤维的吸附能力较强,染色效率较高;当染料用量达到 2.0% (owf)时, K/S 值的

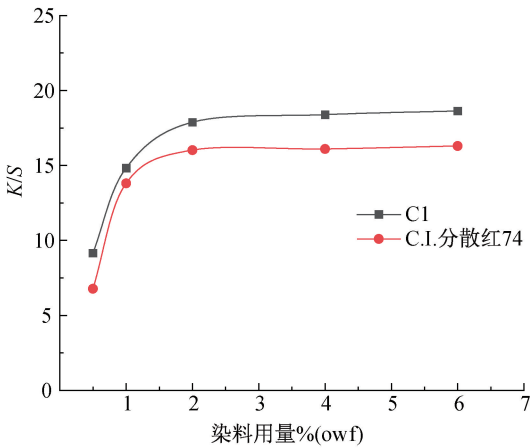


图 7 染料 C1 和分散红 74 的提升力曲线图

增长趋势发生显著变化,其上升速率明显减缓并逐渐达到平台期,这种现象表明纤维表面的染料吸附位点已接近饱和状态,染料分子与纤维之间的相互作用趋于平衡,进一步增加染料浓度对 K/S 值的增强效应显著减弱,染料 C1 的 K/S 值高于染料分散红 74。

氢键的形成进一步增强了染料分子与纤维之间的亲和力和。

硝基是强吸电子基团,可通过诱导效应和共轭效应从苯环中吸引电子,这一特性使得含有硝基的染料在染色过程中与纤维的极性基团相互作用较弱。因此,与含硝基的染料分散红 74 相比,染料 C1 中的邻苯二甲酰亚胺基团能够更有效地与纤维表面的极性基团相互作用,因而具有更高的 K/S 值。

综上所述,由于 C1 中的邻苯二甲酰亚胺基团具有独特的共平面性特征,其双酮基团可与纤维表面的羟基和酯基形成多重氢键,显著增强了染料与纤维之间的结合力,因而具有更高的绝对最大上染量。

2.6 上染率、 K/S 值及颜色参数分析

染料 C1 和分散红 74 在 2.0% (owf) 的上染率、 K/S 值及颜色参数如表 2 所示。

由表 2 可知:染料 C1 对 CA 织物的染色结果表现出较高的 L^* 、 b^* 、 c^* 值,其中: L^* 值越高,表明织物的亮度较高, b^* 值的正值反映了颜色偏向黄色, c^* 值较高表明织物颜色饱和度较高;与染料 C1 相比,分散红 74 染色 CA 织物的 a^* 值较高表现出偏红的颜色特征,这种颜色差异与两支染料的分子结构特征可能存在紧密关联;分散红 74 的重氮组分中,硝基作为强吸电子基团,并且位于偶氮基的对位,增强了染料的深色效应,使得织物颜色偏红。而 C1 染料中的邻苯二甲酰亚胺基团虽具有吸电子能力,但相对较弱,使得织物颜色偏向黄色。

表 2 染料 C1 和分散红 74 染色 CA 的上染率、 K/S 值及颜色参数

染料	上染率/%	后处理工艺	K/S 值	L^*	a^*	b^*	c^*
C1	92.3	未处理	19.74	66.83	35.21	57.50	66.00
		还原清洗	19.38	67.18	36.70	56.26	67.17
		高浓度碱洗	19.41	66.52	35.81	55.24	65.55
		低浓度碱洗	19.66	67.01	36.33	56.16	66.83
分散红 74	90.8	未处理	17.24	46.51	52.80	29.54	59.03
		还原清洗	17.20	45.46	53.81	28.52	60.90
		高浓度碱洗	17.02	45.83	53.05	28.01	59.52
		低浓度碱洗	17.12	45.60	53.54	28.33	60.21

染料 C1 染色 CA 织物表现出更高的亮度和黄绿色的色光,但其 K/S 值更高,这与其分子结构及在纤维内部的排列方式相关。邻苯二甲酰亚胺基的共平面性以及其与纤维间形成的多重氢键,不仅提高了上染率,还促进了分子在纤维内的有序堆积。这使得染料在黄绿色光谱范围内仍能呈现较高的颜色深度。

图 8 中 C1 和分散红 74 在 CA 织物上的 K/S 值变化曲线所对应的最大吸收波长分别位于为 480 nm(吸收蓝色光,表现为橙色)和 500 nm(吸收绿色光表现为红色),与上述颜色参数的结果一致,两种染料在染色效果上表现出显著差异(见小图色块),这一结果得到了进一步验证。

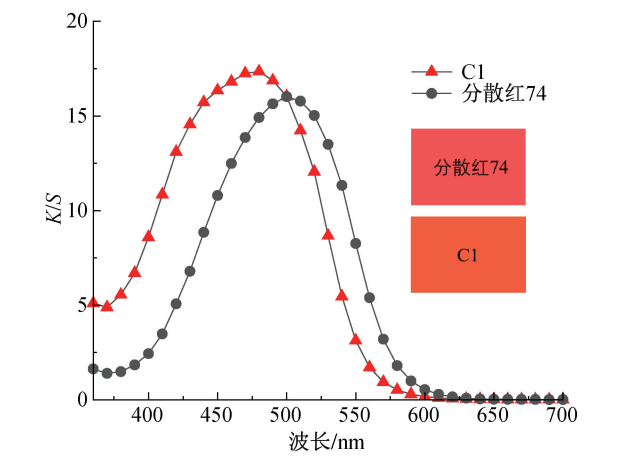


图 8 染料 C1 和分散红 74 在 CA 上的 K/S 曲线

表 3 染料 C1 和分散红 74 染色 CA 织物各项色牢度对比

染料	后处理方式	K/S 值	耐皂洗色牢度/级							耐摩擦色牢度/级		耐升华色牢度/级	
			变色	沾羊毛	沾人造棉	沾涤纶	沾尼龙	沾棉	沾醋酸	干	湿	沾醋酸	沾棉
C1	未处理	19.74	4	4~5	4~5	4~5	4	4	4	3~4	3~4	4~5	4~5
	还原清洗	19.38	4	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
	高浓度碱洗	19.41	4	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
	低浓度碱洗	19.66	4	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
分散红 74	未处理	17.24	4	4	4~5	3	2	4	2~3	4	4	4~5	4
	还原清洗	17.20	4	4~5	4~5	4	3~4	4	3	4~5	4	4~5	4~5
	高浓度碱洗	17.02	4	4	4~5	4	3	4	3	4~5	4	4~5	4~5
	低浓度碱洗	17.12	4	4	4~5	4	2	4	3	4~5	4	4~5	4~5

3 结 论

本文通过 N-烷基化反应和重氮-偶合反应,在染料 C1 分子中同时引入了羧酸酯和邻苯二甲酰亚胺结构,对比了染料 C1 和分散红 74 在提升力、上染率、色牢度等染色性能方面的差异,分析可染色性能差异与染料分子结构的关系,主要结论如下:

a) 染料 C1 在 CA 织物上的 K/S 值为 19.38,上染率达到 92.3%,均优于分散红 74,并且染料 C1 兼具较高的亮度和色深。

b) 染料 C1 经后处理,其色牢度均在 4 级及以上,并且在低浓度碱洗工艺条件下,即可实现与传统还原清洗相当的浮色去除效果,其中相较于分散红 74,染料 C1 的耐皂洗色牢度更为优异。

C1 染料在实验室中表现优异,工业化前景广阔。其原料易获取,工艺简单,易于规模化生产;采用低浓度碱洗工艺,可免除保险粉的使用,有利于降低生产和废水处理的成本,兼具经济与环保优势。虽然 C1 染料在 CA 染色中表现出色,但为满足高端市

2.7 色牢度值分析

CA 织物染色后的各项色牢度如表 3 所示。由表 3 可知:C1 染料经还原清洗和碱洗处理后表现出更优异的色牢度性能,其耐皂洗色牢度≥4 级,耐升华色牢度和耐摩擦色牢度达到 4~5 级,说明 C1 与 CA 纤维结合紧密,不同后处理方法均难以使其发生迁移或脱落,该稳定性进一步证实了染料 C1 所含双酞结构易与 CA 中的羧酸酯基、羟基等形成氢键,增强了其对 CA 纤维的亲合力;相比之下,染料分散红 74 染色的 CA 织物在皂洗色牢度方面表现相对较差,即使经过还原清洗,对尼龙和醋纤的沾色牢度仍无法达到 4 级。因此,要使染料分散红 74 染色的 CA 织物获得优异的色牢度,目前还无法完全免除保险粉的使用。

场需求,仍需进一步探索其对涤纶、锦纶等其他纤维的染色性能,优化染料结构和工艺。同时,需测试其长期稳定性,引入功能化改性,以实现可持续发展。

参考文献:

[1] 张淑洁,司祥平,陈昀,等. 醋酸纤维的性能及应用[J]. 天津工业大学学报, 2015, 34(2): 38-42.

[2] 王石磊,张建波,张林. 醋酸纤维在纺织中的应用[J]. 染整技术, 2009, 31(9): 7-10.

[3] 王国军,尚润玲. 二醋酸纤维机织物的染色[J]. 轻纺工业与技术, 2024, 53(4): 7-9.

[4] 金亮. 耐晒可碱洗分散染料的设计、合成与应用性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2021: 4-5.

[5] 金亮,朱涛,汪仁良,等. 可碱洗羧酸酯型分散染料的可循环性[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2021, 46(2): 178-184.

[6] 曹永恒,龚佳佳,李世琪,等. 分散染料染色涤纶织物水洗牢度的提升[J]. 印染, 2015, 41(23): 38-41.

[7] 权小勤,张宝利,王广设,等. 应用臭氧+紫外光技术的保险粉废水处理设备研究[J]. 造纸装备及材料, 2021, 50(4): 59-61.

[8] Koh J. Alkali-hydrolysis kinetics of alkali-clearable azo disperse dyes containing a fluorosulphonyl group and their fastness

properties on PET/cotton blends[J]. *Dyes and Pigments*, 2005, 64(1): 17-23.

[9] Song X Y, Chen H H, Hou A Q, et al. Relationship between the molecular structure, molecular polarities and dyeing properties of benzisothiazole dyes containing multi-ester groups for PET fabric[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2019, 296: 111892.

[10] 王刘阳, 关玉, 李敏, 等. 含氟偶氮分散染料制备及对涤纶的碱性染色性能[J]. *印染*, 2022, 48(6): 1-6.

[11] 孟娇, 刘妮萍, 崔志华, 等. 可碱洗羧酸异丙酯分散染料 AC-1 的合成及应用[J]. *浙江理工大学学报(自然科学版)*, 2017, 42(2): 159-164.

[12] Cui Z H, Cheng X H, Li X, et al. Facile synthesis and properties of alkali-clearable azo disperse dye containing a carboxylic ester moiety[J]. *Chinese Chemical Letters*, 2014, 25(8): 1121-1124.

[13] Cui Z H, Xia G, Gao J R, et al. Synthesis and properties of alkali-clearable azo disperse dyes containing a carboxylic ethyl ester group [J]. *Fibers and Polymers*, 2017, 18(9): 1708-1717.

[14] 刘凯, 崔志华, 陈维国. 羧酸酯型分散染料的 PLA 纤维染色 [J]. *印染*, 2010, 36(18): 5-8.

[15] 王庭钢, 李鑫, 吴芳, 等. 邻苯二甲酰亚胺与 N-羟甲基邻苯二甲酰亚胺的合成研究[J]. *山东化工*, 2017, 46(17): 1-3.

[16] 蒋伟, 徐任仪, 潘林燕. 纤维素醋酸酯纤维定量方法研究[J]. *纺织科技进展*, 2024 (7): 29-31, 62.

[17] 李晓天, 任达, 高卫, 等. 邻苯二甲酰亚胺类生物的合成及杀菌活性评价[J]. *河北农业大学学报*, 2020, 43(5): 73-79.

[18] 展义臻, 赵雪, 王伟. 邻苯二甲酰亚胺分散染料的合成与应用性能[J]. *印染*, 2017, 43(8): 13-17.

[19] Mamun Kabir S M, Eom M, Lee J, et al. Investigation of alkaline hydrolysis of phthalimide-based azo dye and its application to after-treatment optimisation for high-fastness dyeing of polyesters[J]. *Coloration Technology*, 2018, 134(3): 206-213.

[20] 展义臻, 王伟. C. I. 分散红 74 与 C. I. 分散红 356 的染色性能 [J]. *印染*, 2016, 42(8): 30-33.

(责任编辑:张会巍)