



基于凤眼莲的超积累金属天然含媒染料提取及其羊毛染色

吴佳^①, 袁思湘^①, 罗艳^{①②*}

① 东华大学化学化工与生物工程学院应用化学系, 上海 201620

② 东华大学生态纺织教育部重点实验室, 上海 201620

*通讯作者, E-mail: luoyan@dhu.edu.cn

收稿日期: 2016-05-11; 接受日期: 2016-07-11; 网络版发表日期: 2016-11-03

摘要 天然染料因可再生及环境相容而备受关注, 其上染织物离不开金属离子媒染剂. 凤眼莲因超积累金属能力而被广泛用于废水治理, 但其广泛应用对自然环境产生了污染. 本文以凤眼莲为原料, 采用索氏萃取法提取天然含媒染料, 借助核磁共振氢谱(¹H NMR)、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、电感耦合等离子体发射光谱仪等分析手段对提取物特征官能团和金属离子进行分析鉴定, 并考察了其上染羊毛织物的颜色参数和染色牢度. 结果表明, 凤眼莲天然含媒染料提取率高达 7.09 wt%, 主要成分之一为蒽醌类酸性染料, 自身吸附的铁离子有显著促染作用, 且效果优于传统硫酸铁媒染剂. 其上染羊毛织物的耐皂洗色牢度、耐摩擦色牢度和耐日晒色牢度均在 4 级以上. 鉴于此, 凤眼莲有望作为天然含媒染料的新型生物质来源.

关键词 凤眼莲, 超积累金属, 天然染料, 提取, 染色性能

1 引言

近年来, 来源广泛的天然染料成为研究热点. 天然染料虽具有诸多优点, 但用于纤维染色时, 大多存在染色牢度差的问题. 为了克服此问题, 人们常使用 Cu、Fe、Al、Cr、Ni、Sn 等金属盐作为媒染剂以增加染料与纤维间的亲和力. 研究者通过毛细管电泳-质谱(CE-MS)、气象色谱-质谱(GC-MS)及高效液相色谱-质谱(HPLC-MS)联用方法, 发现了羊毛-媒染剂-染料之间的络合机理和络合配位结构(图 1)^[1].

虽然常规媒染剂种类很多, 但大多数为重金属

盐, 染色结束后染浴中残留的重金属离子排放到自然环境中, 将对自然环境产生污染, 这违背了环保理念. 因此, 使用金属超积累植物作为金属媒染剂的天然来源极具发展潜力, 是降低人们对有毒金属盐媒染剂依赖性的有效途径.

凤眼莲(*Eichharnia crassipes*), 又名水葫芦^[2], 是一种原产于南美的浮水植物, 为我国入侵物种, 具有旺盛的生命力和极强的繁殖能力, 通常大量覆盖水面, 造成水体富营养化并妨碍其他物种生长, 破坏生态系统平衡. 因此, 防治与综合利用凤眼莲非常重要. 研究资料表明^[3-6], 凤眼莲对 Al、Fe、Mn、Zn、Cu、

引用格式: 吴佳, 袁思湘, 罗艳. 基于凤眼莲的超积累金属天然含媒染料提取及其羊毛染色. 中国科学: 化学, 2016, 46: 1356-1362

Wu J, Yuan S, Luo Y. Extraction and wool dyeing of natural mordant dye based on water hyacinth containing intrinsic hyperaccumulating metals. *Sci Sin Chim*, 2016, 46: 1356-1362, doi: 10.1360/N032016-00102

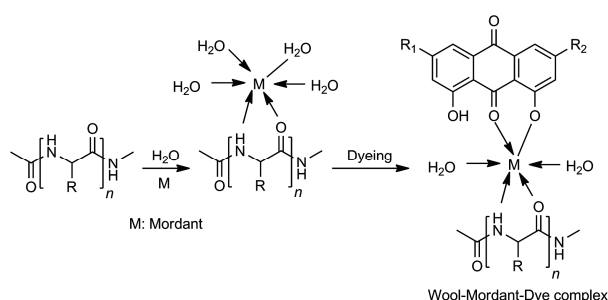


图1 羊毛-媒染剂-染料络合机理及络合物形成示意图

Pb、Cr、Ni、Cd、Hg 等离子具有极高的吸附率, 其积累的重金属含量高达所在水体环境的 100000 倍, 表现出超积累行为^[7]。目前, 对于凤眼莲超积累金属性能的综合研究仍主要集中在污水末端治理方面。若使用金属超积累植物作为金属媒染剂的天然来源, 不仅为凤眼莲的综合利用提供了一条高附加值的途径, 还可将环境中游离的金属离子进行重复利用, 最终实现天然染料清洁染色过程。

鉴于此, 本文采用索氏萃取法提取凤眼莲天然含媒染料并确定其基本组成, 然后对其超积累金属离子进行分析鉴定, 最后考察其对羊毛织物的染色性能。技术路线如图 2 所示。

2 实验部分

2.1 材料与仪器

凤眼莲采自上海市松江区河道, 9、10 月份打捞, 去根后于 37℃ 烘干, 粉碎, 研成粉末后避光密封保存, 备用。

毛(GB/T7568.1-2002, 上海市纺织工业技术监督所, 中国), 多纤维织物(ISO 105-F10, 上海市纺织工业技术监督所)。

无水乙醇、氢氧化钠、乙酸乙酯、石油醚、三氯化铁、冰醋酸、碳酸钠、氯化锌、氯化铝、硫酸亚铁、硫酸铁、硫酸铜, 均为分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司(中国); 硅胶(100~200 和 300~400 目), 购自烟台江友硅胶开发有限公司(中国); 试验用水为蒸馏水。

手提紫外检测灯(ZF-7A, 上海光豪分析仪器有限公司, 中国); 核磁共振光谱仪(AM 400, Bruker 公司, 德国); 傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR, 640-IR, Varian 公司, 美国); Prodigy 电感耦合等离子体发射

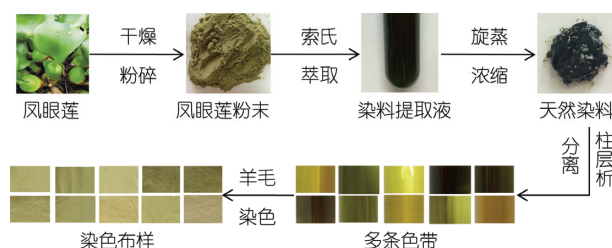


图2 凤眼莲超积累金属天然含媒染料的提取及其羊毛染色技术路线图(网络版彩图)

光谱仪(Leeman 公司, 美国); 紫外可见分光光度计(Lambda 35, PerkinElmer 公司, 美国); 电脑测色配色仪(Datacolor SF650, Datacolor 公司, 美国); 耐洗色牢度试验机(SW-12AH, 温州大荣纺织仪器有限公司, 中国); 摩擦牢度仪(YB-571B, 苏州东宏仪器有限公司, 中国); 日晒牢度测试仪(ATLAS-150S+, ATLAS 公司, 美国)。

2.2 凤眼莲天然含媒染料的提取

称取适量(W_1 , g)干燥凤眼莲粉末, 无水乙醇为提取溶剂, 料液比为 1:20 (g/mL), 时间 2.5 h, 提取温度 65℃, 索氏萃取法提取凤眼莲色素萃取液并经真空旋蒸浓缩, 称重(W_2 , g), 按式(1)计算粗提取率 W_E 。

$$W_E = \frac{W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

2.3 凤眼莲天然含媒染料的基本组成

将提取得到的提取液旋蒸浓缩, 采用薄层层析法(TLC)爬板及柱层析对所提天然染料进行初步分离, 综合展开剂的极性及其凤眼莲天然染料的极性, 选择石油醚(PE)和乙酸乙酯(EA)作为展开剂, 采用干法装柱及干法上样, 并采用 V(PE):V(EA)比例范围为 12:1~0:1 的 PE-EA 梯度洗脱进行组分分离并得到不同色带(W , g), 按式(2)计算各色带质量含量 W_P 。

$$W_P = \frac{W}{W_E} \times 100\% \quad (2)$$

¹H NMR 鉴定: 采用 Bruker AM 400 (400 MHz) 型核磁共振仪测定, 四甲基硅烷(TMS)为内标, 记录特征氢的化学位移。

FT-IR 鉴定: 采用傅里叶红外光谱仪, 记录波数范围为 400~4000 cm⁻¹ 经梯度洗脱分离得到的色带组分中所含特征官能团的吸收振动峰。

2.4 凤眼莲天然含媒染料的超积累金属离子分析鉴定

2.4.1 金属元素含量分析

将定量的凤眼莲粉末以及提取液旋蒸得到的天然染料固体用浓硝酸进行消解, 并制备 Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Na、Zn、Cu、Pb、Cr、Ni、Cd、Hg 金属的标准储备液(1 mg/mL), 采用电感耦合等离子体发射光谱仪, 通过标准曲线将样品与标准品进行比对, 检测凤眼莲内所含金属离子的类别和含量。

2.4.2 金属离子鉴定

(1) Fe^{3+} 的鉴定

参照文献[8]方法, FDI 试剂(罗丹明 B 螺环胍衍生物)显色, 即证明含有 Fe^{3+} 。

(2) Fe^{3+} 及 Fe^{2+} 含量测定

标准曲线制备: 将三氯化铁配制成 1 mmol/L 的铁离子标准储备溶液, 稀释至不同浓度后各取 2 mL, 加入 0.81 mmol/L 的 FDI 试剂溶液 2 mL, Hepes 缓冲液 1 mL, 摇匀, 显色 5 min, 于 563 nm 处测吸光度 A 值, 以铁离子浓度 C (mmol/L) 为横坐标, 以吸光度 A 为纵坐标绘制标准曲线。

Fe^{3+} 含量测定: 取凤眼莲提取液 2 mL, 加入 0.81 mmol/L FDI 试剂溶液 2 mL, Hepes 缓冲液 1 mL, 摇匀, 显色 5 min, 于 563 nm 处测吸光度 A 。根据标准曲线计算含量。

Fe^{2+} 鉴定: 若邻菲罗琳显色, 证明含有 Fe^{2+} , 并按式(3)计算 Fe^{2+} 含量。

$$m(\text{Fe}^{2+}) = m(\text{Fe}) - m(\text{Fe}^{3+}) \quad (3)$$

2.5 凤眼莲天然含媒染料的染色性能探究

2.5.1 羊毛织物凤眼莲天然含媒染料直接染色

染色条件: 天然含媒染料用量 2% (o.w.f, 指以织物重量为基准, 相对织物的百分比), 浴比 1:25, 无水乙醇 5 mL, 染浴 pH 3 (醋酸调节)。

染色工艺: 26℃入染, 2℃/min 升温至 98℃, 保温 60 min, 2℃/min 降至 26℃, 水洗。

皂洗条件及工艺: 参照 GB/T 3921-2008 纺织品色牢度试验耐皂洗色牢度标准的具体操作。

2.5.2 羊毛织物传统媒染染色

将羊毛织物放入含有金属媒染剂及天然含媒染料均为 2% (o.w.f) 的染罐中, 染色工艺和条件参照 2.5.1 小节。

2.5.3 染色织物性能测试

用电脑测色配色仪测试染色织物颜色参数(表观颜色深度 K/S 值、亮度 L^* 、红绿轴 a^* 、黄蓝轴 b^* 、彩度 c^* 、色相角 H)。

耐皂洗色牢度参照 GB/T 3921-2008 纺织品色牢度试验耐皂洗色牢度标准。

耐摩擦色牢度参照 GB/T 3920-2008 纺织品色牢度试验耐摩擦色牢度标准。

耐日晒色牢度参照 GB/T 8427-2008 纺织品色牢度试验耐人造光色牢度标准。

3 结果与讨论

3.1 凤眼莲天然含媒染料的粗提取率

根据式(1)计算得出凤眼莲天然含媒染料粗提取率 W_E 为:

$$W_E = \frac{0.709 \text{ g}}{10 \text{ g}} \times 100\% = 7.09\% \quad (3)$$

通过与文献[9]中超声波法提取凤眼莲天然染料 4 wt% 的提取率相比, 采用索氏萃取法的提取率高出约 3 个百分点, 为 7.09 wt%。

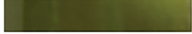
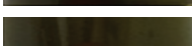
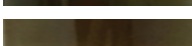
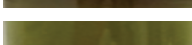
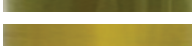
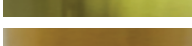
3.2 凤眼莲天然含媒染料的基本组成

采用 TLC 爬板及柱层析对所提天然染料进行初步分离, 所得色带结果见表 1。

从表 1 中可以看出, 石油醚与乙酸乙酯能够较好地分离凤眼莲天然含媒染料, 且分离后可得到 10 条色带, 其中第四条墨绿色色带含量最高, W_p 达 15.63 wt%。因此后续研究主要针对色带四提取物。

运用 ^1H NMR 对所得到的第四条墨绿色色带提取物进行分析, 结果如图 3 所示。 ^1H NMR (400 MHz, MeOD) δ 7.47 (s, 1H), 7.26 (s, 1H), 5.38 (s, 2H), 3.58 (t, $J=6.5$ Hz, 1H), 2.84 (s, 1H), 2.12 (s, 3H), 2.06 (s, 5H), 1.31 (s, 34H)。由于 δ 6.8~8.5 对应 -Ar 基团, δ 4.0~12.0 对应 Ar-OH 基团, δ 3.2~3.9 对应 RO-CH 基团, 由此可知凤眼莲天然含媒染料的结构中可能含有 -Ar、Ar-OH、RO-CH 基团。

表 1 凤眼莲天然含媒染料经分离后所得色带基本情况

洗脱剂比例(V(PE):V(EA))	色带	颜色		R_f 值 ^{a)}	W_p (%)
12:1	第一条	亮黄色		0.98	2.13
10:1	第二条	浅绿色		0.72	1.70
	第三条	浅黄色		0.66	1.08
8:1	第四条	墨绿色		0.53	15.63
6:1	第五条	黄绿色		0.43	5.19
4:1	第六条	黄褐色		0.39	8.52
2:1	第七条	浅黄绿色		0.31	7.25
1:1	第八条	黄色		0.28	9.13
EA	第九条	浅黄色		0.22	6.33
无水乙醇	第十条	褐色		0.15	10.60

a) R_f 表示溶质迁移距离与流动相迁移距离之比

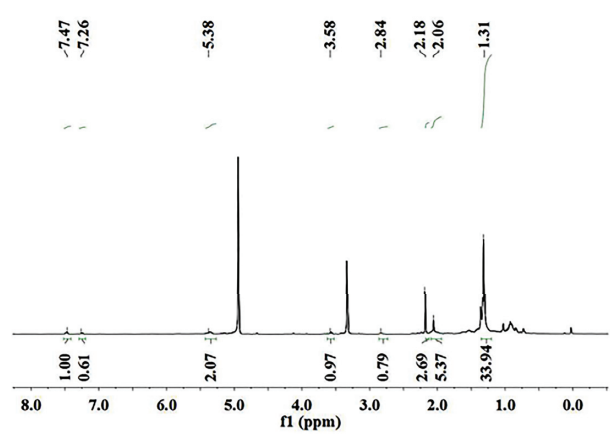


图 3 凤眼莲墨绿色色带提取物的 ^1H NMR 谱图

通过 FT-IR 对所得到的墨绿色色带提取物进行分析, 并与已知结构且具有蒽醌结构的天然染料胭脂虫红进行 FT-IR 谱图比对, 结果如图 4 所示. 作为对比样的胭脂虫红在 3428 cm^{-1} 处出峰, 为蒽醌环上的取代基 O-H 伸缩振动吸收峰, 2925 cm^{-1} 处为蒽醌环上饱和 C-H 的伸缩振动吸收峰, 1651 cm^{-1} 处为蒽醌环上 -C=O 的伸缩振动吸收峰. 凤眼莲天然含媒染料的 -OH 、 -C=O 出峰位置与胭脂虫红一致.

综合 ^1H NMR 和 FT-IR 谱图, 基本判断色带四凤眼莲天然含媒染料为含蒽醌结构的天然染料. 其分子结构中的 -C=O 和 -OH 可与媒染剂金属离子形成螯合环, 也可与羊毛蛋白质纤维的 -OH 形成配位键和共价键.

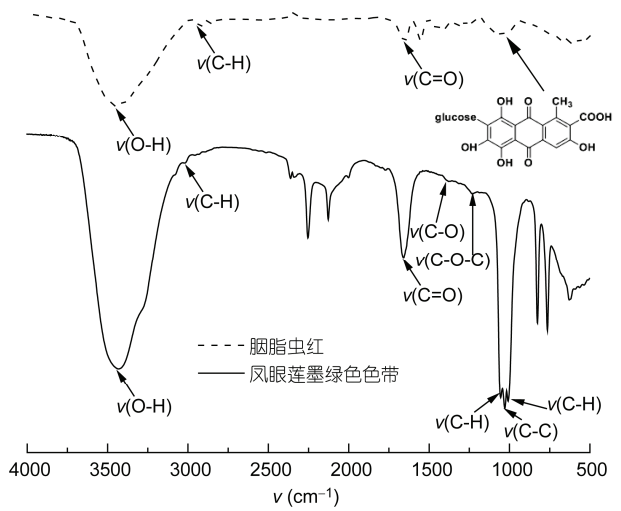


图 4 凤眼莲墨绿色色带提取物与胭脂虫红的 FT-IR 谱图对比

3.3 凤眼莲天然含媒染料超积累金属离子的分析鉴定

3.3.1 金属元素含量分析

通过电感耦合等离子体原子发射仪, 可得到凤眼莲及其天然含媒染料中所含金属含量, 结果见表 2.

从表 2 中可看出, 凤眼莲中主要含有 Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Na、Zn 共 8 种金属元素, 其中在原料凤眼莲、提取得到的天然染料和凤眼莲墨绿色色带中 K 含量最多. 由于金属在天然染料中均以离子形

表 2 凤眼莲粉末及凤眼莲天然含媒染料中金属元素含量

金属元素	原料凤眼莲中 金属元素含量 (mg/g)	凤眼莲天然含媒染料中金属元素含量 (mg/g)	凤眼莲墨绿色色带 四金属元素含量 (mg/g)
Al	0.73	0.10	0.14
Ca	18.95	0.34	0.71
Fe	0.70	0.25	0.46
K	44.25	0.54	0.84
Mg	4.89	≤0.01	≤0.01
Mn	0.53	0.07	≤0.01
Na	2.76	0.44	0.27
Zn	0.10	0.05	0.02
Cu	≤0.01	—	—
Pb	≤0.01	—	—
Cr	≤0.01	—	—
Ni	≤0.01	—	—
Cd	≤0.01	—	—
Hg	≤0.01	—	—

式存在, 常用的金属媒染剂多为 Al、Fe、Zn 等金属盐, 且据文献[10]报道, Fe 在植物体内参与形成各种具有生理活性的铁蛋白, 本身含有很多的-OH、-COOH 等官能团, 是一种吸附性能很好的物质. 文献[11]报道了含 Fe^{2+} 及 Fe^{3+} 的金属媒染剂可使染料颜色色相发生变化, 并使颜色加深. 因此下文对 Al、Fe、Zn 3 种金属元素中含量最多、且媒染作用最好的 Fe 进行离子价态和含量的分析.

3.3.2 Fe 离子鉴定

由于 FDI 试剂显色, 证明凤眼莲天然含媒染料含有 Fe^{3+} ; 而邻菲罗琳显色, 证明其含有 Fe^{2+} . 以 Fe^{3+} 浓度 C (mmol/L) 为横坐标, 以吸光度 A 为纵坐标绘制标准曲线(图 5).

通过线性拟合, 可得标准曲线一元线性回归线方程: $A=4.704C-0.0083$, $r=0.9973$. 由此可得出 Fe^{3+} 含量为 0.152 mg/g. 而凤眼莲天然含媒染料 Fe 的总含量为 0.25 mg/g, 由式(3)可得 Fe^{2+} 含量为 0.098 mg/g.

3.4 凤眼莲天然含媒染料的染色性能探究

3.4.1 传统金属媒染剂对天然含媒染料上染羊毛织物颜色参数的影响

凤眼莲天然含媒染料经分离后所得的 10 条色带上染羊毛织物后的颜色参数见表 3.

由表 3 可知, 凤眼莲天然含媒染料经分离后所得的 10 条色带均具有可染性, 且凤眼莲墨绿色色带四在相同染色条件下直接上染羊毛织物的表观色深 K/S

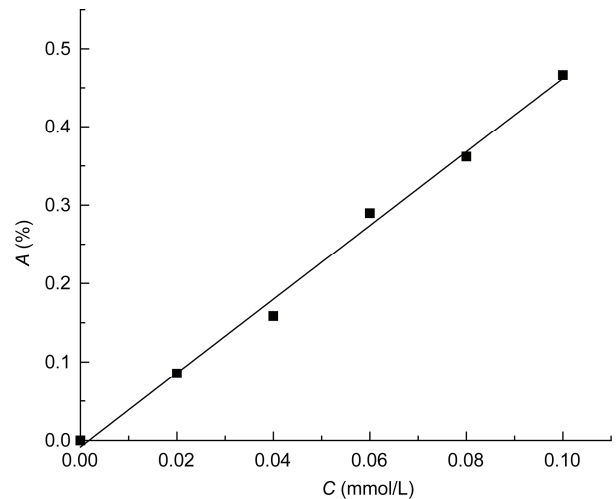


图 5 Fe^{3+} 标准曲线图

值最大. 向凤眼莲天然含媒染料中添加金属媒染剂后, 上染羊毛织物的颜色参数值见表 4.

通过表 4 可知, 与不加传统金属媒染剂的样品相比, 所染羊毛织物的表观色深除了添加 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 媒染剂的样品外, 不但没有增加反而降低. 这可能是由于 Zn^{2+} 、 Al^{3+} 及 Cu^{2+} 金属离子与凤眼莲天然含媒染料在染色条件下的络合能力较低, 或是由于破坏了原来的络合体而导致形成的新络合体具有浅色效应. 通过表 4 还可得出, 凤眼莲墨绿色色带四直接上染织物的 K/S 值达 10.51, 不仅高于原样织物的 K/S 值, 还高于添加硫酸铁媒染剂上染的织物 K/S 值. 这可能是由于凤眼莲墨绿色色带四中比凤眼莲天然含媒染料中含有更多的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} , 且 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 共存时比只有 Fe^{3+} 存在时与染料的络合力更强, 因而表观色深值较大.

3.4.2 凤眼莲天然含媒染料上染羊毛织物的染色牢度

凤眼莲天然含媒染料直接上染和色带四上染羊毛织物的耐皂洗色牢度见表 5.

由表 5 可知, 硫酸铁媒染剂的添加与否对色牢度无影响, 且染色织物的耐皂洗色牢度和耐日晒色牢度均达 4 级以上, 而耐摩擦色牢度均高达 5 级, 各项牢度表现优异. 结果表明, 凤眼莲天然染料对羊毛具有良好的直接上染性, 同时说明凤眼莲天然染料中的铁离子主要起到了媒染剂的作用. 这是由于凤眼莲天然染料分子结构中的 $-\text{C}=\text{O}$ 和 $-\text{OH}$ 可与自身吸附的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等金属离子形成配合物. 而金属离子也

表 3 凤眼莲天然含媒染料经分离后所得各色带上染羊毛织物的颜色参数值

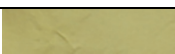
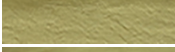
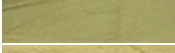
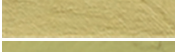
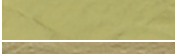
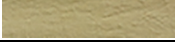
染料(色带)	<i>K/S</i>	<i>L</i>	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>c</i> *	<i>H</i>	布样
色带一	4.42	74.27	2.48	26.25	26.37	87.11	
色带二	3.23	74.43	0.36	21.88	20.37	85.25	
色带三	4.28	67.08	1.33	25.28	23.22	87.09	
色带四	10.51	48.46	-1.40	15.27	15.35	91.21	
色带五	7.78	51.65	-2.00	23.90	23.99	91.54	
色带六	6.37	62.55	0.40	23.89	23.90	89.10	
色带七	6.54	63.00	1.81	24.96	25.03	87.70	
色带八	3.57	76.52	-0.16	20.90	20.89	86.14	
色带九	3.72	75.90	1.30	19.80	19.83	84.45	
色带十	3.72	77.51	2.94	25.29	25.47	86.60	

表 4 金属媒染剂对天然含媒染料上染羊毛织物的颜色参数影响

媒染剂 ^{a)}	<i>K/S</i>	<i>L</i>	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>c</i> *	<i>H</i>
无(NW 直接染色)	4.34	76.02	0.42	24.17	24.18	89.08
无(GR 直接染色)	10.51	48.46	-1.40	15.27	15.35	91.21
NW+氯化锌	3.08	72.91	-4.73	31.15	31.51	98.64
NW+氯化铝	3.65	73.60	-2.88	32.37	32.50	95.08
NW+硫酸亚铁	6.32	63.77	-3.07	20.35	20.76	98.85
NW+硫酸铁	7.47	57.54	-3.26	19.44	19.71	99.52
NW+硫酸铜	3.32	77.41	0.61	32.12	32.13	88.92

a) NW, 凤眼莲天然含媒染料; GR, 凤眼莲墨绿色色带四

表 5 凤眼莲天然含媒染料直接上染和色带四上染羊毛织物的染色牢度

染料 ^{a)}	耐皂洗色牢度(级)							耐摩擦色牢度(级)		耐日晒色牢度(级)
	毛沾	腈沾	涤沾	锦沾	棉沾	醋酯沾	原样变化	干摩	湿摩	
NW	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4
NW+硫酸铁	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4
GR	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	5	5	4
GR+硫酸铁	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5	5	5	4

a) NW, 凤眼莲天然含媒染料; GR, 凤眼莲墨绿色色带四

可以与纤维中的 $-C=O$ 、 $-OH$ 等形成配合物, 通过金属离子把染料分子同纤维链接在一起, 确保了染色牢度较高。

4 结论

凤眼莲天然含媒染料主要成分之一为蒽醌类酸性染料, 自身吸附的铁离子主要起到了媒染剂的作用。凤眼莲天然染料分子结构中的 $-C=O$ 和 $-OH$ 可与

自身吸附的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等金属离子形成配合物, 也可与羊毛纤维中的 $-C=O$ 、 $-OH$ 等形成配合物。

因此凤眼莲天然含媒染料上染羊毛织物, 其耐皂洗色牢度、耐摩擦色牢度和耐日晒色牢度均在 4 级以上。凤眼莲超积累金属性能可使其作为金属含媒染料的天然来源, 不仅为凤眼莲的综合利用提供了新的有效途径, 还可降低在使用天然染料染色时对传统金属盐媒染剂的依赖, 实现天然染料无媒清洁染色。

参考文献

- 1 Volodymyr P, Petr B, Karel L. *J Sep Sci*, 2014, 37: 3393–3410
- 2 Anushree M. *Environ Int*, 2007, 33: 122–138
- 3 Sadeek AS, Nabel AN, Hassan HHH, Mostafa MAW. *Int J Biol Macromol*, 2015, 81: 400–409
- 4 Taiwo AM, Gbadebo AM, Oyedepo JA, Ojekunle ZO, Alo OM, Oyeniran AA, Onalaja OJ, Ogunjimi D, Taiwo OT. *J Hazard Mater*, 2016, 304: 166–172
- 5 Akinwande VO, Mako, AA, Babayemii OJ. *Int J AgriSci*, 2013, 3: 659–666
- 6 Sjahrul M. *Eur Chem Bull*, 2014, 3: 240–241
- 7 Doumer ME, Rigol A, Vidal M, Mangrich AS. *Environ Sci Pollut Res*, 2016, 23: 2684–2692
- 8 陈巧利, 华瑛, 王翠玲, 张宁, 孙艳妮, 王征, 刘建利. 药物分析杂志, 2014, 34: 1580–1584
- 9 于萍, 沈发伟, 许嘉怡, 陆瑶, 冯霞, 罗艳. 印染助剂, 2014, 31: 34–38
- 10 武少伟. 铁锰硅对凤眼莲生物结构的影响. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学, 2010
- 11 韩晓俊, 王越平, 覃丹. 毛纺科技, 2007: 14–17

Extraction and wool dyeing of natural mordant dye based on water hyacinth containing intrinsic hyperaccumulating metals

Jia Wu¹, Sixiang Yuan¹, Yan Luo^{1,2*}

¹Department of Applied Chemistry, College of Chemistry, Chemical Engineering and Biotechnology, Donghua University, Shanghai 201620, China

²Key Laboratory of Eco-Textile, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China

*Corresponding author (email: luoyan@dhu.edu.cn)

Abstract: Due to the renewability and environmental compatibility, natural dyes have received a renewed interest from researchers. Natural dyes, however, cannot bind to fibers without the application of heavy metal mordant. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is now widely applied to wastewater treatment owing to its high bioaccumulation ability for metal ions. Water hyacinth, however, also brings serious problems because of its fast spread and congested growth. In this paper, natural mordant dyes of water hyacinth were extracted by using soxhlet extraction method. The characterization of functional groups and metal ions in extraction were identified by ¹H NMR, FT-IR and inductively coupled plasma. Subsequently, the extracted dyes were used to dye wool. The color parameters and color fastness of dyed samples were tested respectively. It is found that the extraction rate of natural mordant dye from water hyacinth is up to 7.09 wt%. One of the main ingredients in natural dyes extracted from water hyacinth is anthraquinones acid dyes. The intrinsic iron ion of the natural dyes can greatly improve the dyeing performance. Moreover, the dyeing effect is better than that of traditional iron sulfate mordant. The soaping fastness, rubbing fastness and light fastness of the dyed wool samples can reach grade 4 or even higher. As a result, water hyacinth is expected to act as a new biomass resource of natural mordant dyes.

Keywords: water hyacinth, hyperaccumulating metals, natural dye, extraction, dyeing property

doi: 10.1360/N032016-00102