



Han, J. and Chen, C. (2019) A comprehensive study of the dyes and dyeing methods for textiles excavated from a Qing tomb in Shijingshan District, Beijing. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 31(5), pp. 33-48.

This is the author's final accepted version.

There may be differences between this version and the published version. You are advised to consult the publisher's version if you wish to cite from it.

<http://eprints.gla.ac.uk/205289/>

Deposited on: 06 December 2019

Enlighten – Research publications by members of the University of Glasgow  
<http://eprints.gla.ac.uk>

**A Comprehensive Study of the Dyes and Dyeing Methods of Textiles Excavated from a Tomb of the Qing Dynasty in Shijingshan District, Beijing**

HAN Jing<sup>1</sup>, CHEN Chao<sup>2</sup>

(1. Centre for Textile Conservation and Technical Art History, School of Cultural and Creative Arts, University of Glasgow, Glasgow G12 8QQ, UK; 2. Cultural Heritage Institute of Shijingshan District, Beijing 100144, China)

**Abstract:** In this study, a group of textiles excavated from a Qing Dynasty tomb in Shijingshan District, Beijing, were studied in terms of their dyes and dyeing methods. Using ultra-high performance liquid chromatography, and pioneering in China detailed comparison with recorded historical dye recipes, and colors and dye compositions of some textiles handed down from ancient times, we identified sappanwood, Chinese cork tree, a dye containing ellagic acid (probably from acorn cup) and indigo. In most samples, one or two dyes were identified. Only a few samples might have been dyed with three or more dyes. Different color shades were obtained through the same combination of dyestuffs but different amounts of the dyestuffs. Comparison results show for the first time that the same dye was used for textiles of different types and materials, and threads for different uses. The dyes and dyeing methods used for this group of textiles are consistent with the historical records and with the analytical results of historical textiles. This study is also the first successful dye analysis of excavated textiles of the Qing Dynasty. These results supplement historical textile dyeing records, contributing to research on dyeing history of the Qing Dynasty.

**Keywords:** dyeing techniques of the Qing Dynasty; archaeological textiles; dye analysis; ultra high performance liquid chromatography

# 北京市石景山区一清代墓葬出土纺织品染料与染色方法综合研究

韩婧<sup>1</sup>, 陈超<sup>2</sup>

(1.格拉斯哥大学文化和创作艺术学院纺织品保护和技术艺术史中心, 格拉斯哥 G12 8QQ; 2.北京市石景山区文物研究所, 北京 100144)

**摘要:**此论文对北京市石景山区 2006 年出土清代墓葬中纺织品的染料和染色方法进行研究。化学分析使用超高效液相色谱法, 首次将我国考古染料结合历史文献、传世纺织品颜色及染料组成详细比对, 检测出苏木、黄檗、含鞣花酸染料(疑为橡斗)及蓝草四种染料。大多样品上鉴定出一到两种染料, 少数样品可能由三种或更多染料染成。相同的染料组合可以通过不同用量获得深浅不同的颜色。研究第一次对同一墓葬出土不同织物的染色方法进行比较, 发现同种染料可以用于染不同类型、质地和用途的织物。这套纺织品所用的染料和染色方法与文献记载和传世样品都相符合。这一研究也是针对清代考古出土纺织品染料展开的首次成功的分析鉴定, 补充了传世纺织品和染色历史文献, 是清代染色史的重要部分。

**关键词:** 清代染色工艺; 考古出土纺织品; 染料分析; 超高效液相色谱

**中图分类号:** K87

---

<sup>1</sup>收稿日期:      修回日期:

基金项目: 研究受 Textile Conservation Foundation、The Swire Charitable Trust、中英学术基金(The Sino-British Fellowship Trust)、英中教育信托基金(The Great Britain-China Educational Trust)和 The Sym Charitable Trust 资助。

韩婧(1987-), 女, 2016 年于英国格拉斯哥大学纺织品保护与技术艺术史中心取得博士学位, 现为美国盖蒂文物保护研究所专业研究人员。通讯地址: Science Department, Getty Conservation Institute. 1200 Getty Center Drive. Los Angeles, CA, United States. 邮编: 90049。电话: 00-1-310-440-6327。邮箱: [jinghan8706@hotmail.com](mailto:jinghan8706@hotmail.com)。

其博士研究结合化学和历史学方法, 首次对明清宫廷服饰染料和染色技术展开系统研究。研究结果刊登在学术杂志和国际文物保护协会(IIC)通讯等刊物。作者获得 2015 年国家优秀自费留学生奖学金。本论文为基于此博士研究部分成果的进一步研究分析所得。

## 0 引言

我国纺织染色工艺历史悠久，技术精湛<sup>[1, 2, 3]</sup>。服装颜色是社会等级的一个重要标志<sup>[4]</sup>。清代的染色技术无论在染料的选择、染色方法，还是在获得颜色的数量上均达到我国古代天然染料染色的最高峰<sup>[5, 6, 7]</sup>。清代，染色方法和染料在当时的文献中有所记载，主要有第一历史档案馆藏《内务府档案·织染局簿册》和安徽省图书馆藏《布经》<sup>[8, 9, 10]</sup>，此外在中央和地方政府文书、农业和其他科技类文献中也有记载。已有研究比较了这些染色记载中的染料来源、植物种属和染色方法<sup>[11, 12]</sup>，也有一些研究对清代传世纺织品所用染料进行了分析鉴定<sup>[13, 14, 15]</sup>，并与文献记载进行了比对<sup>[16]</sup>。清代九种天然染料最为常用，包括红花、苏木、姜黄、黄栌、槐米、黄檗、蓝草、橡斗和五倍子（图 1）<sup>[5]</sup>。染色成分（表 1）分别来自这些染料的花、果、木、叶、根茎等部位，一般通过水煮提取染色成分，然后滤去不溶物，得到的溶液用来染色。当时纺织品颜色通常由一种或两种染料染成，少数由多种染料染成。金属盐是重要的染色助剂，称为媒染剂，比如明矾（硫酸铝钾水合物）或青矾（硫酸亚铁水合物）与特定的染料形成配合物，让染料更好地附着在纤维上，也起到调色作用——通常明矾使之更艳，青矾则大大加深所染之色<sup>[5]</sup>。

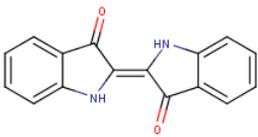
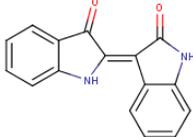
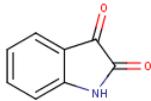
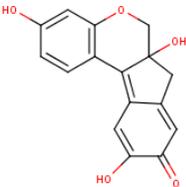
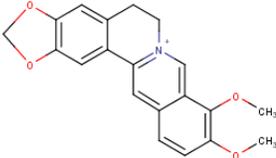
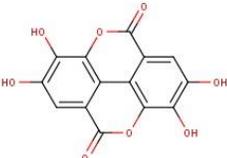
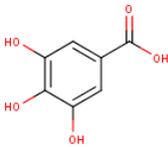


图 1 明清常见染料及丝绸染色效果。从左到右，从上到下依次为：红花、苏木、姜黄、黄栌、槐米、黄檗、蓝草（图片为由蓝草制得的靛蓝粉末）、橡斗、五倍子。

Fig.1 Common dyes used in the Ming and Qing Dynasties and their silk dyeing effects. From left to right, from up to bottom: safflower, sappanwood, turmeric, smoketree, pagoda buds, Chinese cork tree, indigo (the photo shows processed indigo powders), acorn cups and gallnut.

表 1 部分染料成分的化学结构式

Table 1 Chemical structures of selected dyes

染料	特征成分		
蓝草			
	靛蓝	靛玉红	靛红
苏木			
	氧化巴西木素		
黄檗			
	小檗碱		
含鞣质染料			
	鞣花酸	没食子酸	

文献和传世品研究极大推进了对清代纺织品染色技术的了解，但对清代考古纺织品染料的分析研究尚无结果发表。我国考古染料的分析开始于马王堆出土纺织品<sup>[17]</sup>，近年来逐渐增多<sup>[18, 19]</sup>。本研究对北京市石景山区一座清代墓葬出土的一组纺织品进行染料分析。

2006年5月，北京市石景山区玉泉路中科院高能物理研究所基建中出土清代干尸，此次出土干尸为抢救性发掘，棺、墓已无存，仅保留棺前档木，文物主要留存纺织品，出土铜钱为“康熙通宝”<sup>[20]</sup>。关于墓主的身份尚未有定论：棺前挡书记载墓主为四品文官，但墓主身着的麒麟补服为一品武官所有。出土干尸一具，身着衣袍13件，并有10件随葬衣物，材质包括丝和棉<sup>[20]</sup>。与同时期的墓葬相比，此墓出土纺织品保存比较完整，种类丰富，数量也较多。出土纺织品中尸身所着衣物尸液尸蜡污染严重，随葬衣物则多木土灰渣。这些纺织品霉变比较严重，棉质纺织品有一些糟朽。纺织品出土时颜色整体偏黑，不太能辨识。出土后结合物理方法和蒸馏水、酶、2%草酸溶液等进行清洗，基本无脱色现象，只有蓝色服饰如“龙纹礼服”脱色严重，在比对清洗试剂效果的基础上，用乙醇清洗。纺织品清理和展开后用无酸纸隔开，控制温湿度并避光保存<sup>[20]</sup>。本研究采用超高效液相色谱法、两步提取的样品处理、并结合文献和传世文物染色信息进行细致的数据分析，最大程度鉴定出了这些考古纺织品的染料和染色方法，并复原其可能的原色。

## 1 样品和分析方法

### 1.1 取样

取样时考虑的主要因素包括纺织品的类型、质地、线的用途及颜色。从8件纺织品中取样17个，取样纺织品包含蟒袍、吉服带、帽子、靴子、单裤、棉裤、腰带和被头。其中吉服带、靴子、单裤、丝棉裤和腰带为身裹；其他三件为随葬。蟒袍和吉服带上的蓝色较深，并有其他不同的浅色；靴子为棕黑色；帽纬为亮黄色；其他几件呈浅黄或黄褐色。这些纺织品主要为丝质（图2）。染线样品从纺织品背面、边缘或破损处的脱落线头提取，每个样品长度为5-10毫米。样品各自包裹在无酸纸中，用铅笔标注唯一的样品代码，放在聚乙烯实验用样品袋中，存放于样品盒中避光保存。取样位置照相记录，样品的相关信息包括登录号、颜色、色线用途和样品位置在取样时记录在笔记本中，之后录入纺织品保护中心的微软Access样品信息数据库。



图2 丝棉裤，桑蚕丝，显微图（放大100倍）

Fig. 2 Silk floss trousers, mulberry silk, micrograph (100x magnification)

## 1.2 显微镜观察

在化学分析前用 Dino-Lite 优选数码显微镜仔细观察各样品，放大倍率为 200 倍，能清晰观察到染线样品的表面形貌、颜色和污染情况。主要观察样品是否有老化、污染的情况，及其他的特殊现象如不均匀的染色。如果观察到其他颜色的纤维污染，就用尖头镊子仔细去除污染纤维。在观察的同时拍摄样品的数码显微图像。

## 1.3 化学分析和综合比对

目前文物染料的分析方法主要有高效液相色谱法、质谱法、表面增强拉曼光谱法和光纤反射光谱法，其中高效液相色谱法串联质谱或是紫外可见检测器最常用<sup>[21]</sup>。该方法取样量为长度 0.5-1 厘米的线头，用合适的溶剂提取并富集染料成分，通过色谱分离，能有效地探测和鉴定考古样品中的各染料成分，从而判定染料来源。本研究采用超高效液相色谱法分析，使用直径为 1.7 微米的亚乙基桥杂化颗粒 BEH Shield C18 色谱柱，相对于高效液相色谱法，样品各成分分离效果更好，并有更低的检出限，更好地鉴定染料成分<sup>[22]</sup>。这些优势对于考古样品尤其重要，考古样品一般染料含量低，并且很有可能带有污染。从样品上提取染料成分的方法有多种<sup>[23]</sup>。本研究使用由荷兰阿姆斯特丹大学 Maarten van Bommel 教授（原工作于荷兰文化遗产研究所）研发的两步提取法，第一步用二甲基亚砷

提取与纤维连接较弱的染料成分并保留可能存在的糖苷键。第二步用提取力强的盐酸溶液，尽可能多地提取染料成分。最后，将所得结果与清代染色方法文献记载、传世纺织品颜色及分析结果比对，确定样品的染料和染色方法<sup>[11, 16, 24, 25]</sup>。

使用的化学试剂：自 Fisher Scientific（英国拉夫堡）购得的二甲基亚砷（HPLC 级）和甲醇（HPLC 梯度级）、自 Acros Organics（比利时赫尔）的草酸二水合物（99 +%）和自 Sigma-Aldrich（英国多塞特）的丙酮（ACS 试剂，≥99.5%）用于样品制备。自 Fisher Scientific（英国拉夫堡）的甲醇（HPLC 梯度级）、甲酸（分析纯 98%/ 100%）和由 Millipore Direct-Q 3 紫外线净化水装置和超高效液相色谱抛光过滤器（德国达姆施塔特）过滤的去离子水（18.2 兆欧·厘米）用于制备超高效液相色谱的洗脱溶液。

染料提取步骤：（1）将样品放入 1mL 平底玻璃瓶，用微量移液管加入 50 μL 二甲基亚砷，小瓶在 Talboys 加热器中在 80℃加热 10 分钟。用微量移液管把二甲基亚砷提取物转移到另一小瓶中封口保留。（2）在留在小瓶中的纤维中加入 75μL 盐酸溶液（37%盐酸/甲醇/水，体积比 2:1:1），在 100 °C加热 10 分钟后，使用 BUCHI R-215 旋转蒸发仪将这次的提取液蒸发至干（7 mbar，40 分钟）。（3）蒸干的提取物用保留在另一个小瓶中的二甲基亚砷提取液重新溶解，以此合并（1）、（2）两步的提取物。最后用 0.2 μm 的 Angilent 优选针筒式过滤器过滤提取溶液，并将样品置于色谱自动进样瓶的内衬管中。

色谱分析使用 Waters® ACQUITY UPLC®H-Class 系统，由四元溶剂管理器、样品管理器、分离柱管理器和紫外可见二极管阵列检测器组成。系统由 ACQUITY UPLC 控制台和 Empower 3 软件控制。将自动进样瓶放置在样品管理器室的自动取样盘中，每个样品注入 4 μL 进入 Waters C18 亚乙基桥杂化保护柱（长 150 mm，内径 2.1 mm，粒径 1.7 μm）。分析柱配备 Waters C18 亚乙基桥杂化保护 Van Guard 预柱（长 5 mm，内径 2.1 mm，粒径 1.7 μm）以减小样品提取物和洗脱溶剂中的颗粒对分析柱可能造成的破坏。用高效液相色谱纯度的水、甲醇和甲酸制备流动相：10% 甲醇水溶液（体积比，溶剂 A），纯甲醇（溶剂 B）和 1% 甲酸水溶液（体积比，溶剂 C）。设置 40 分钟的梯度洗脱程序，流速 0.2 mL/min，柱温 40℃。最初的流动相洗脱液组成为 80%A:10%B:10%C，保持至第 1.33 分钟。从第 1.33 至 2.33 分钟，该比例线性变化至 74%A:16%B:10%C，从第 2.33 至 5.33 分钟线性变化至 55%A:35%B:10%C。保留此比例至第 9 分钟，然后从第 9 至 14 分钟线性地改变至 30%A:60%B:10%C，从第 14 至

25分钟变化至5%A:85%B:10%C，然后从第25到26分钟至100%B。这一最终比例保持到第30分钟，然后从第30至32分钟线性变化回到80%A:10%B:10%C的初始比例并保持8分钟到第40分钟。

每个样品的分析结果呈现为一个色谱图和一组光谱图，色谱图中的每个峰都代表一个成分，横轴为该成分流出色谱柱被检测到的时间，称为保留时间，纵轴为吸光强度。每个成分对应一个光谱图，提供该成分的最大吸收波长的数据。样品化学测试中紫外可见光谱数据采集范围为 190-800 nm，分辨率 1.2 nm，在 254 nm 监测色谱图；测试结束后分别提取 254 nm、350 nm、430 nm 和 515 nm 的色谱图，将可能的染料特征峰检测信号最大化。色谱图积分保留时间范围设置在第 2.5 至 28 分钟，这一窗口捕捉大部分文物染料的特征成分并排除一开始的溶剂峰。用 Apex Track 积分方法通过二阶导数检测峰。一些共洗脱的成分显示为部分重叠的峰，这可以由峰的纯度检验判定。设定标准纯度阈值为 5，即吸收单位小于 1 的染料组分的纯化学品的分析结果中得到的最大纯度角，并通过调整色谱图的提取波长分开共洗脱成分。染料成分的特征包括紫外可见光谱和保留时间，将两者与格拉斯哥大学纺织品保护中心建立的中国古代常用染料标准染料成分数据库比对，确定染料成分及染料来源。

## 2 分析结果

### 2.1 总体分析结果

图 3 展示了纺织品及其取样照片。表 2 为样品分析结果，包括检出的染料成分和可能的染料来源。代表性样品化学分析的超高效液相色谱图及其主要成分的紫外可见光谱图附于附录二中。共鉴定出四种染料，分别是苏木、黄檗、含有鞣花酸的染料（可能是橡斗）和蓝草，均为清代常用染料（图 1）。一些样品由一种染料染成，一些样品可能由几种染料搭配染成。从帽子、吉服带、靴子和蟒袍上所取的样品大多检出了染料特征成分。从腰带、被头、单裤和棉裤上所取的样品都未检出染料特征成分或是只检出蓝草成分（应该是污染），这几处可能是染料成分老化降解严重，也可能本身并未染色。



(a) 蟒袍和取样照片  
 (a) Mang robe and a sampling photo



(b) 吉服带取样照片.从左到右, 从上到下: 3-1 图案; 3-2 带子; 3-4 荷包乙衬里; 3-3 荷包甲衬里; 3-5 盼。

(b) Sampling photos of the Jifu belt. From left to right, from up to bottom: 3-1 pattern, 3-2 thin belt, 3-4 lining of purse II, 3-3 lining of purse I, 3-5 fen.



(c) 帽子俯视图

(c) Overlook of the hat



(d) 靴子取样照片  
(d) Sampling photos from the boots



(e) 腰带、被头、单裤、棉裤照片

(e) Photos of the belt, quilt bag, single-layer trousers and cotton trousers

图 3 纺织品及其取样照片

Fig. 3 Photos of the textiles and sampling

表一 样品染料分析结果

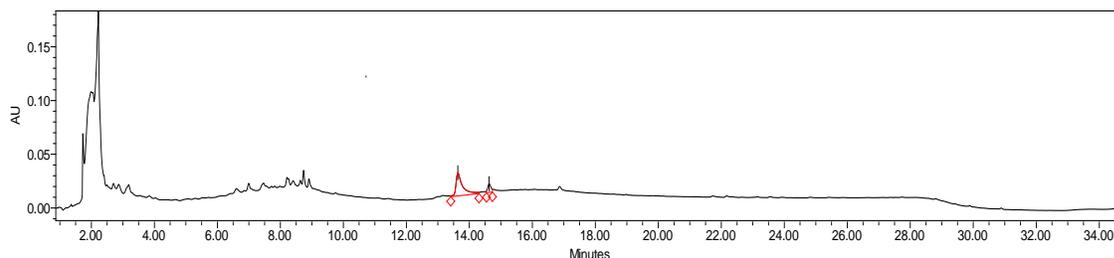
Table 1 Dye analysis results of the samples

纺织品编号	名称	样品编号	显微照片	颜色	取样部位	染料特征成分	染料来源
1	腰带	1		浅黄	底色	未检出特征成分	-
		1		黄	帽纬	小檗碱、未知黄色和橘黄色成分	黄檗+?
2	帽子	2		棕	帽顶	小檗碱、少量 Nowik C 型成分、鞣花酸、靛蓝、靛玉红	黄檗是主要染料。可能也有苏木、含有鞣花酸的染料和蓝草，但它们可能是其他部位的污染
		3		深黄	缝线	小檗碱	黄檗
		4		深黄	帽纬	小檗碱	黄檗
		1		浅黄	图案	微量 Nowik C 型成分	可能是苏木
3	吉服带	2	-	浅黄	带子	靛蓝和靛玉红	蓝草（可能从包的蓝色部分来的）

		3		浅黄	荷包甲衬里	Nowik A 和 C 型成分	苏木
		4		浅黄	荷包乙衬里	靛蓝、靛玉红、靛红、蓝草成分、Nowik C 型成分	蓝草+苏木
		5		浅黄	帛	未检出特征成分	-
4	被头	1		黄褐色	背景	未检出特征成分	-
5	靴子	1		白	衬里	靛蓝和靛玉红、少量鞣花酸	蓝草+含有鞣花酸的染料（可能都是来自正面的污染）
		2		黑	底边	靛蓝、鞣花酸	蓝草+含有鞣花酸的染料（应该是橡斗）
6	单裤	1		浅黄	背景	未检出特征成分	-
7	棉裤	1		浅黄	缝线	靛蓝	蓝草（可能是污染）
8	蟒袍	1		浅红	立水图案	Nowik C 型成分、鞣花酸和两个未知黄色成分	苏木+含有鞣花酸的染料（应该是橡斗）+黄色染料？
		2		黄	立水图案	Nowik C 型成分、鞣花酸、少量靛蓝和靛玉红	苏木+含有鞣花酸的染料（应该是橡斗），少量蓝草成分可能是污染

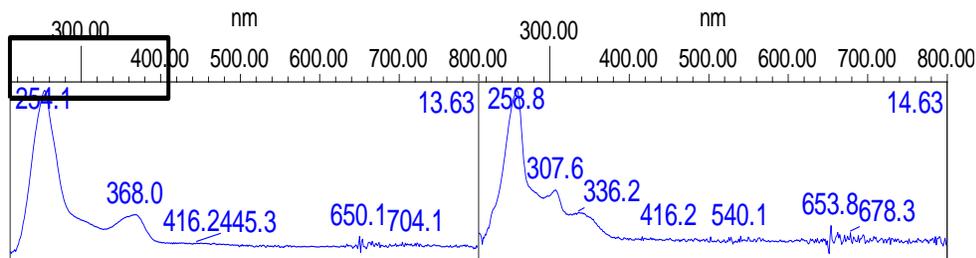
## 2.2 蟒袍

在蟒袍的相邻两条立水中检测到 Nowik C 型染料、鞣花酸和两个未知黄色成分（图 4）。Nowik C 型成分是染色红木的无色特征成分<sup>[26, 27]</sup>，主要来自云实属和采木属植物。在清代，染色红木主要是苏木，常与明矾一起使用。苏木的主要有色成分为氧化巴西木素，在本梯度洗脱程序中显示为一个低的宽峰<sup>[25]</sup>。在这批样品中氧化巴西木素含量太少而在色谱图中不能清晰辨认，苏木染料主要由 Nowik C 型成分来鉴别。样品中检出的鞣花酸是一种鞣质。用于染色的鞣质主要有两大类：鞣花鞣质和没食子鞣质，前者最简单的形式是鞣花酸，后者是没食子酸（又称为五倍子酸），这两类鞣质在自然界中均有广泛的来源<sup>[28]</sup>。橡斗（又称皂斗，含鞣花鞣酸）和五倍子（含没食子鞣酸）是清代常用的含鞣质的染料。此外，有些染料既含有主要有色成分也含有鞣质，在染色中两者同时起作用，比如石榴皮、柘木和大黄<sup>[5]</sup>。鞣质多与含铁离子的媒染剂（如青矾）共染黑色，或是与其他染料共染深色。样品中检出的两个未知黄色成分与清代常用黄色染料黄檗的染料成分有些类似，但因量少不能确定。未知的有色成分可能来自染料及其降解产物，也可能来自埋藏环境的污染，样品中检出的少量无色成分也是如此。注意有色成分即使来自染料，其颜色也不一定与整个染料的颜色或是染出颜色一致，染成颜色还取决于媒染剂等其他条件<sup>[29]</sup>。



a

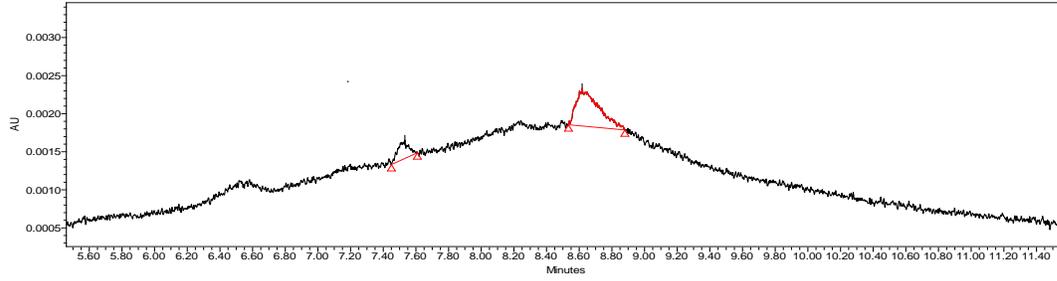
a 样品 8-1 提取物超高效液相色谱图（254 纳米）



b

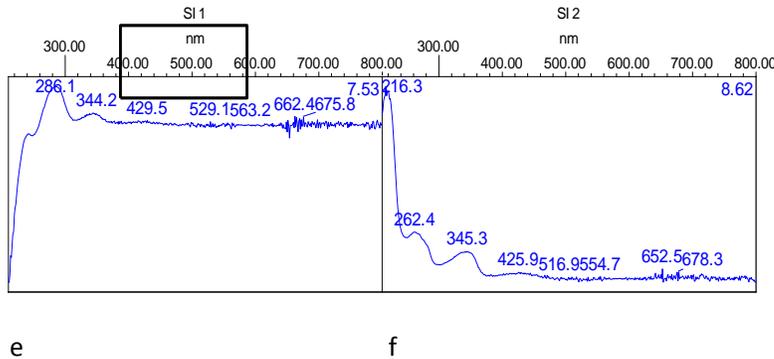
c

b 鞣花酸（13.6 分钟），c Nowik C 型成分（14.6 分钟）



d

d 样品 8-1 提取物超高效液相色谱图 (430 纳米)



e

f

e 黄色成分 (7.5 分钟), f 黄色成分 (8.6 分钟)

图 4 蟒袍立水样品 8-1 提取物超高效液相色谱图及其主要成分的紫外可见光谱图

Fig 4. Chromatogram of the extracts from sample 8-1 from the standing waves of the Mang robe and the UV-vis spectra of its main components

如果这两条立水只用了苏木和含鞣花酸的染料染色, 可能它们原来是深浅不同的棕色。在《织染局簿册》和《布经》中未找到共用苏木和橡斗染色的记载, 但有记载另一种鞣质染料五倍子与苏木共染: 《布经》中记载用苏木、五倍子和媒染剂染不同的棕色的方法, 共 7 条, 如“酱色: 川楝七斤, 苏木十八斤, 白矾三斤, 青矾三斤, 广灰半斤”(川楝为五倍子的一个品种, 白矾即明矾)、“棕色: 川楝七斤, 苏木十八斤, 白矾三斤, 青矾四两, 广灰半斤”。明代《多能鄙事》中有苏木、橡斗共染椒褐: “苏木, 四两剉研碎, 皂斗, 一两碾碎, 白矾, 亦二两, 绿矾, 半两” (皂斗即橡斗, 绿矾即青矾)<sup>[30]</sup>。清代传世纺织品染料分析结果中用苏木和含鞣花酸染料染成棕色。除了苏木和含鞣花酸的染料以外有可能还有另一个染料, 含有未知的黄色成分。《布经》中有记载苏木、橡斗和其他染料染深色: “沙石: 苏木八斤, 黄柏六斤, 芦花, 象斗八斤, 青矾二斤”(黄柏即黄檗, 象斗即橡

斗)。清代的染色文献记载和传世纺织品样品分析结果均显示染色主要用一种或两种染料，共用三种或更多染料的情况少，后者在研究分析的清代染色文献和传世样品中分别只占了12%和3%<sup>[5]</sup>。

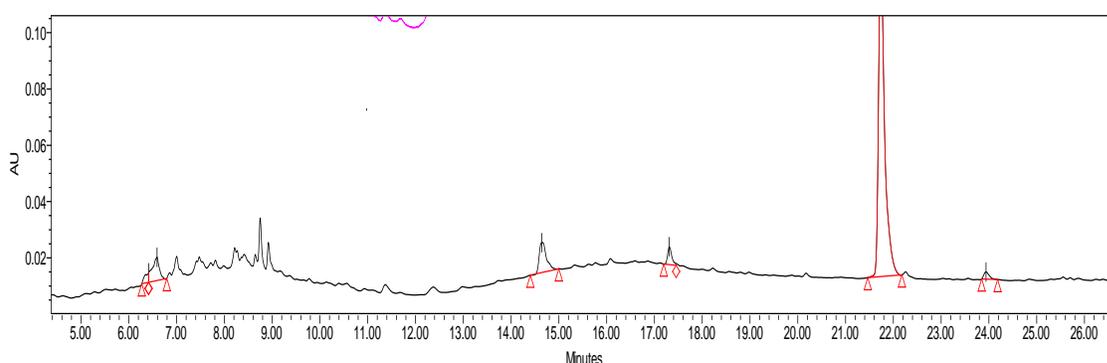
两条立水检出染料成分相同，其不同的颜色很可能由于染料用量不同。这与清代染色记载（如上文列举的《布经》中用苏木和橡斗染一系列棕色的例子）和传世纺织品分析结果一致：对两组传世清代龙袍立水图案样品的分析结果显示，第一组立水样品用红花和黄檗两种染料配以不同的用量染深浅不同的杏黄色；第二组立水样品用槐花和黄檗染深浅不同的棕黄色立水<sup>[5]</sup>。

### 2.3 吉服带

在吉服带荷包乙的衬里样品中鉴定出 Nowik C 型成分、靛蓝、靛红和靛玉红（图 5）。靛蓝、靛红和靛玉红均为蓝草染料的特征成分。还检测到一个在参考蓝草染色样品中也有的结构未知的成分。靛蓝是清代唯一常用的蓝色染料成分<sup>[5]</sup>。我国古代制造靛蓝的植物统称为蓝草，主要包括爵床科植物板蓝（又称马蓝 *Baphicacanthus cusia* Bremek.）、蓼科植物蓼蓝（*Polygonum tinctorium* Ait.）、豆科植物木蓝（又称槐蓝 *Indigofera tinctoria* L.）和十字花科植物菘蓝（*Isatis indigotica* Fort.）<sup>[31]</sup>。靛蓝不溶于水，用还原—氧化法染色，即通过发酵等方法将靛蓝还原为水溶性的靛白（又称隐色靛蓝），附着于织物纤维，然后在空气中氧化变回不溶的靛蓝。染成的靛蓝以颗粒形式附着于纺织品纤维上，颗粒状靛蓝比较稳定不容易老化<sup>[32]</sup>，但非常容易通过摩擦等途径污染所接触的该纺织品的其他部分或其他的纺织品，在传世纺织品的分析结果中就发现靛蓝污染到邻近的区域<sup>[5]</sup>。考古纺织品纤维在埋藏环境中老化，靛蓝颗粒与之附着力进一步减弱，就更容易污染其他纺织品。这个荷包样品上检测到的蓝草成分可能就是周围蓝色部分带来的污染，比如从荷包正面的靛蓝，因为衬里的蓝色非常浅而且不均匀，而荷包正面的蓝色非常深。通常衬里比外面较少暴露在造成染料老化的外界环境中，如果衬里原来是蓝色，这蓝色颜色应该比荷包正面保存得更好。

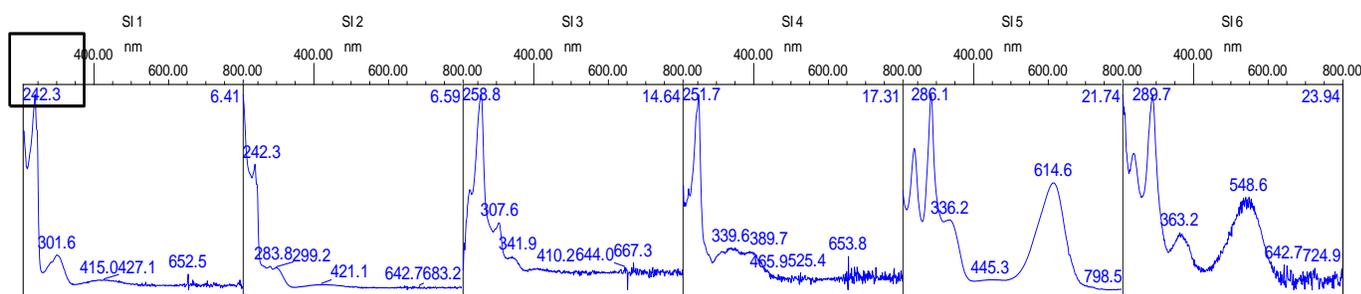
这个荷包衬里样品上检测到的 Nowik C 型成分为苏木染料的特征成分。在荷包图案样

品中同样也鉴定出 Nowik C 型成分，但是含量非常少，不能确定是由于本身的染色成分的老化而含量减少，还是来自其他部分的污染。在荷包甲衬里中也检出苏木的特征成分，包括 Nowik C 型成分和 Nowik A 型成分。苏木单个染料染色一般为棕色或紫色：在《布经》中染玫瑰紫用“苏木卅斤，白矾四斤，稻柴灰水”。在明代《天工开物》中也记载与青矾染紫色：“紫色：苏木为地，青矾尚之”<sup>[33]</sup>；在《多能鄙事》中记载与明矾和青矾共享染枣褐。苏木单个染料染棕色和紫色在清代传世品图案和底色样品中也均有发现。如果这个样品原来还有其他染料，比如黄色、蓝色或是鞣质类染料，从文献记载来看，苏木可以与黄色染料加媒染剂一起染棕红、杏黄色，与蓝草共染紫色、灰紫色，与含有鞣质类染料染棕色。



a

a 样品3-4提取物超高效液相色谱图（254纳米）



b

c

d

e

f

g

b 靛红（6.4 分钟），c 未知成分，d Nowik C 型成分（14.6 分钟），e 一个蓝草成分（17.3 分钟），f 靛蓝（21.7 分钟），g 靛玉红（23.9 分钟）

图 5 荷包乙衬里样品 3-4 提取物超高效液相色谱图（254 纳米）及其主要成分的紫外可见光谱图

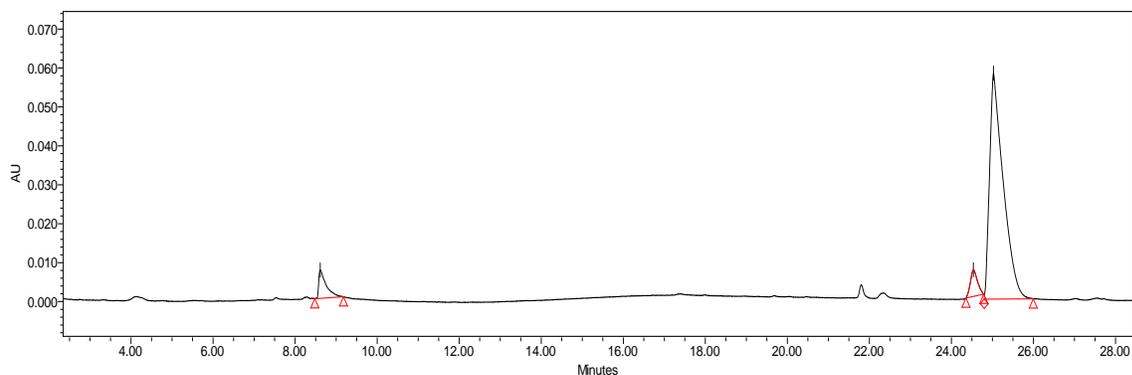
Fig 5. Chromatogram of the extracts from sample 3-4 from the lining of purse II at 254 nm and the UV-vis spectra of its main components

在吉服带帔上未检出染料特征成分。故宫藏康熙和嘉庆年的两条吉服带帔均为素色（未染色）<sup>[26]</sup>，由此推测这条帔也很可能是素色。因而采自饰件带子的样品 3-2 的蓝草成分很可能来自污染，理由同前，但参考故宫藏的这两条吉服带上栓挂荷包和其他饰件的带子均有颜色，推测这条饰件带子原来也可能是染了颜色，但染料成分已经老化降解了。

## 2.4 帽子

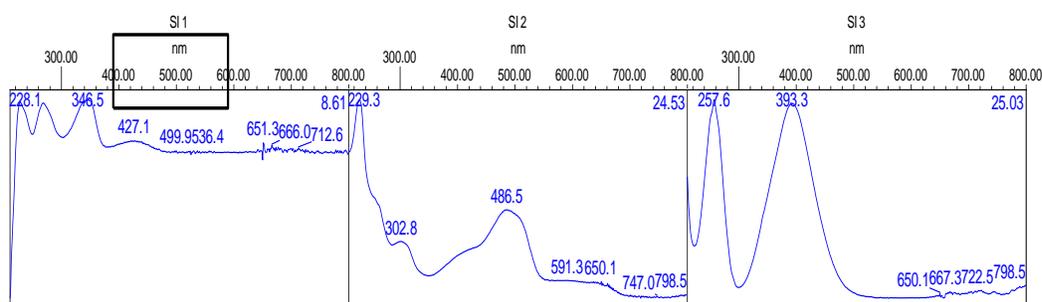
帽子样品中的染料分析结果显示，黄色帽纬和缝线样品也鉴定出小檗碱。小檗碱是黄色染料黄檗的主要成分，说明染料为黄檗，并且用于直接染色。在《织染局簿册》和《布经》中均有黄檗单个染料染色的记载，均用于染黄色，比如《织染局簿册》中染葵黄色“葵黄色纬二斤十一两一钱七分四厘，染用黄柏木二斤十一两一钱七分四厘，明矾八两九分五厘”；《布经》中记载“鹅黄：黄柏十五斤”。文物样品中也发现黄檗单个染料染黄色，分别用于图案和衬里。

帽纬样品中检测到小檗碱和两个未知的有色成分，分别为橘黄色和黄色（图 6）。这两个未知有色成分含量较多，很可能是原来染色的染料成分，但不确定来自同一个还是两个染料。从清代染色文献记载看，黄檗可以与另一种染料一同染色，比如，与红色染料共同染红，《物理小识》中记载“帛籍黄檗而染红”<sup>[34]</sup>；与黄色染料染黄，如《布经》“松花(色)：黄柏卅五斤，槐米十五斤，缸汁”；或是与蓝色染料一起染青色和绿色，如《布经》中记载水绿和竹绿均用月白脚地加黄檗。清代文物样品结果中，黄檗与红色染料一起，多是与红花染红色，也有与红花染粉红色和杏黄色；与黄色染料如与槐花染棕黄色；与蓝草染绿色。当然，黄檗也偶尔和其他两种或以上染料共同使用染深色，如《布经》“沙石：苏木八斤，黄柏六斤，芦花，象斗八斤，青矾二斤”。此帽纬样品中检测到的橘黄色和黄色未知成分并非红花或黄檗的成分。综上，此样品很可能为黄檗与另一染料所染，原色为棕黄色，也可能由包括黄檗的多种染料染成深色。



a

a 样品2-1提取物超高效液相色谱图（350纳米）



b

c

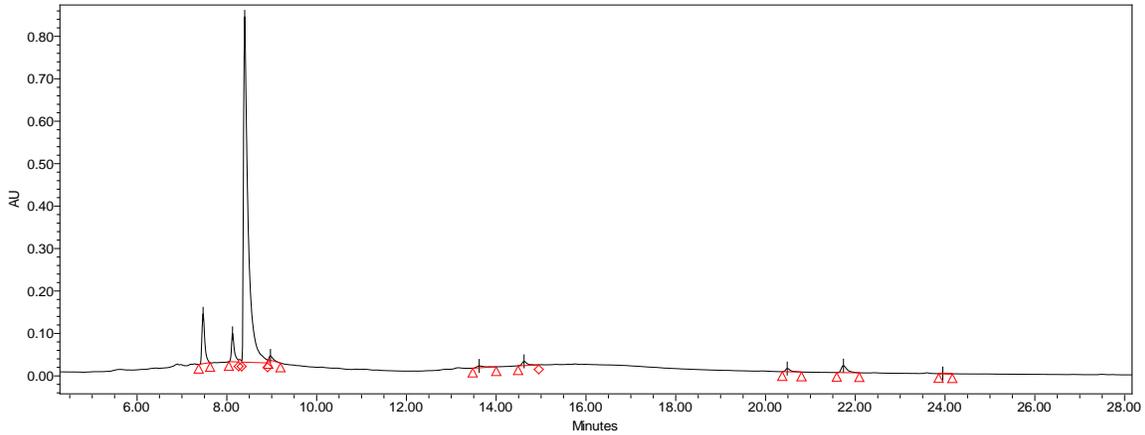
d

b 小檗碱（8.6分钟），c 橘黄色成分（24.5分钟），d 黄色成分（25.0分钟）

图6 帽纬样品 2-1 提取物超高效液相色谱图（350 纳米）及其主要成分的紫外可见光谱图

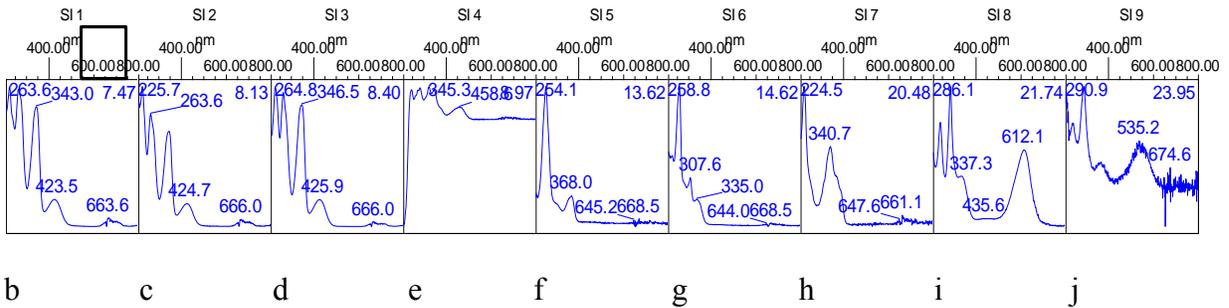
Fig 6. Chromatogram of the extracts from sample 2-1 from the upper side of the hat at 350 nm and the UV-vis spectra of its main components

帽顶主要发现小檗碱及其对等物，还有少量鞣花酸、以及苏木和蓝草的特征成分（图7）。这里“对等物”指的是一个与已知成分的紫外可见光谱吸收相似但保留时间不同的未知成分，其结构一般与此已知成分相似。黄檗、鞣质染料、苏木和蓝草的这一组合与上述《布经》用四种染料染暗色的方法相似。但也有可能检测到的部分染料成分是邻近帽顶的其他部分带来的污染，比如，黄色的帽纬由黄檗染成，小檗碱水溶性好，可能在埋藏环境中污染了帽顶。如果是这样，苏木、鞣质染料和蓝草，如上文蟒袍部分所述，用于染棕色。



a

a 样品 2-2 提取物超高效液相色谱图 (350 纳米)



b 小檗碱 (8.4分钟), c 小檗碱的对等物 (7.5分钟), d 小檗碱的对等物 (8.1分钟), e 小檗碱的对等物 (9.0分钟), f 鞣花酸 (13.6分钟), g Nowik C型成分 (14.6分钟), h 一个黄檗成分 (20.5分钟), i 靛蓝 (21.7分钟), j 靛玉红 (24.0分钟)

图 7 帽顶样品 2-2 提取物超高效液相色谱图 (350 纳米) 及其主要成分的紫外可见光谱图

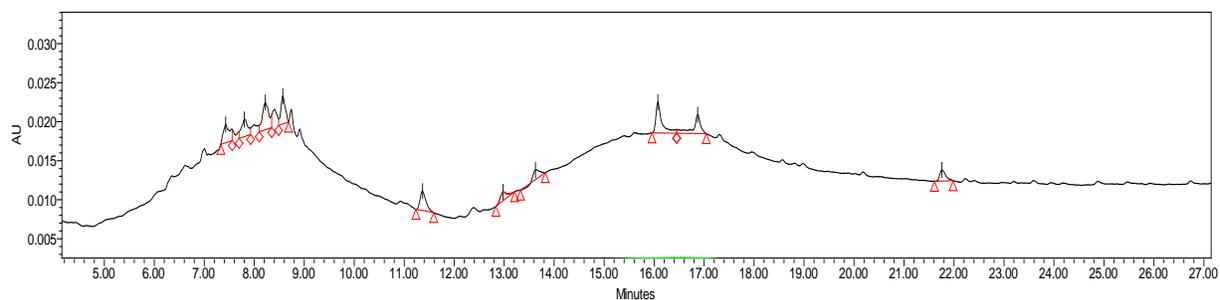
Fig. 7 Chromatogram of the extracts from sample 2-2 from the top of the hat at 350 nm and the UV-vis spectra of its main components

## 2.5 靴子

在靴子样品中检测到少量的鞣花酸和靛蓝 (图 8)。如上所述, 鞣花酸所指示的染料很可能是橡斗, 与青矾媒染剂一起染黑, 如《布经》中“栗壳: 象斗三十斤, 青矾三斤, 广

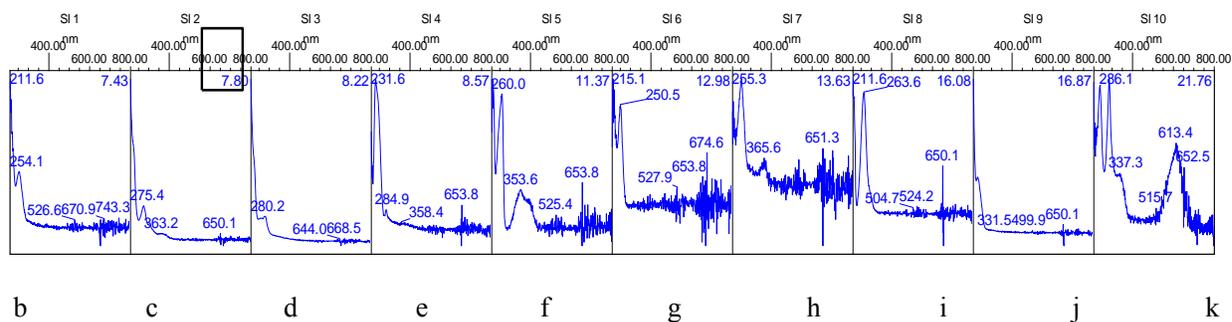
灰”。在传世文物样品的一些黑色底色、衬里、缝线样品中也发现鞣花酸为其唯一的染料成分。

这个样品中检测到的靛蓝是不是污染难以确定。在清代染色文献中未发现蓝草和鞣质染料两者染黑，但《染织局簿册》中有用蓝草、橡斗和其他染料一起染色的记载：“染元青色绒三钱三分，用靛青四两二钱九分，大黄四分一厘，碱七钱四分二厘，橡椀子一两六钱五分，五倍子四钱九分五厘，黑矾一钱四分四厘，杏仁油六厘，木柴三两三钱”（靛青即靛蓝，橡椀子即橡斗，黑矾即青矾）。如果这个样品中检测到的靛蓝不是污染物，靴子的底色原来除了鞣质染料和蓝草外可能还有其他染料，但其有色特征成分随着老化降解了。



a

a 样品 5-2 提取物超高效液相色谱图（254 纳米）



h 鞣花酸（13.6 分钟），k 靛蓝（21.8 分钟），其他均为少量的未知成分

图 8 靴子底边样品 5-2 提取物超高效液相色谱图（254 纳米）及其主要成分的紫外可见光谱图

Fig. 8 Chromatogram of the extracts from sample 5-2 from the boot at 254 nm and the UV-vis spectra of its main components

在靴子的白色衬里样品中检测到少量的靛蓝和鞣花酸。部分衬里被靛蓝污染，靴子内衬是棉质，内棉质已经腐烂，蓝色成分可能是尸身龙纹礼服脱色后同尸液等污染上去的。鞣花酸有可能是来自靴子正面的污染物。因而这个样品上检出的靛蓝和鞣花酸两种染料成分可能都来自污染。

## 2.6 其他纺织品

在腰带、被头、单裤、棉裤和吉服带帔上分别都取了一个样品分析。除了被头样品为较深的黄色，其他均为浅黄色。棉裤缝线样品上检测到靛蓝，其他样品均未检测出染料特征成分。如上述，缝线是浅黄色，靛蓝很可能是相邻蓝色部分带来的污染。相较于其他一同出土的纺织品，单裤本身颜色浅，可能并未染颜色。从传世纺织品来看，棉裤和腰带可能原来有色<sup>[26]</sup>；出土被头颜色较深，可能原来也染有颜色。但它们的染料成分因溶解流失或是严重老化而没有检测到。被头现在较深的黄色也可能因为丝纤维严重老化或是周围埋藏环境的严重污染所致。

## 3 相关讨论

### 3.1 染色工艺和纺织品原来的颜色

在这些样品中共发现四个染料特征成分，分别是苏木、黄檗、含有鞣花酸的染料（很可能是橡斗）和蓝草，均为清代常用染料。从染色方法来看，单个样品上多发现一种或是两种染料，少数可能有三种或是以上的染料染成。相同的染料组合可以通过不同用量获得深浅不同的颜色，比如蟒袍两个立水样品。相同的染料用于染不同类型和质地的纺织品和不同用途的线，比如苏木在蟒袍立水、荷包图案和衬里、帽顶样品上均检出；鞣花酸在蟒袍立水、靴子、和帽顶也检出。这些染料的选择和染色方法的结果均与文献记载和传世样品的分析结果相符合。

对于褪色不太严重的部分，比如帽子和靴子，检出的染料成分与所能染成的颜色相一致。对于褪色比较严重的蟒袍和荷包，检出的染料可以帮助了解原来的颜色。需要注意的是由于考古纺织品可能在老化过程中失去重要的染料特征成分，并且不一定所有的原有染

料成分都能被探测到，而且有些染料成分可能是来自邻近材料的污染，同时还有媒染剂的影响，因而很难对纺织品原来的颜色下定论，不过鉴定出的染料成分仍然能够在一定程度上帮助还原纺织品原有的颜色。

### 3.2 出土纺织品染料的保护、保存和鉴定

对出土纺织品的保护处理、保存和展示都需要考虑对染料的影响。在纺织品发掘时应尽量减小环境条件如光照、温湿度的迅速变化。减少纺织品的潜在污染如相互摩擦和振动，并细化出土记录，包括纺织品颜色及周围污染物类型和颜色。若部分染料溶解可以提取一些溶液做分析鉴定。姜黄、黄檗这些直接染料容易溶解在水中，老化严重的染料成分也更容易溶解。纺织品清理时如果使用溶液，需要做点试，尽量避免或是减少染料成分的溶解、流失，或污染到临近区域。在处理含有蓝色或绿色的纺织品时尽量减少摩擦和振动，如果可能的话将蓝绿色与其他部分隔开，避免靛蓝颗粒污染邻近部分。我国在考古出土纺织品的传统修复保护方面积累了丰富的经验，由于文物的唯一性，在研制和应用新的化学、生物等方法时一定要谨慎。考古出土纺织品在保存和展示时需要控制温湿度，并减少光照，尽量减缓进一步老化<sup>[35]</sup>。红花和姜黄是清代常用染料中在光照下最容易褪色的两个染料，而且清代纺织品上大部分的红色和粉红色都用到红花，这些纺织品展出尤其需要注意限制光照强度和时间<sup>[5, 36]</sup>。

考古纺织品染料分析检测中的困难主要在于它们一般老化程度重，染料成分含量少，有来自于埋藏环境的污染。染料在埋藏的过程中常常发生严重老化，使得纺织品出土颜色与原染成色相比发生了很大变化。尤其中原地区墓葬多潮湿环境或是干湿交替，这些墓葬环境大大加速染料的降解：水不仅直接参与染料降解过程，而且从周围环境中引入酸、碱，加速染料降解，水也会带走纺织品纤维上的染料成分及其降解产物。微生物也更容易在潮湿的环境生长，造成染料和纺织品纤维的降解<sup>[19, 37]</sup>。发掘过程中环境的变化也会加速染料的老化；同时，尽管墓葬环境相对密闭，但依然会有腐化和污染物的存在。以上因素加大了对考古纺织品样品中所含染料的分析、鉴定的难度。因而考古纺织品染料需要选择合适的分析方法、并在取样、样品处理、数据分析的过程中都要特别注意。使用色谱法可以分离成分，减少污染的影响。在分析文物样品之前建立成熟的化学分析方法、条件和尽可

能完备的数据库也很重要。取样前尽量详细了解纺织品可能使用的染料种类和染色方法、埋藏环境、出土和保护修复情况。取样中与考古、修复人员密切配合，仔细观察取样纺织品和各颜色染线的保存状况，认真选取样品，详细记录。对于颜色浅淡的样品在有条件的情况下可以适当增加样品量。本研究中不少样品因为纤维和染料的老化看上去都发黄，或是被靛蓝污染，但有些样品中还是检出红色染料苏木的成分，所以还是应该大胆试验。类似的，有些染料（如红花）的有色成分老化较快，但无色成分比较稳定，即使染料褪色了仍能检测出来<sup>[38]</sup>。从样品提取染料时使用二甲基亚砷和盐酸溶液的两步法，尽可能保留染料信息并都从样品中提取出尽量多的染料成分，进样分析。如果色谱有质谱联用，同时用紫外可见光谱和质谱数据，两者互相补充则更好。分析数据时需要在各个光谱波段仔细查找染料特征成分。也需结合染料的老化、污染等因素来判别样品的染料来源和染色方法。化学分析数据与染料染色文献记载和传世品的染料和颜色信息结合，能帮助确定检出染料成分是否是原染色成分还是污染，补充可能老化而并未被检测到的染料信息，并帮助还原样品的原色。如果样品量太少或是提取效率不高，数据没有仔细分析，就可能无法检出染料成分；取样不准确或是数据没有认真思考就可能发生染料和所染颜色的误判。

#### 4 结论

本研究使用超高效液相色谱法对北京市石景山区 2006 年出土清代墓葬的 8 件出土纺织品上的 17 个样品进行了染料分析，首次结合传世文物的颜色和染料分析结果、染料染色的文献记载互相对比，对考古纺织品颜色和染料使用的认识非常有帮助。研究共发现四种染料的特征成分，分别是苏木、黄檗、含有鞣花酸的染料（可能是橡斗）和蓝草，均为清代常用染料。单个样品上多发现一种或是两种染料，少数可能有三种或是以上的染料染成。相同的染料组合可以通过不同用量获得深浅不同的颜色。有一些成分如靛蓝可能是其他部分带来的污染。5 个样品上未检出特征成分或是只有污染的靛蓝，这些样品的染料成分可能老化严重，或是样品本身并未染色。同时，研究比对了该墓葬中不同类型和用途的纺织品和染线所用染料和染色方法，发现相同的染料可以用于染不同类型、质地的纺织品和不同用途的线，与文献记载和传世样品的分析结果相符合。本研究是首次针对清代考古出土纺织品上染料展开首次成功的分析鉴定，填补了对清代考古纺织品染料的空白，与传世文

物和文献记录结合形成对清代染色史认识的重要部分。对该墓葬更多样品和清代其他墓葬出土纺织品的染料分析能帮助更加全面地了解清代纺织品的染色工艺，并有助于帮助认识这些纺织品原来的颜色。同时，本研究从染料和颜色的角度对考古纺织品提出了更高更长远的保护、保存要求，相关研究也有待进一步深入。

## 致谢

感谢英国格拉斯哥大学 Anita Quye 博士和中国社会科学院考古研究所纺织品专家王亚蓉先生的指导，润物无声，感谢致敬。

感谢英国纺织品保护基金会（Textile Conservation Foundation）、Swire Charitable Trust、中英学术基金（The Sino-British Fellowship Trust）、英中教育信托基金（The Great Britain-China Educational Trust）和 Sym Charitable Trust 对本博士研究的经费支持。也感谢上海博物馆工艺研究部于颖博士对本研究的支持和帮助。

## 参考文献

[1] 钱小萍. 丝绸织染[M]. 北京: 大象出版社, 2005.

QIAN Xiao-ping. Silk Weaving and Dying[M]. Beijing: Daxiang Press, 2005.

[2] 赵承泽主编. 中国科学技术史, 纺织卷[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

ZHAO Cheng-ze (Ed). History of Chinese science and technology, Textile volume. Beijing: Science Press, 2002.

[3] 陈维稷主编. 中国纺织科学技术史（古代部分）[M]. 科学出版社, 1984.

CHEN Wei-ji. History of the science and technology of Chinese textile, the ancient part [M]. Beijing: Science Press, 1984.

[4] 允禄. 皇朝礼器图示[C]. 景仰文渊阁四库全书. 史部四一四. 政书类. 第六五六册. 台北: 台湾商务印书馆, 1759: 5-212.

YUN Lu. Illustrated ritual implements of the imperial dynasty [C]. Jing yin Wen yuan collection house Sikuquanshu. History 414. Politics. Vol 656. Taipei: Taiwan Commercial Press, 1976: 5-212

- [5] HAN Jing. The Historical and Chemical Investigation of Dyes in High Status Chinese Costume and Textiles of the Ming and Qing Dynasties (1368-1911)[D]. Glasgow: University of Glasgow, 2016.
- [6] 王亚蓉. 清代贵族服饰织造的技术与艺术[C]// 清代王府及王府文化国际学术研讨会论文集. 北京: 文化艺术出版社, 2006: 120-125.
- WANG Ya-rong. The Techniques and Art of the Making of High Status Costume of the Qing Dynasty[C]// Conference proceedings for the International Academic Conference on Wangfu and Wangfu Culture in the Qing Dynasty. Beijing: Culture and Art Press, 2006: 120-125.
- [7] 王业宏. 清代前期龙袍研究 (1616-1766) [D]: 东华大学, 2010.
- WANG Ye-hong, Research on dragon robes of the early Qing Dynasty (1616-1766) [D]: Donghua University, 2010.
- [8] 内务府全宗档案, 织染局簿册[M]. 北京: 中国第一历史档案馆藏, 清朝.
- Complete File of the Imperial Household, Volume of the Weaving and Dyeing Bureau[M]. Beijing: collected at The First Historical Archives of China, Qing Dynasty.
- [9] 王业宏, 刘剑, 童永纪. 清代织染局染色方法及色彩[J]. 历史档案, 2011, 31 (02): 125-127.
- WANG Ye-hong, LIU Jian, TONG Yong-ji. Dyeing methods and colours of the Weaving and Dyeing Bureau of the Qing Dynasty[J]. Hist Arch, 2011, 31 (02): 125-127.
- [10] 布经 (手抄本) [M]. 合肥: 安徽省图书馆藏, 清.
- Bu jing (Manuscripts) [M]. Hefei: Anhui Library (collection), Qing Dynasty.
- [11] HAN Jing, QUYUE Anita. Dyes and Dyeing in the Ming and Qing Dynasties in China: Preliminary Evidence Based on Primary Sources of Documented Recipes[J]. Textile History, 2018, 1-27.
- [12] HAN Jing. Botanical Provenance Research of Historical Chinese Dye Plants[J]. Econ Bot, 2015, 69 (3): 230-239.
- [13] RODRÍGUEZ Estrella Sanz, RODRÍGUEZ Angela Arteaga, GARCÍA María Antonia, et al. Characterization of natural and synthetic dyes employed in the manufacture of Chinese garment pieces by LC-DAD and LC-DAD-QTOF [J/OL] e-Conservation magazine, 2011, 5(21):38-55 [<http://www.e-conservationline.com/content/view/1021>].
- [14] ZHANG Xian, CORRIGAN Karina, MACLAREN Bruce, et al. Characterization of yellow dyes in nineteenth-century Chinese textiles[J]. Stud Conserv, 2007, 52 (3): 211-220.

- [15] LIU Jian, ZHOU Yang, ZHAO Feng, et al. Identification of early synthetic dyes in historical Chinese textiles of the late nineteenth century by high-performance liquid chromatography coupled with diode array detection and mass spectrometry[J]. *Color Technol*, 2016, 132 (2): 177-185.
- [16] HAN Jing, QUYUE Anita. A Comprehensive Study of Textile Dyeing Techniques of the Ming and Qing Dynasties, China[C]. *Dyes in History and Archaeology* 34. Thessaloniki. 2015. In Press.
- [17] 上海市纺织科学研究院文物研究组, 上海市丝绸缎工业公司文物研究组, 上海市纺织科学研究院文物研究组编. 长沙马王堆一号汉墓出土纺织品的研究[C]. 北京: 文物出版社, 1980: 81-100.
- Cultural heritage research group, Institute of Textile Research, Shanghai; Cultural heritage research group, Shanghai Silk Industrial Co.; Cultural heritage research group, Shanghai Textile Science Research Institute. A study of excavated textiles from Mawangdui tomb of the Han Dynasty, Changsha[C]. Beijing: Cultural Relics Press, 1980: 81-100.
- [18] 解玉林, 熊樱菲, 陈元生, et al. 周一汉毛织品上红色染料主要成分的鉴定[J]. *文物保护与考古科学*, 2001, (01): 1-7.
- XIE Yu-lin, XIONG Ying-fei, CHEN Yuan-sheng, et al. Identification of the main component of red dyes on wool textiles of the Zhou and Han Dynasties[J]. *Sci Conserv Archaeol*, 2001, 13 (01): 1-7.
- [19] 柏小剑. 潮湿墓葬环境中出土丝织品的植物染料鉴定技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- BAI Xiao-jian. Research on the identification of dyestuffs in ancient silk unearthed from wet tombs[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
- [20] 陈超. 北京市石景山区出土清代干尸服饰清理保护[C]//中国社会科学院考古研究所文化遗产保护研究中心. *文化遗产研究*. 北京: 科学出版社, 2013: 86-106.
- CHEN Chao. The cleaning and conservation of costumes from a dry body of the Qing Dynasty excavated in Shijingshan District, Beijing[C]//Cultural Heritage Research Center, Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences. *Cultural Heritage Research Institute*. Beijing: Science Press, 2013: 86-106.
- [21] 韩婧. 中国古代天然染料分析方法比较研究[D]: 北京大学, 2012.
- HAN Jing. A comparative study of chemical analysis techniques for historical Chinese natural dyes [D]. Beijing: Peking University, 2012.

- [22] SERRANO Ana, VAN BOMMEL Maarten, HALLETT Jessica. Evaluation between ultrahigh pressure liquid chromatography and high-performance liquid chromatography analytical methods for characterizing natural dyestuffs[J]. *J Chromatogr A*, 2013, 1318, 102-111.
- [23] WOUTERS Jan, GRZYWACZ Cecily, CLARO Ana. A comparative investigation of hydrolysis methods to analyze natural organic dyes by HPLC-PDA - nine methods, twelve biological sources, ten dye classes, dyed yarns, pigments and paints[J]. *Stud Conserv*, 2011, 56 (3): 231-249.
- [24] HAN Jing, WANROOIJ Jantien, VAN BOMMEL Maarten, et al. Characterisation of Chemical Components for Identifying Historical Chinese Textile Dyes by Ultra High Performance Liquid Chromatography–Photodiode Array–Electrospray Ionisation Mass Spectrometer[J]. *J Chromatogr A*, 2017, 1479: 87–96.
- [25] 严勇. 天朝衣冠: 故宫博物院藏清代宫廷服饰精品展[M]. 北京: 紫禁城出版社, 2008.
- YAN Yong, *Dresses of the Chinese imperial court: Exhibition of court costumes of the Qing Dynasty collected at the Palace Museum*[M]. Beijing: Forbidden City Press, 2008.
- [26] NOWIK Witold, The possibility of differentiation and identification of red and blue ‘soluble’ dyewoods: determination of species used in dyeing and chemistry of their dyestuffs[C]. *Dyes in History and Archaeology* 16/17. Lyons. 2001, 129–144.
- [27] PEGGIE David, KIRBY Jo, POULIN Jennifer, et al. Historical mystery solved: A multi-analytical approach to the identification of a key marker for the historical use of brazilwood (*Caesalpinia* spp.) in paintings and textiles[J]. *Analytical Methods*, 2018, 10: 617-623.
- [28] CARDON Dominique. *Natural Dyes: Sources, Tradition, Technology and Science*[M]. London: Archetype, 2007.
- [29] 韩婧, 张晓梅. 中国古代植物染料染色工艺[C]//全国第十一届考古与文物保护化学学术研讨会论文集. 文物保护新论(二). 北京: 文物出版社, 2010: 67-70.
- HAN Jing, ZHANG Xiao-mei. The dyeing techniques of historical Chinese plant dyes [C] //The 11th National Symposium on Archaeology and Conservation Chemistry Proceedings. *New Ideas in Conservation (II)*. Beijing: Heritage Press, 2010: 67-70.
- [30] 刘基. 多能鄙事[C]. 续修四库全书. 上海: 上海古籍出版社, 1995: 49,50.
- LIU Ji. *Various arts in everyday life*[C]// *Xuxiu siku quanshu*. Shanghai: Shanghai Guji Press, 1995: 49,50.
- [31] 南京中医药大学编著, 赵国平, 戴慎, 等. 中药大辞典[M]. 2 ed. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 1726-1727.

- Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, Zhao Guoping, Daishen, et al. Dictionary of Chinese medicine [M]. 2ed. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006: 1726-1727.
- [32] GILES C H. The fading of colouring matters[J]. Journal of Applied Chemistry, 1965, 15 (12): 541-50.
- [33] 宋应星著, 潘吉星译注. 天工开物译注[M]. 上海: 上海古籍出版社, 1993: 261-263.
- SONG Ying-xing, PAN Ji-xing (ED.). Chinese Technology in the Seventeenth Century, translated and annotated [M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 1992: 261-263.
- [34] 方以智. 物理小识[C]. 四库全书珍本 11 辑. 台北: 商务印书馆, 1981: 41-42.
- FANG Yi-zhi. Preliminary Knowledge of the Principle of Things[C]. Siku quanshu zhenben 11 ji. Taipei: Commercial Press, 1981: 41-42.
- [35] 王旭, 徐军平, 赵林娟. 考古出土纺织品的保护、修复和保管综述[C]// 中国文物保护技术协会第五次学术年会论文集. 北京: 科学出版社, 211-220.
- WANG Xu, XU Junping, ZHAO Linjuan. Summary of the conservation, restoration and storage of archaeological textiles[C]// Proceedings of the 5th Annual Academic Conference of the China Association of Conservation Technology. Beijing: Science Press, 211-220.
- [36] 韩婧, 张晓梅. 保护处理对纺织品文物中呈色物的影响[C]//文物修复研究. 北京: 民族出版社, 2012: 230-234.
- HAN Jing, ZHANG Xiaomei. Effects of conservation treatments on colorants in historical and archaeological textiles[C]// Research on Heritage Conservation. Beijing: The Ethnic Publishing House, 2012: 230-234.
- [37] NOWIK W, DESROSIERS S, SUROWIEC I, et al. The Analysis of Dye-stuffs From First - To Second - Century Textile Artifacts Found in The Martres-De-Veyre (France) Excavations[J]. Archaeometry, 2005, 47 (4): 835-48.
- [38] WOUTERS Jan, GRZYWACZ Cecily, CLARO Ana, Markers for identification of faded safflower (*Carthamus tinctorius* L.) colorants by HPLC-PDA-MS ancient fibres, pigments, paints and cosmetics derived from antique recipes[J]. Stud. Conserv, 2010, 55 (3): 186-203.