

延安时期红色文献的红外光谱无损检测研究

张旭¹, 闫玥儿^{1*}, 张春梅^{2*}, 杨光辉¹, 唐颐³

1. 复旦大学图书馆中华古籍保护研究院, 上海 200433
2. 复旦大学图书馆特藏与数字化部, 上海 200433
3. 复旦大学化学系, 上海 200433

摘要 延安是中国共产党领导革命的中心和战略总后方, 是革命的红色摇篮。延安时期出版了大量具有历史、文化以及教育意义的红色文献, 这些红色文献记载了中国共产党波澜壮阔的发展历程, 也反映了延安时期不断发展的科技生产水平与独特的制浆造纸工艺, 具有重要的研究价值。然而, 延安时期出版的红色文献虽距今不到百年时间, 但其保存现状不容乐观, 普遍存在纸张老化、焦脆易碎等问题, 大量文献急需科学检测与修复保护, 以延长其保存寿命。目前, 针对延安时期红色文献的检测研究仍存在较大空白。考虑到红色文献的珍贵性与特殊性, 应当尽可能选择无损检测方法对其分析检测。基于衰减全反射-傅里叶变换红外光谱法(ATR-FTIR), 以木素 1 510 cm^{-1} 处特征峰与纤维素 1 030 cm^{-1} 处特征峰的强度作为定量依据, 建立了造纸原料与红色文献纸张中木素相对含量的无损检测方法。通过检测不同碱强度与碱浓度处理后的构皮、苦竹与杨木的木素含量, 考察了制浆过程中碱处理条件对造纸原料脱木素程度的影响, 同时体现了红外光谱法测定木素相对含量的普适性。以复旦大学图书馆藏的 76 册延安时期红色文献为研究对象, 分析了红色文献的纸张木素含量与纸张 pH 值以及纸张氧化度的相互关系。结果表明, 木素相对含量高于 25% 的红色文献, 其纸张 pH 集中在 3~4 之间且纸张氧化度较高, 文献整体保存状况堪忧; 而木素相对含量低于 25% 的红色文献, 其纸张氧化度与酸度较低, 文献整体保存情况较好。以上结果验证了红外光谱无损检测法用于延安时期红色文献木素含量分析的可行性, 并结合纸张氧化度与酸度数据提出了纸张木素含量的合适范围, 为制浆造纸中植物原料的脱木素过程提供参考。拓展了红外光谱法在红色文献无损检测中的应用范围, 以期为延安时期红色文献的修复与保护研究提供科学依据。

关键词 延安时期; 红色文献; 无损检测; 红外光谱; 木素含量

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)10-3097-06

引言

延安是革命的红色摇篮。延安时期, 文化、教育、出版等方面表现出前所未有的繁盛景象, 大量的红色革命文献在这一时期出版发行^[1]。从 1937 年 1 月党中央在延安开始集中创建出版印刷机构, 至 1948 年 3 月党中央主动放弃延安转战陕北, 在这 13 年中出版了大量具有历史、文化以及教育意义的红色文献。这些红色文献记载了中国共产党波澜壮阔的发展历程, 也反映了延安时期不断发展的科技生产水平与独特的制浆造纸工艺, 具有重要意义。

延安地区主要指中共中央领导下的以延安为中心的陕甘宁边区革命根据地范围, 其中的陕西、甘肃两地为手工构皮纸的代表性产地^[2]。同时, 延安马兰纸也诞生于此, 弥补了当时用纸的空缺。延安时期, 我国造纸业实现了从手工造纸向机械造纸的初步转化, 因此延安时期的红色文献用纸汇集了传统手工纸与早期机制纸的特点。

在手工造纸与机械造纸流程中, 制浆是尤为重要的一部分^[3]。传统手工造纸, 包括延安地区的马兰草造纸, 均采用碱法制浆, 而早期的机械造纸多采用酸性亚硫酸盐法制浆。制浆过程不同, 导致最终成纸的性质不同, 如木素含量以及纸张酸性。其中, 较高的酸性将加速纸张纤维素的酸水解反

收稿日期: 2021-08-08, 修订日期: 2021-11-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(21805042), 上海市浦江人才计划项目(2020PJC003), 文化和旅游部文化行业标准化研究项目(WH/Y08-2018)资助

作者简介: 张旭, 女, 1995年生, 复旦大学图书馆中华古籍保护研究院博士研究生 e-mail: 21110820003@m.fuelan.edu.cn

* 通讯作者 e-mail: yueeryan@fudan.edu.cn; zchm@fudan.edu.cn

应,使得纤维素聚合度下降,纸张强度降低。在含氧气氛下,纤维素易被氧化生成羰基或羧基等氧化官能团,进一步促进纤维素链的断裂。同时,木素结构中的羟基也容易被氧化成羰基化合物与有机酸等,从而增加了纸张的氧化度与酸度。

延安时期出版的红色文献虽距今不到百年时间,但已出现纸张老化、焦脆易碎等现象(图 1)。目前,延安时期红色文献的保存状况令人堪忧^[4]。大量文献急需科学检测与修复保护,以延长其保存寿命。



图 1 三本延安时期红色文献的照片

Fig. 1 Photos of three books published in Yan'an period

傅里叶变换红外光谱法用于纸张研究领域,主要涉及纸张纤维种类鉴别^[5-6]、纸张填料成分分析、纸张降解动力学研究^[7]以及纸张氧化过程分析^[8-10]等。其中衰减全反射-傅里叶变换红外光谱法(Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared, ATR-FTIR)可以实现待测样品的原位无损分析,在纸质文献无损检测方面有广泛的应用前景。本文基于 ATR-FTIR,建立了木素相对含量无损检测方法,相比于传统湿化学检测法^[11],红外光谱法更为快捷方便且不会对文献造成损伤。考察了不同的碱处理条件对构皮、苦竹与杨木三种造纸植物原料的脱木素效果,对比了构皮、苦竹与杨木木素去除的难易程度。以复旦大学馆藏的 76 册红色文献为检测对象,利用红外光谱法测定其纸张的木素相对含量与氧化度,并利用纸张表面 pH 检测法测定纸张的酸度。在此基础上,分析了木素含量与纸张氧化度与酸度的相互关系及影响因素,为延安时期红色文献的科学检测与保护提供借鉴。

1 实验部分

1.1 纤维素与木素标准样品的制备

称取木素样品 10 mg,纤维素样品 90 mg,在玛瑙研钵中充分研磨后烘干,得到木素相对含量为 10%(纤维素相对含量为 90%)的标准样品。采用上述方法,分别获得木素相对含量为 20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90%的标准样品,以及纯纤维素与纯木素的标准样品。

1.2 造纸植物原料样品的制备

将造纸植物原料构皮、苦竹与杨木剪成长度不超过 4 cm 的碎块,各称取 1.5 g 置于反应釜内衬中,再分别加入 15 mL 质量分数 1% 的氢氧化钠溶液。将反应釜置于 120 °C 恒温烘箱中反应 1~4 h 后,取出样品、超声洗涤、烘干备用。

依次使用质量分数 2%,3% 和 4% 的氢氧化钠溶液与质量分数 4% 的碳酸钠溶液进行相同实验,得到待测样品。

1.3 红外光谱无损检测

以美国 PerkinElmer 公司 Spectrum Two 研究型红外光谱仪为检测仪器,配备金刚石 ATR 检测器。将样品水平放置于 ATR 检测台上,与金刚石接触的部位为信号采集位置。扫描范围 4 000~400 cm^{-1} ,扫描次数 16,分辨率 4 cm^{-1} 。扫描后所得的红外谱图,经仪器软件 ATR 校正后,对基线在 1 800 与 3 900 cm^{-1} 处进行交互校正,随后对 1 030 cm^{-1} 处的纤维素特征峰归一化处理,归一化值为 3。所得红外谱图的特征峰吸光度可用于定量计算。

2 结果与讨论

2.1 木素相对含量无损检测方法的建立

木素与纤维素在红外光谱中会产生特征吸收峰[图 2(a)]:其中纤维素红外谱图中 1 030 与 1 053 cm^{-1} 处特征峰对应纤维素中的 C—O 伸缩振动^[12],897 与 1 160 cm^{-1} 对应 β -1,4-糖苷键的 C—O—C 伸缩振动^[13],1 640 cm^{-1} 为纤维素结晶水羟基的 O—H 弯曲振动。木素红外谱图中 1 510 与 1 586 cm^{-1} 对应苯环骨架 C=C 伸缩振动,1 261 cm^{-1} 为甲氧基 C—O 伸缩振动^[14]。对比纤维素与木素红外谱图,选取干扰较低的两组特征峰 1 510 与 1 030 cm^{-1} ,分别作为木素和纤维素的定量分析依据。随后对所制备的不同含量的纤维素与木素标准样品进行红外光谱测试,读取样品在 1 510 与 1 030 cm^{-1} 处峰强度。以木素相对含量为横坐标,红外光谱中木素特征峰的相对强度 $A_{1510}/(A_{1510}+A_{1030})$ 为纵坐标作图,得到线性回归方程如式(1)

$$\frac{A_{1510}}{A_{1510}+A_{1030}} = 0.4314c + 0.0011 \quad R^2 = 0.99 \quad (1)$$

其中, A_{1510} 为木素的红外特征峰强度, A_{1030} 为纤维素的红外特征峰强度, c 为木素的相对含量,该方程线性关系良好。

对造纸原料或纸张样品,测得其红外谱图并校正处理后,将样品在 1 510 与 1 030 cm^{-1} 处峰强度带入线性回归方程,即可计算出样品的木素相对含量。

2.2 碱处理对造纸植物原料木素相对含量的影响

制浆造纸过程包含对造纸植物原料的化学提纯。为制得较纯的纤维素,需要利用碱性溶液蒸煮等方法,去除植物原料中的木素等成分。考虑到延安地区的构皮纸或马兰纸的制造均采用碱法制浆,在木素相对含量无损检测方法建立的基础上,考察了不同程度的碱处理条件对造纸植物原料脱木素效果的影响。选取的研究对象为构皮和苦竹,是由于马兰纸的植物原料马兰草目前较难获取,故选取同为草本植物的造纸原料苦竹进行研究。同时考察了常见机制纸所用的木材类原料杨木在碱处理实验中的效果。

在碱法制浆过程中,不同的碱液种类与碱浓度将导致木素的去除效果不同。图 2(b),(c)与(d)分别给出了构皮、苦竹与杨木原料的红外光谱图,以及原料经不同浓度 NaOH 溶液 120 °C 处理 4 h 后的红外谱图。对构皮而言,其原料在 1 586,1 510 和 1 261 cm^{-1} 处有明显的木素吸收峰。使用

1%，2%与4%的NaOH溶液处理后，1 510 cm^{-1} 处的木素吸收峰显著减弱，同时1 030与1 053 cm^{-1} 处的纤维素特征峰明显清晰。对苦竹而言，其原料在1 586，1 510和1 261 cm^{-1} 处也有明显的木素吸收峰。使用1%，2%与4%的NaOH溶液处理后，随着碱性增加，1 510 cm^{-1} 处的木素吸

收逐渐减弱，同时1 030与1 053 cm^{-1} 处的纤维素特征峰也逐渐清晰。杨木在碱处理条件下的木素脱除效果则不尽人意。由此可见，红外光谱法反映出了构皮、苦竹与杨木原料在碱法制浆中的脱木素过程与效果。

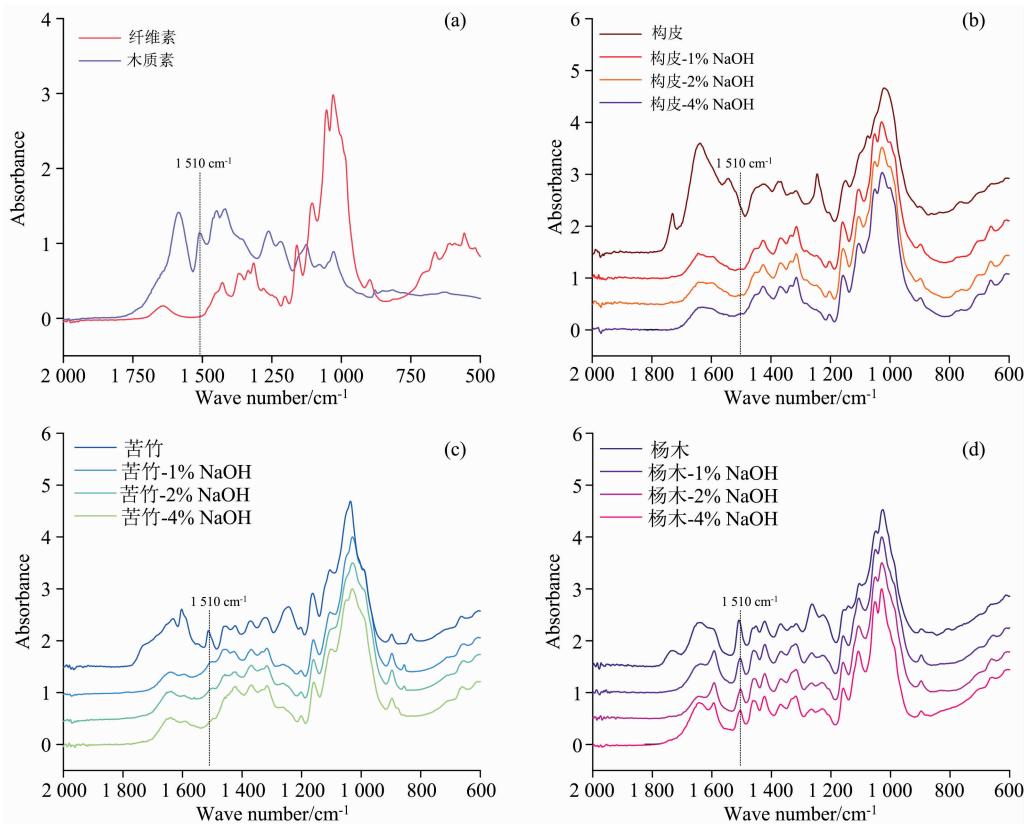


图 2 纯纤维素与木素样品的红外谱图(a)，以及造纸原料构皮(b)、苦竹(c)与杨木(d)经不同碱液处理时间后的红外谱图
Fig. 2 Infrared spectra of cellulose and lignin samples (a), as well as Paper mulberry bark (b), Bitter bamboo (c) and Poplar (d) raw materials treated with different alkali solutions

图 3 系统地给出了构皮、苦竹与杨木三种造纸原料经 1%，2%，3%和 4% NaOH 溶液以及 4% Na_2CO_3 溶液 120 $^{\circ}\text{C}$ 处理 1~4 h 后的木素相对含量，以考察制浆过程中碱强度、碱浓度以及处理时间对木素含量的影响。可以看出，无论构皮或苦竹，较强的碱性、碱浓度以及较长的处理时间均有利于木素的去除。对构皮而言，使用 4% Na_2CO_3 处理，木素相对含量由 45.3% 逐渐降低至 32.2%。对碱性更强的 NaOH 而言，即便是使用浓度为 1% 的 NaOH 处理 1 h，木素相对含量由 45.3% 快速降低至 18.7%，处理 4 h 后木素相对含量降至 14.5%。由此表明，NaOH 对构皮中木素的去除效果明显强于 Na_2CO_3 。对苦竹而言，4% Na_2CO_3 与 1% NaOH 对苦竹的脱木素效果较接近，处理 4 h 后木素含量由 41.9% 分别逐渐降低至 29.8% 与 30.4%。增加 NaOH 浓度有助于苦竹中木素的进一步脱出，由 4% NaOH 处理 3 h 后木素含量降低至 19.5%。继续延长处理时间至 4 h，会引起纤维素在高浓度碱液中的碱降解反应^[15]，从而导致纤维素的绝对含量降低，对应木素的相对含量升高。对杨木而言，使用 Na_2CO_3 与 NaOH 溶液处理效果均不理想，木素仅由 52.1% 降低至

40% 左右。综上所述， Na_2CO_3 溶液由于其碱强度相对 NaOH 溶液较弱，对构皮、苦竹与杨木的脱木素程度较低。构皮中的木素即使在低浓度的 NaOH 溶液中也较易脱除，而苦竹中的木素则需要较高浓度的 NaOH 溶液中去去除，杨木中的木素即使在较高浓度的 NaOH 溶液中也难以脱除。本实验不仅说明了制浆条件对造纸原料脱木素过程的影响，而且体现了红外光谱法测定木素相对含量的普适性。

2.3 延安时期红色文献的红外光谱检测与分析

复旦大学图书馆收藏的延安时期出版红色文献约 150 种，共计 200 余册，涉及 18 家出版机构。收藏的红色文献有马恩列著作、毛泽东思想著作、党的领导人著作和历史文献、哲学社会科学读物、军事研究著述及时事政治读物等。选取 18 家出版社中出版时期在 1937 年—1947 年的 76 册红色文献进行研究，通过红外光谱无损检测法测定其纸张的木素相对含量。结果表明，受延安时期制浆造纸水平影响，文献纸张中的木素相对含量差异较大，最低为 3.3%，最高达 38.6%。

图 4(a) 给出了两本红色文献的红外谱图，其中解放社出

版的《战争中的日本帝国主义》纸张的木素相对含量为 34.2%，第十八集团军总政治部宣传部出版的《抗战八年来的八路军与新四军》纸张的木素含量为 21.8%。可以看出，

两册文献的红外谱图有着较明显的差异，《战争中的日本帝国主义》纸张在 $1\ 510$ 与 $1\ 261\ \text{cm}^{-1}$ 处木素特征峰更为明显，峰强度中等，直观地说明了其木素脱除效果不尽人意，而

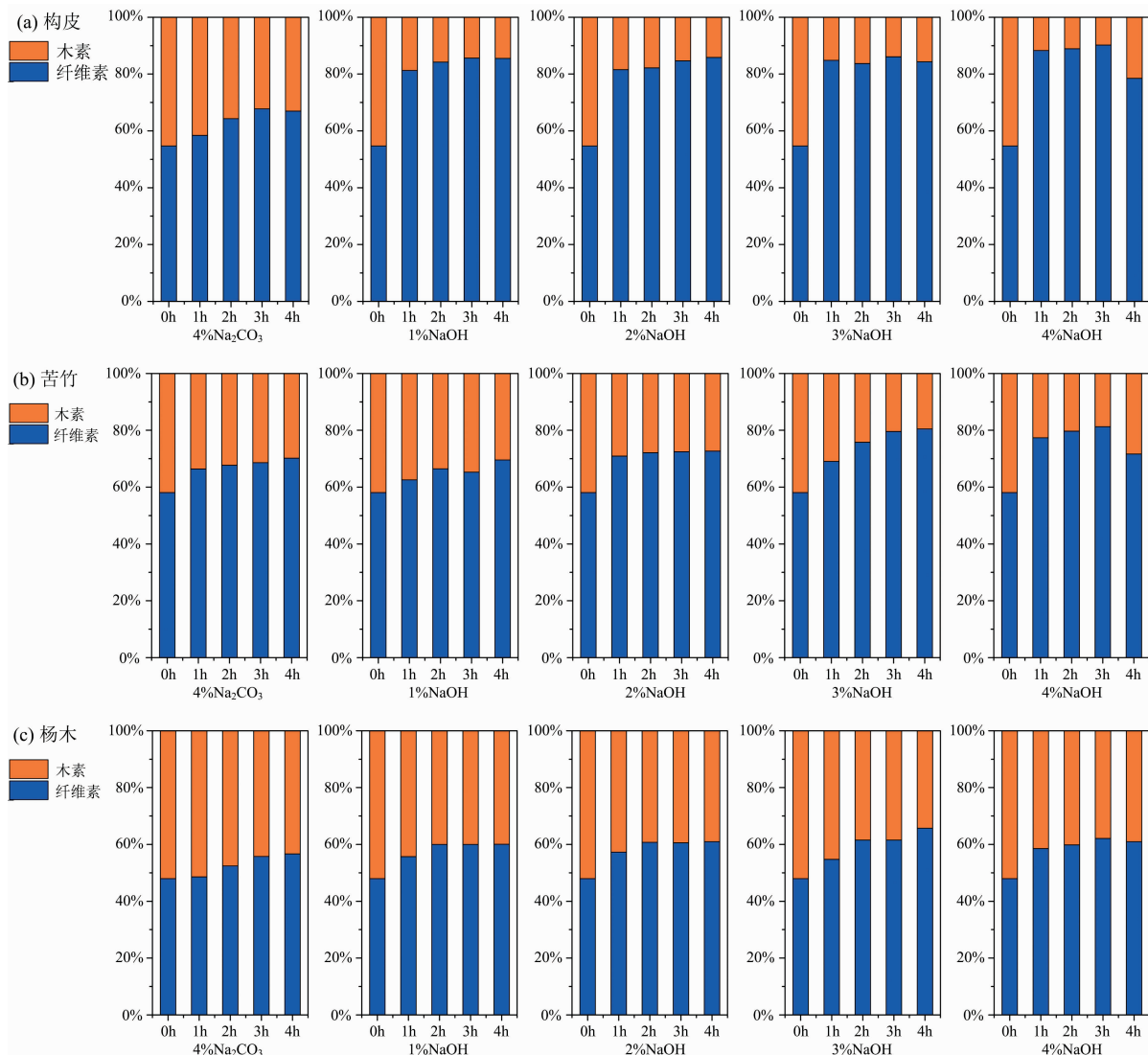


图 3 造纸原料构皮 (a)、苦竹 (b) 与杨木 (c) 经不同碱液处理后的木素相对含量

Fig. 3 Relative content of lignin of Paper mulberry bark (a), Bitter bamboo (b) and Poplar (c) raw materials treated with different alkali solutions

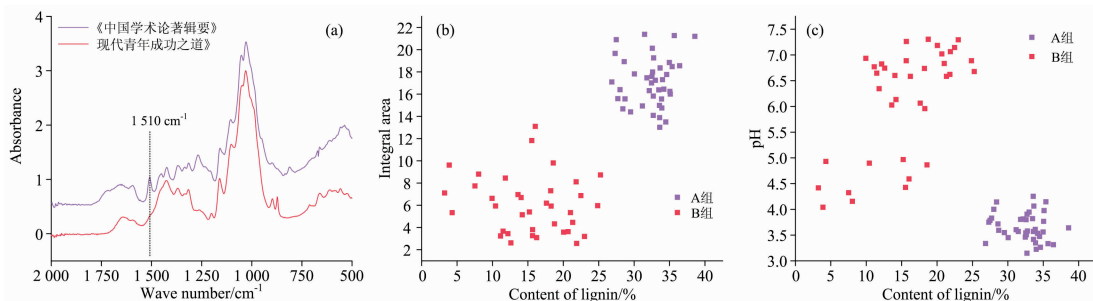


图 4 两册代表性文献的纸张红外谱图 (a)，76 册文献的纸张木素相对含量与对应氧化面积 (b) 以及 pH (c) 的散点图

Fig. 4 Infrared spectra of paper from two books (a), relationship between relative content of lignin and oxidation area (b) or pH (c) of 76 books

《抗战八年来的八路军与新四军》书中纸张谱图中木素特征峰不明显,峰强较弱,说明木素脱除效果较好。

纸张老化降解通常伴随着纸张 pH 值降低以及羰基或羧基等氧化基团的产生。这些氧化基团一般含有 C=O 结构,在红外光谱 1740 cm^{-1} 附近会产生吸收峰。因此,对纸张红外谱图中羰基特征峰($1760\sim 1700\text{ cm}^{-1}$)的面积进行积分,得到氧化面积数值,即定义为该纸张的氧化度,可以用来辅助判断纸张的老化程度。利用平头电极测定纸张表面 pH 值,可以实现红色文献纸张 pH 值的无损检测。分别以木素相对含量为横坐标,以纸张的 C=O 氧化面积与 pH 值为纵坐标作散点图,结果如图 4(b)与(c)所示。可以看出,两个散点图均呈现两端分布的趋势。图 4(b)中,木素相对含量在 25% 以上的 A 组文献,其纸张的氧化度较高,氧化面积位于 13~22 之间;而木素相对含量在 25% 以下的 B 组文献,其纸张的氧化度较低,氧化面积位于 2~13 之间。图 4(c)中,木素相对含量在 25% 以上的 A 组文献,其纸张的酸度较高, pH 集中在 3~4 之间;而木素相对含量在 25% 以下的 B 组文献,其纸张大部分呈弱酸性或中性, pH 集中在 4~5 与 6~7.3 两个区间,总体纸张酸度较低。由此可见,木素相对含量 25% 可以作为分界点,木素含量高于 25% 的红色文献具有更高的氧化度与酸度,整体保存状况堪忧;而木素含量低于 25% 的红色文献则具有更低的氧化度与酸度,保存状况良好。

进一步分析构皮、苦竹与杨木经不同碱液处理后的木素相对含量数据(图 3),可以发现 4% Na_2CO_3 处理 4 h 后,构皮、苦竹与杨木的木素相对含量均大于 25%,说明 Na_2CO_3 处理未能实现木素的有效去除。使用碱性较强的 NaOH 处理后,对构皮而言,只需要 1% NaOH 处理 1 h,木素相对含量便可以低于 25%,说明构皮中的木素在低浓度的 NaOH 溶液中较容易去除。对苦竹而言,使用 1% 或 2% NaOH 处理 4 h,木素含量仍大于 25%。只有将 NaOH 溶液的浓度提高到 3% 以上,才能实现木素的有效脱除,最终得到低于 25% 的木素含量。对杨木而言,使用 4% NaOH 处理 4 h,其木素依然较难脱除。延安时期生产的马兰纸,其原料马兰草为草本植物,与苦竹类似,马兰草中的木素也较难去除,所制得的

马兰纸色泽微黄。延安马兰纸的发明制造,不仅解决了抗日战争时期边区用纸短缺的难题,也体现了革命队伍里的科技创造水平。

本研究检测的 76 本延安时期红色文献,虽然出版时期集中在 1937 年—1947 年之间,但是由于造纸原料、制浆工艺与制浆条件等不同,使得纸张的木素相对含量不同,在保存 70~80 年后,纸张表现出不同的酸化与氧化程度。由于木素结构中含有大量酚羟基,这些酚羟基易在光照或含氧条件下发生氧化反应,生成酚类二聚体、有机酸、醛酮类产物等^[16-17],一方面加深了纸张的颜色,另一方面提高了纸张的酸性与氧化度。不仅如此,较高的纸张酸性促进了纸张纤维素的水解过程,导致其产生更多的末端还原性羰基,并继续被氧化为羧基等酸性含氧基团,从而进一步提高了纸张的酸性与氧化度。

3 结 论

采用衰减全反射-傅里叶变换红外光谱法,建立了造纸原料与红色文献纸张中木素相对含量的无损检测方法。考察了制浆过程中碱处理条件对造纸原料脱木素程度的影响,结果表明较强的碱性、碱浓度以及较长的处理时间均有利于木素的去除。以复旦大学图书馆藏的 76 册延安时期红色文献为研究对象,分析了红色文献的纸张木素含量与纸张 pH 值以及纸张氧化度的相互关系。结果表明,木素含量在 25% 以上的文献其氧化度与酸度较高,木素含量在 25% 以下的文献其氧化度与酸度较低。综上所述,实验结果验证了红外光谱无损检测法用于红色文献木素相对含量分析的可行性,并结合纸张氧化度与酸度数据提出了纸张木素含量的合适范围,为造纸原料的脱木素过程提供参考。拓展了红外光谱无损检测法在红色文献研究中的应用范围,并且为延安时期红色文献的修复与保护提供科学依据。

致谢:感谢复旦大学图书馆特藏部提供延安时期红色文献检测样本。感谢复旦大学希德书院丁思尹、金书桐、雷然、李新宁同学所提供的实验帮助。

References

- [1] WU Yong-gui, LI Ya(吴永贵,李 雅). Publishing Research(出版发行研究), 2007, (12): 72.
- [2] CHEN Gang, ZHANG Xue-jin(陈 刚,张学津). Hand Papermaking Techniques in Northern China(中国北方手工造纸工艺). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 2021.
- [3] WANG Ju-hua(王菊华). History of Ancient Chinese Paper Engineering Technology(中国古代造纸工程技术史). Taiyuan: Shanxi Education Publishing House(太原:山西教育出版社), 2006.
- [4] LIN Ming, ZHANG Shan-shan(林 明,张珊珊). Library Tribune(图书馆论坛), 2015, 35(12): 110.
- [5] Garside P, Wyeth P. Studies in Conservation, 2003, 48: 269.
- [6] Trafela T, Strlic M, Kolar J, et al. Analytical Chemistry, 2007, 79: 6319.
- [7] Łojewska J, Lubanska A, Miskowicz P, et al. Applied Physics A, 2006, 83: 597.
- [8] Ali M, Emsley A M, Herman H, et al. Polymer, 2001, 42(7): 2893.
- [9] Łojewska J, Miskowicz P, Łojewski T, et al. Polymer Degradation & Stability, 2005, 88: 512.
- [10] Zieba-Palus J, Weselucha-Birczynska A, Trzcinska B, et al. Journal of Molecular Structure, 2016, 1140: 154.
- [11] GB/T 747—2003. Pulps-Determination of Acid-Insoluble Lignin(纸浆酸不溶木素的测定). Beijing: Standards Press of China(北京:中国

标准出版社), 2003.

- [12] Oh S Y, Yoo D I, Shin Y, et al. *Carbohydrate Research*, 2005, 340(15): 2376.
- [13] Abidi N, Cabrales L, Haigler C H. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 100: 9.
- [14] SHI Shu-lan, HE Fu-wang(石淑兰, 何福望). *Pulp and Paper Analysis and Testing(制浆造纸分析与检测)*. Beijing: China Light Industry Press(北京: 中国轻工业出版社), 2003.
- [15] Ahn K, Rosenau T, Potthast A. *Cellulose*, 2013, 20(4): 1989.
- [16] Kobayakawa K, Sato Y, Nakamura S, et al. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 1989, 62: 3433.
- [17] Rahimi A, Azarpira A, Kim H, et al. *Journal of the American Chemical Society*, 2013, 135: 6415.

Non-Destructive Analysis of Yan'an Red Literature by FTIR Spectroscopy

ZHANG Xu¹, YAN Yue-er^{1*}, ZHANG Chun-mei^{2*}, YANG Guang-hui¹, TANG Yi³

1. Institute for Preservation and Conservation of Chinese Ancient Books, Fudan University Library, Fudan University, Shanghai 200433, China
2. Department of Chinese Rare Books Collection and Digitization, Fudan University Library, Fudan University, Shanghai 200433, China
3. Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract Yan'an was the revolution center and strategic backside of the Communist Party of China and the cradle of revolution. Large numbers of red kinds of literature with historical, cultural, and educational significance were published in the Yan'an period, which recorded the grand development of the Communist Party of China and reflected the continuous improvement of scientific and technological productive force as well as the unique pulping and paper making process in that period. Thus, the research value of Yan'an red kinds of literature is of great importance. However, although these red kinds of literature have a history of fewer than 100 years, their preservation situations are not optimistic, and problems such as aging and embrittling of paper are widespread. These books are in urgent demand of scientific detection and preservation to prolong their live performance. Research on the detecting and analyzing of Yan'an red literature is still blank. Non-destructive testing methods should have opted as far as possible. Based on Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), the intensity of the characteristic peak at $1\ 510\ \text{cm}^{-1}$ of lignin and $1\ 030\ \text{cm}^{-1}$ of cellulose was used as the quantitative foundation to establish the non-destructive testing method of the relative lignin content in paper raw materials and red literature paper. The effect of alkali strength and concentration on the degree of delignification during the pulping process was investigated by examining the lignin content of paper mulberry bark, bitter bamboo and poplar. The generality of FTIR method for determining the relative lignin content was also demonstrated. The relationship between the paper lignin content and the paper pH value or the paper oxidation degree was studied for Yan'an red kinds of literature collected in Fudan University Library. The results showed that red kinds of literature with relative lignin content higher than 25% had a higher paper oxidation degree and acidity(pH 3~4), and the overall preservation situation of this literature was worrisome. However, the red kinds of literature with relative lignin content lower than 25% had a lower paper oxidation degree and acidity, and their overall preservation situation was relatively good. The above results indicate the feasibility of the FTIR method for the determination of lignin content of Yan'an red kinds of literature, and propose a suitable range of paper lignin content in combination with paper oxidation degree and acidity, providing a reference for the delignification process of raw plants in pulping and paper making. This work expands the application of FTIR spectroscopy in the non-destructive analysis of red literature and provides a scientific basis for the research of preservation and conservation of red literature in the Yan'an period.

Keywords Yan'an period; Red literature; Non-destructive testing; Infrared spectroscopy; Lignin content

(Received Aug. 8, 2021; accepted Nov. 15, 2021)

* Corresponding authors