

碱性离子液体有效去除烟梗中木质素的研究*

侯轶^{1,2}, 胡亚成¹, 李友明¹, 刘超¹, 杨宇飞¹, 胡松青^{1†}

(1.华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广东 广州 510640;

2.重庆中烟工业责任有限公司, 重庆 400060)

摘要:制备碱性离子液体[Mmim]DMP, 将其作为溶剂, 以微波辐射为加热源, 研究其对造纸法再造烟叶原料烟梗中木质素的去除效果. 建立了快速、准确的液相木质素紫外分光光度定量分析方法, 通过正交实验确定了碱性离子液体有效去除烟梗中木质素的最佳工艺: 浸渍温度 80 °C, 浸渍时间 25 min, 浸渍料液比 1 : 15. 在此工艺条件下, 烟梗木质素的去除率达到 22.60%, 其溶解去除率约为常规热水提取的 5 倍. 烟梗经离子液体处理后, 纤维间的填充物大量脱除, 纤维轮廓更清晰, 有利于后续原料打浆及烟气品质控制.

关键词:烟梗; 碱性离子液体; 液相木质素; 有效去除

中图分类号:TS424

文献标志码:A

Study on Effective Removal of Lignin in Tobacco Stems by Using Alkaline Ionic Liquids

HOU Yi^{1,2}, HU Yacheng¹, LI Youming¹, LIU Chao¹, YANG Yufei¹, HU Songqing^{1†}

(1.State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology,

Guangzhou 510640, China; 2. China Tobacco Chongqing Industrial Co Ltd, Chongqing 400060, China)

Abstract: Making alkaline ionic liquid [Mmim] DMP and using it as solvent by microwave heating, the effective removal of lignin in tobacco stems of reconstituted tobacco was studied. A rapid and accurate method for quantitative determination of liquid lignin by using UV spectrometry was established. The optimum technology for the removal of lignin in tobacco stems with the ionic liquids was determined by orthogonal experiment as follows: a maceration temperature of 80 °C, a maceration time of 25 min and a solid /liquid ratio of 1 : 15. In this process, the removal rate of lignin was 22.60%. The removal rate was about 5 times of that of water extraction. After extraction of tobacco stems by using ionic liquids, the fillers of fiber were removed heavily and the fiber profile was clearer, which were conducive to the pulping of the subsequent raw materials and the control of smoke quality.

Key words: tobacco stems; alkaline ionic liquids; liquid lignin; effective removal

再造烟叶最初是提高对烟草废弃物的利用, 现已发展成为改善烟草化学品质和味觉品质的一种

* 收稿日期: 2017-02-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21206046), National Natural Science Foundation of China(21206046); 制浆造纸工程国家重点实验室自主研究项目(2015C02), The Independent Research Project of State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering(2015C02); 佛山市科技计划项目(2015AG10011), Foshan Science and Technology Plan Project(2015AG10011); 重庆中烟工业有限责任公司科技项目, Research Project of China Tobacco Chongqing Industrial Corporation Limited

作者简介: 侯轶(1973—), 女, 湖南津市人, 华南理工大学教授级高级工程师, 硕士生导师, 博士

† 通讯联系人, E-mail: fesqhu@scut.edu.cn

途径,其中造纸法再造烟叶工艺已成为再造烟叶技术的主流,其制造工艺是将烟叶加工过程中废弃的烟梗、烟末等原料,经过浸取、浓缩、打浆、抄造、涂布等过程,制备出品质接近于天然烟叶的产品,将其回用到卷烟生产中,可降低生产成本,实现卷烟的化学成分的可控性^[1-3].大多数研究人员和生产商更多地关注再造烟叶原料中烟草特征香味物质的浸提和涂布^[4-6],而忽视了原料主要成分——木质素对烟气及造纸法再造烟叶工艺过程带来的不利影响.烟草废弃物尤其是烟梗作为再造烟叶浆料纤维的主要来源,其木质素含量较高,由于木质素热解时产生儿茶酚和烷基儿茶酚,抽吸时引起涩口且有促癌活性^[7-9],故烟梗在卷烟产品中的用量受到了很大的限制.

目前有研究者利用酶或微生物降解烟梗中的大分子物质(如蛋白质、糖类等),改善口感,减少刺激性^[10-12],还有一些研究外加原料如苦菜浆料和茶叶浆料等与烟梗浆料混合抄造片基,改善再造烟叶口味^[13],也有部分企业借鉴制浆造纸工业的研究成果,尝试利用弱碱碳酸钾(K_2CO_3)脱除原料烟梗中的木质素^[14],但由于卷烟的吸食性特点使得目前无法实现工业化应用.近年来,具有特殊化学结构的纯离子溶剂离子液体,由于其无挥发性、无腐蚀性、可回收可调控的绿色溶剂性能,目前已成为诸多研究如有机反应介质、催化、生物化学及萃取等领域的热点.因此,本文利用“绿色溶剂”碱性离子液体[Mmim]DMP在造纸法再造烟叶浸提工艺段对烟梗进行预处理,并以微波辐射为加热源,有效去除烟梗中的木质素,从而提高烟梗在卷烟产品中的使用价值,减少木质素杂气带来的刺激,改善再造烟叶品质,节约能源与资源.

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

烟梗,含水率 13.81%,产地为云南,由广东省某烟草薄片技术开发有限公司提供.

1,4-丁二醇,纯度达 99%以上, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$,二氧六环水,氯仿,所有试剂均产自国药集团化学试剂有限公司.

1.2 实验仪器

GS-2 型不锈钢高压反应釜(威海坤昌化工机械有限公司,工作压力 9.8 MPa,最大承压 12.5 MPa,容量 2.0 L);TG-20B-C 型离心机(上海安亭

科学仪器厂);YZF-6020 型台式真空干燥箱(上海姚氏仪器设备厂);EVO 18 扫描电镜(德国 Carl Zeiss AG);XH-100B 型祥鹤电脑微波催化合成萃取仪(北京祥鹤科技发展有限公司);DR6000 紫外可见分光光度计(美国 Hach 公司);傅立叶变换红外光谱仪 Vector 33(德国 Bruker 公司);核磁共振波谱仪 AVANCE Digital 4000MHz(德国 Bruker 公司).

1.3 原料中化学成分测定

用微型粉碎机粉碎烟梗,冲框筛筛出 60 目的试样,贮存于密封袋中平衡水分,供分析使用^[15].

灰分、冷热水抽出物、苯醇抽出物、综纤维素、聚戊糖、木素等项目的分析按照国家有关标准规定的方法进行(GB/T 2677.1—1993,GB/T 2677.3—1993,GB/T 2677.4—1993,GB/T 2677.5—1993,GB/T 2677.6—1994,GB/T 2677.8—1994,GB/T 2677.9—1994,GB/T 2677.10—1995).

1.4 碱性离子液体[Mmim]DMP 的制备

按相关文献^[16]制备了[Mmim]DMP 离子液体,方法如下:按反应物配比(质量比)1.2:1 的比例,将磷酸三甲酯在 1 h 内逐滴加入到装有 N-甲基咪唑的烧瓶中,通高纯氮气,调节加热器缓慢升温至 110 °C,搅拌加热回流反应 10 h.将得到的产品用乙醚洗涤 3 次,使用旋转蒸发仪减压蒸馏 6 h,60 °C 下真空干燥 6 h,得到浅黄色透明液体[Mmim]DMP.实验室前期的研究^[17]中已对制备的离子液体进行了结构表征,证明其即为所需的离子液体.

经测定,实验室制备得到浅黄色透明液体[Mmim]DMP,产率为 95%,纯度为 99%,并通过 pH 计测得 pH 值约为 7.8,说明该离子液体呈弱碱性.

1.5 木质素标准样品制备

高沸醇溶剂的沸点较高(如 1,4-丁二醇的沸点是 235 °C),挥发性很低,与低沸点的乙醇、丙酮相比,在洗涤纤维素时蒸发损失较少,整个过程没有排放污染物质,使用后的高沸醇溶剂可以通过减压蒸馏脱去水分后重复使用,回收利用率达 98%以上.高沸醇溶剂可以用于硬木木质素和软木木质素的提取,甚至在没有催化剂的条件,就可以得到比较好的产率.其原理是先将烟梗中的木质素与纤维素分离开来,再通过调整溶液的极性,使木质素从溶液中沉淀出来,经过离心、干燥和提纯,可以得到含糖量在 0.5%以下的纯净木质素^[18].由于该方法具有无污染、充分利用资源等优点,可以在制浆与

造纸行业进行运用,大大减轻造纸行业的污染.因此本文以高沸醇溶剂法 HBS(high boiling solvent) 提取木质素来制备烟梗原料木质素标准样品.

1.5.1 粗木质素制备

准确称取烘干后的烟梗 50.0 g, 粉碎并过 100 目筛, 与 90% 的 1,4-丁二醇水溶液 [$V_{(醇)} : V_{(水)} = 9 : 1$] 按固液比 1 : 10 的比例置于 2.0 L 的不锈钢高压反应釜内, 并向反应釜内加入少量 $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 作为催化剂, 220 °C 下反应 2 h, 真空过滤得滤液和滤渣. 先用 80 °C 90% 的 1,4-丁二醇水溶液洗涤滤液和滤渣 1 次, 再用 80 °C 的水洗涤 2 次. 将洗涤液和滤液合并, 室温下加入 3 倍体积的水并搅拌 15 min, 即有大量木素沉淀出来. 离心分离, 将滤饼用 60 °C 水洗涤后滤干, 再置于 80 °C 真空干燥箱烘干, 用研钵研碎, 制得粗木质素.

1.5.2 木质素提纯

将粗制木质素产品采用 Lundquist Ketal^[19] 液-液萃取的方法, 把高沸醇木质素溶解在二氧六环水溶液(体积比 20 : 1) 中. 加入水使二氧六环水溶液的体积比达到 5 : 2, 然后用氯仿萃取(体积为二氧六环水溶液体积的一半), 这样木素沉淀在水相中. 过滤沉淀, 用水洗涤后置于真空干燥箱中干燥, 用研钵研碎, 得到棕色精制木质素.

1.5.3 木质素标准液的制备

准确称取 0.020 0 g 精制木质素在微波催化合成萃取仪中完全溶于 50 mL 离子液体中, 溶解条件: 500 W, 25 min, 80 °C, 制得木质素标准液. 移取 5 mL 木质素标准液至比色皿中, 以离子液体为参比取零, 在 190~400 nm 波长范围内进行波长扫描.

采用离子液体溶解法测木质素吸光度值, 首先要排除离子液体本身的吸光度值的干扰, 因此要测定离子液体在 190~400 nm 波长范围内的吸收峰. 准确称取离子液体标准样品 0.500 0 g 置于 250 mL 的容量瓶中, 用去离子水定容, 得到浓度为 2 000 mg/L 离子液体标准溶液. 准确移取 0.3 mL 离子液体标准溶液于 100 mL 的容量瓶中, 用去离子水定容, 得到 6 mg/L 的离子液体-水溶液. 移取 5 mL 所配 6 mg/L 的离子液体-水溶液至比色皿中, 以空白去离子水样为参比取零, 在 190~400 nm 波长范围内进行波长扫描.

1.6 烟梗中木质素去除及微观形态分析

1.6.1 固相木质素含量的测定

按照国家有关标准规定的方法, 即酸不溶木素(克拉森木素)含量(质量分数, 下同)的测定方法

(GB/T 2677.8—1994, GB/T 747—1989) 和酸溶木素含量的测定方法(GB/T 10337—1989) 对烟梗中的木素含量进行测定. 以离子液体处理前后烟梗中木质素含量差值与烟梗原料中木质素含量之比计算去除率, 即

$$R_1 = \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{\varphi_0} \quad (1)$$

式中: φ_0 为烟梗原料中木质素含量, g; φ_1 为处理后烟梗中木质素含量, g.

采用此方法测定的烟梗原料中木质素含量为 14.76%.

1.6.2 液相木质素含量的测定

将提取烟梗后的离子液体稀释适当倍数, 然后取稀释液 5 mL 至比色皿中, 以离子液体为参比, 于 280 nm 处测定吸光度值, 根据木质素标准浓度曲线计算出离子液体中溶出的木质素质量分数. 按如下公式计算出烟梗中木质素的去除率:

$$R_2 = \frac{m_1}{m_0} \quad (2)$$

式中: m_0 为烟梗原料中木质素含量, g; m_1 为离子液体中溶出的液相木质素含量, g.

1.6.3 烟梗木质素去除前后微观形态变化

将原烟梗和离子液体处理后烟梗干燥后, 分别附着在样品台上, 喷金制样. 然后用扫描电镜在不同放大倍数下对试样进行观察. SEM 的检测条件为: EHT(加速电压) 10.00 kV; WD(工作距离) 9.50 mm; Signal A 为 SE1(二次电子).

2 结果与讨论

2.1 化学成分分析

由表 1 可知, 作为草类原料, 烟梗的灰分含量比其他造纸常用草类原料高, 但相对于烟末来说较低, 而灰分含量过高在一定程度上影响提取液的黏度, 故说明烟梗更适合用作卷烟填充料.

由表 1 还可看出, 烟梗的冷水抽出物和热水抽出物含量分别为 46.91% 和 58.09%, 比烟末稍高, 是其他常见草类原料的倍数, 说明烟梗中的可溶性物质含量高, 即可用于回涂的提取液中有效成分多. 烟梗的苯醇抽出物含量比其他常见草类原料高, 说明在烟梗中蜡质含量很高. 综纤维素含量是判断原料造纸利用价值高低, 制定制浆工艺的主要依据. 表 1 的数据显示, 烟梗中的综纤维素含量相对于其他常见的草类原料较低, 但比烟末含量高, 所以要选

择合适的打浆度,若过度打浆,造碎率必然很大,将导致抄造过程细小组分的大量流失.非木材的半纤维素以聚戊糖为主,因此测定聚戊糖含量对表征烟梗的半纤维素含量具有实际意义.由表 1 的数据可知,烟梗的聚戊糖含量为 7.39%,比烟末稍高,仅为其他草类原料的 1/3.对于造纸法再造烟叶的机械磨浆来说,有一定量的半纤维素可节省打浆动力消

耗,提高纸页的结合强度.烟梗的木质素含量虽然比其他常见草类原料低,可以降低磨浆能耗,节省能源,但是木质素热解时产生儿茶酚和烷基儿茶酚,在抽吸时引起涩口且有促癌活性,所以尽可能降低原料中木质素含量,对再造烟叶物理性能、柔软性及评析性能均有正面影响.

表 1 不同原料的化学成分质量分数

Tab.1 The chemical composition of different materials

原料	灰分	冷水抽出物	热水抽出物	苯醇抽出物	综纤维素	聚戊糖	木素
烟梗	16.71	46.91	58.09	5.43	43.96	7.39	14.76
烟末 ^[20]	21.55	45.14	56.07	12.69	32.20	7.31	11.88
麦草 ^[20]	6.04	5.36	23.15	0.15	58.80	25.56	22.34
荻苇 ^[20]	2.78	7.19	8.41	—	74.56	23.15	19.63
芒杆 ^[20]	3.15	8.21	10.80	2.50	73.79	17.39	19.64

2.2 紫外分光光度法确定最大吸收波长

图 1 为离子液体和木质素吸光度曲线.其中以去离子水为参比所作的离子液体-水溶液吸光度曲线表明,离子液体-水溶液的最大吸收峰在 209 nm 处,在 240~400 nm 范围内没有明显的吸收峰存在.

根据以离子液体为参比所作的木质素标准液吸光度曲线判断,烟梗木质素的最大吸收峰在 280 nm 处,而离子液体的最大吸收峰在 209 nm 处,在 280 nm 处吸收峰值非常小,对木质素干扰很低,因此选取测定波长 280 nm 较佳,因为在此波长下既可避免本底干扰又能确保其较高的灵敏度.

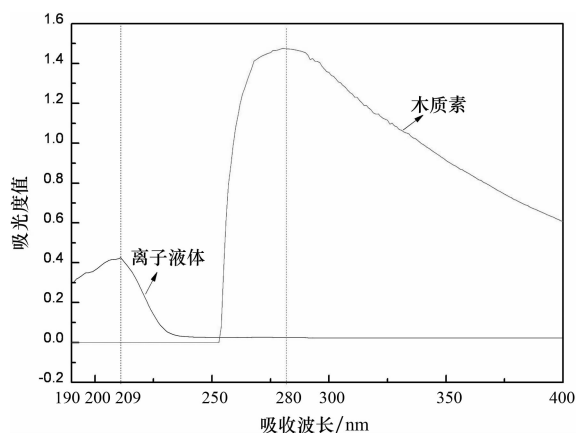


图 1 离子液体和木质素吸光度曲线

Fig.1 The absorbance curve of ionic liquid and lignin

2.3 液相木质素标准浓度曲线

取不同量的 1.5.3 中的木质素标准液,分别用离子液体定容至 20 mL,再取 5 mL 定容后的试样至比色皿中,以离子液体为参比在波长 280 nm 处测定其吸光度值,重复实验 3 次并以木质素浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标作图,得到烟梗木质素

含量与吸光度之间线性关系曲线,见图 2.

图 2 中烟梗木质素含量与吸光度关系曲线方程为 $y=4.05317x-0.00307$, $R^2=0.99861$.其中 x 为离子液体中木质素浓度; y 为测定时木质素吸光度值,待测溶液应该稀释适当倍数,使 y 介于 0.2~0.7 之间.

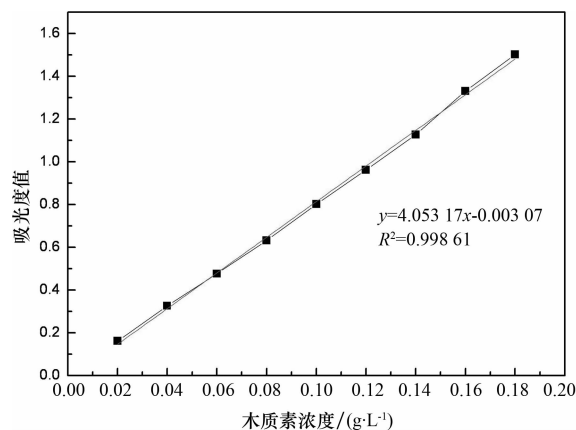


图 2 吸光度值与木质素浓度关系曲线

Fig.2 The curve of the absorbance and the lignin concentration

2.4 烟梗中木质素的去除

2.4.1 烟梗中木质素去除的工艺条件优化

确定离子液体对木质素的去除效果时,一般是采用测定固相木质素含量差值的方法,即测定处理前后烟梗中木质素含量,从而计算出木质素的去除率.而固相木质素的测定一般涉及复杂的原料预处理过程,测定时间较长,因此采用紫外分光光度法直接测定处理烟梗后的离子液体中木质素含量,将大大提高工艺的可控性.

在前期单因素实验研究的基础上,确定 3 个对

去除效果影响可能最大的因素:浸渍温度、浸渍时间和浸渍料液比.利用微波催化合成萃取仪采用三因素三水平正交试验($L_9 3^4$)来确定浸渍温度、浸渍时间和浸渍料液比对烟梗中木质素去除率的影响.实验中各因素设定3个水平,正交试验条件见表2.以离子液体为参比,取1 mL反应后的液体用离子液体稀释数倍,测定各样品在280 nm处吸光度值,根据木质素标准浓度曲线计算出离子液体中木质素含量,得出木质素的去除率见表3.

表2 烟梗中木质素去除的正交试验条件

Tab.2 The Orthogonal test conditions for the removal of lignin from tobacco stems

水平	A 浸渍温度/ $^{\circ}\text{C}$	B 浸渍料液比 ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	C 浸渍时间/min
1	70	1:10	15
2	80	1:15	20
3	90	1:20	25

表3 烟梗中木质素去除的正交试验结果

Tab.3 The orthogonal test results for the removal of lignin from tobacco stems

试验号	A 浸渍温度/ $^{\circ}\text{C}$	B 浸渍料液比 ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	C 浸渍时间/min	去除率/%
1	70	1:10	15	12.62
2	70	1:15	20	16.98
3	70	1:20	25	18.83
4	80	1:10	20	18.68
5	80	1:15	25	22.60
6	80	1:20	15	19.74
7	90	1:10	25	23.08
8	90	1:15	15	22.83
9	90	1:20	20	23.62
k_1	16.14	18.13	18.40	—
k_2	20.34	20.80	19.76	—
k_3	23.18	20.73	21.50	—
R	7.04	2.67	3.10	—

由表3可知,各因素对烟梗去除率影响的重要性依次为:浸渍温度、浸渍时间、浸渍料液比,但当浸渍温度超过 90°C 时,由于搅拌不均匀导致受热不均,部分烟梗会炭化,对后期的打浆抄片影响较大;另外温度越高,反应所需的能耗更大,对设备的要求也更高.因此,烟梗中木质素去除的最佳工艺条件为 $A_2B_2C_3$:浸渍温度 80°C ,料液比1:15,浸渍时间25 min.取此条件下处理烟梗后的离子液体,根据木质素标准浓度曲线计算出木质素的去除率为22.60%.

2.4.2 验证实验

为了验证液相木质素含量快速测定方法的准确性,采用酸不溶木素(克拉森木素)含量的测定方

法和酸溶木素含量的测定方法,对最佳工艺条件下用离子液体处理后的烟梗和热水抽提后的烟梗中的固相木质素含量进行了测定,重复实验3次并计算木质素的去除率见表4.

表4 烟梗经不同溶剂处理后木质素的去除率

Tab.4 The dissolution rate of lignin from tobacco stems treated with different solvents

试样	木素含量					去除率/%
	1	2	3	平均值	标准偏差	
原烟梗	14.56	14.89	14.83	14.76	0.18	—
离子液体处理烟梗	11.25	11.53	11.48	11.42	0.15	22.63
热水抽提烟梗	13.94	14.16	14.21	14.1	0.14	4.47

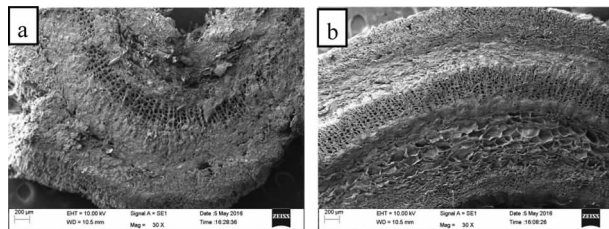
由表4可知,对最佳工艺条件下离子液体处理后的烟梗中固相木质素含量进行测定,得出木质素的去除率为22.63%,与采用木质素标准浓度曲线法测定木质素的去除率相符,说明采用离子液体紫外-可分光光度法测定烟梗中木质素含量的准确性较高.

烟梗经热水抽提后,抽出物主要为部分无机盐类、糖、植物碱、色素及多糖类物质等.由于热水抽提时温度较高,时间较长,所以有微量木质素附着在这些水溶性物质表面一起的溶出.而离子液体具有弱碱性,除了能溶出烟梗中能被水溶出的物质外,还可以溶出部分木素、聚无糖、糖醛酸等.因此,在最佳工艺条件下经离子液体处理后的烟梗,其木质素的去除率较高,约为热水抽提的5倍,说明弱碱性离子液体能有效去除烟梗中木质素.

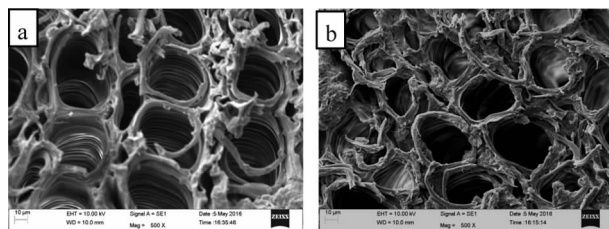
2.5 烟梗经离子液体处理前后微观形态对比

图3为离子液体处理前后的烟梗电镜扫描结果.其横切面外貌形态如图3(A)所示,从内至外,分别为导管组织、厚角组织与表皮组织,外形特征差别较大,作为“粘合剂”和“填充剂”的木质素主要位于胞间层和微细纤维之间.原烟梗各组织之间彼此紧密粘连,草类原料的结构特征较突出;经离子液体处理后,覆盖在细胞壁上的、细胞腔内的有机物如蜡质层、果胶、植物碱等可溶性物质被溶解,同时填充在胞间层及微细纤维之间的木质素被大量溶出,使得其细胞壁轮廓更清晰,结构更疏松.由图3(B)可知原烟梗中导管填充物多,结构比较稳定,间隙小;离子液体烟梗中的部分有机物被溶出,螺纹表面变得粗糙、松弛,导管间的间隙几乎消失,导管坍塌变形.从图3(C)可以看出,原烟梗的厚角组织细胞排列紧密,细胞周围充满了颗粒状的有机物

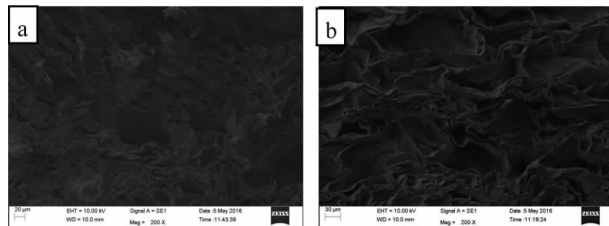
质,结构紧实;离子液体提取作用明显,厚角组织中的大量可溶物被提取出来,作为粘合剂的木质素也被溶出,使得原本粘连在一起的细胞壁转变成膨胀的叠状,细胞结构呈薄片状,体积蓬松.图 3(D)为烟梗试样的纵切面电镜图,原烟梗纤维表面光滑,且明显覆盖着草本植物蜡质形成层;而离子液体烟梗纤维表面蜡质层消失,整体结构仍然完整,但细胞中空明显,细胞壁更薄,纤维轮廓更清晰,导管表面物质溶解使螺纹清晰可见.



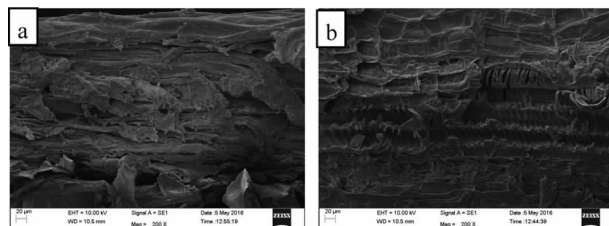
(A)烟梗横切面全貌($\times 30$)



(B)烟梗导管组织横切面($\times 500$)



(C)烟梗厚角组织横切面($\times 200$)



(D)烟梗纵切面($\times 200$)

图 3 离子液体处理前后烟梗扫描电镜分析图像

(a:原烟梗,b:离子液体烟梗)

Fig.3 The SEM analysis image of tobacco stem before and after the treatment with ionic liquid

(a: The original tobacco stem,

b: The ionic liquid tobacco stem)

3 结 论

1)建立了一种快速、准确的液相木质素紫外分光光度定量分析方法,在一定范围内,该方法测量离子液体中烟梗木质素含量准确度较高.

2)通过正交试验确定了最佳的烟梗木质素去除条件,在此最佳条件下,烟梗木质素的去除率达到 22.60%,其溶解去除率约为常规热水提取的 5 倍.并且经离子液体处理后,烟梗纤维间的填充物大量脱除,纤维轮廓更清晰,更有利于后续原料打浆及烟气品质控制.

参考文献

- [1] 许日鹏,苏文强,段继生.烟草薄片的开发与应用[J].上海造纸,2008,39(6):46-49.
XU Ripeng, SU Wenqiang, DUAN Jisheng. Development and application of tobacco sheet[J]. Shanghai Paper Making, 2008, 39(6):46-49. (In Chinese)
- [2] 韩文佳,赵传山.造纸法烟草薄片发展现状[J].黑龙江造纸,2007(4):47-49.
HAN Wenjia, ZHAO Chuanshan. Development status of tobacco sheet in papermaking process[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2007(4):47-49. (In Chinese)
- [3] 缪应菊,刘维涓,刘刚,等.烟草薄片制备工艺的现状[J].中国造纸,2009,28(7):55-60.
MIAO Yingju, LIU Weijuan, LIU Gang, *et al.* Present status of preparation technology of reconstituted tobacco[J]. China Pulp and Paper, 2009, 28(7):55-60. (In Chinese)
- [4] 孙霞,苏文强.造纸法烟草薄片提取技术研究[J].湖北造纸,2010,2:13-15.
SUN Xia, SU Wenqiang. Study on the extraction technology of tobacco thin slices[J]. Hubei Paper Making, 2010(2):13-15. (In Chinese)
- [5] WANG Huawen. The effect analysis of paper process reconstituted tobacco using in cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2000(8):15-17.
- [6] 侯轶,李友明,李启明,等.乙醇水溶液提取烟草废弃物的研究[J].烟草科技,2013(11):56-60.
HOU Yi, LI Youming, LI Qiming, *et al.* Study on the extraction of tobacco waste by ethanol aqueous solution[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(11):56-60. (In Chinese)
- [7] 刘志昌,毛耀,王磊,等.烟梗中木素的结构分析[J].中国造纸,2014,33(1):31-33.
LIU Zhichang, MAO Yao, WANG Lei, *et al.* Study on the structure of MWL of tobacco stem[J]. China Pulp and Paper, 2014, 33(1):31-33. (In Chinese)
- [8] 臧亚楠,孔宁川,李地艳,等.烟草木质素的研究概况[J].云南农业大学学报,2015,30(5):822-828.
ZANG Yanan, KONG Ningchuan, LI Diyan, *et al.* Advanced

- researches on lignin of tobacco[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2015, 30 (5): 822-828. (In Chinese)
- [9] 陈清, 刘巍, 钟科军. 基于烟草中致香成分的人工神经网络分类模型[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2006, 33 (2): 103-104.
CHEN Qing, LIU Wei, ZHONG Kejun. A neural network recognition model based on aroma components in tobacco [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2006, 33 (2): 103-104. (In Chinese)
- [10] 陈洪, 许平, 马清仪, 等. 微生物酶法降解烟草总植物碱试验[J]. 烟草科技, 2004(4): 12-16.
CHEN Hong, XU Ping, MA Qingyi, *et al.* Experiment on degradation of nicotine in tobacco leaves with microorganism enzymes isolated from tobaccos[J]. Tobacco Science & Technology, 2004(4): 12-16. (In Chinese)
- [11] 赵铭钦, 李晓强. 烟叶微生物发酵机理及生物制剂应用研究进展[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(6): 84-91.
ZHAO Mingqin, LI Xiaoqiang. Review of the action mechanisms of microbe in tobacco fermentation and application of biologic preparation[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2007, 42 (6): 84-91. (In Chinese)
- [12] 王仁佑, 刘剑潇, 黄红丽, 等. 鼠李糖脂对两株木质素降解菌产酶能力的影响[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2008, 35(10): 70-74.
WANG Renyou, LIU Jianxiao, HUANG Hongli, *et al.* Effect of rhamnolipid on the enzyme production of two special of ligin-degrading fungi[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2008, 35(10): 70-74. (In Chinese)
- [13] 孙先玉, 孙博, 李冬玲, 等. 造纸法再造烟叶加工技术研究进展[J]. 生物质化学工程, 2011, 45(6): 49-56.
SUN Xianyu, SUN Bo, LI Dongling, *et al.* Research progress on processing technologies of reconstituted tobacco [J]. Biomass Chemical Engineering, 2011, 45(6): 49-56. (In Chinese)
- [14] 王小飞, 常岭, 王相凡, 等. 造纸法再造烟叶原料烟梗木质素的弱碱脱除研究[J]. 食品工业, 2013, 34(9): 10-12.
WANG Xiaofei, CHANG Ling, WANG Xiangfan, *et al.* Alkali removal of raw tobacco tobacco stalk lignin reconstituted[J]. The Food Industry, 2013, 34(9): 10-12. (In Chinese)
- [15] PU Yunqiao, JIANG Nan, ARTHUR J R. Ionic liquid as a green solvent for lignin[J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2007, 27(1): 23-33.
- [16] 李汝雄. 绿色溶剂-离子液体的合成与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 24-29.
LI Ruxiong. Synthesis and application of green solvent ionic liquid[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 24-29. (In Chinese)
- [17] 许俊鑫, 李友明, 侯轶. 紫外分光光度法快速测定[Mmim] DMP 离子液体纯度的研究[J]. 中国造纸, 2014, 33(11): 33-37.
XU Junxin, LI Youming, HOU Yi. Determination of the purity of [Mmim] DMP ionic liquid rapidly by utilizing ultraviolet spectrophotometry [J]. China Pulp and Paper, 2014, 33(11): 33-37. (In Chinese)
- [18] 郑永杰, 马林, 寇霄腾, 等. 高沸醇溶剂法提取烟梗中木质素的研究 [J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2012, 27(5): 51-54.
ZHENG Yongjie, MA Lin, KOU Xiaoteng, *et al.* Extraction of lignin from tobacco stem with high boiling solvent[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry : Natural Science Edition, 2012, 27(5): 51-54. (In Chinese).
- [19] GUO Jingbo, TAO Zongya, LUO Xuegang. Analysis of bamboo lignin with FTIR and XPS[J]. Acta Chimica Sinica, 2005, 63(16): 1536-1540.
- [20] 刘晓峰, 李友明, 侯轶, 等. 烟梗、烟末和烟棒的纤维特性[J]. 烟草科技, 2014(6): 8-14.
LIU Xiaofeng, LI Youming, HOU Yi, *et al.* Fiber properties of tobacco stems, power and rods[J]. Tobacco Science & Technology, 2014(6): 8-14. (In Chinese)