

# 烟梗处理技术研究进展

闫瑛 (河南卷烟工业烟草薄片有限公司, 河南许昌 461000)

**摘要** 烟梗是部分卷烟及造纸法再造烟叶的主要组成部分, 其在减少卷烟产品中烟草有害成分释放量和降低卷烟成本方面发挥了重要作用, 从烟梗处理技术的必要性和处理方法 2 个方面进行介绍, 阐述物理法、化学法、生物法、物理化学法、物理生物法以及化学生物法几种烟梗处理技术的研究进展, 并对烟梗处理技术进行展望。

**关键词** 卷烟; 造纸法再造烟叶; 烟梗处理

中图分类号 TS49 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)32-0020-04

## Research Progress on Advanced Technology for Tobacco Stem Pretreatment

YAN Ying (Henan Cigarette Industry Tobacco Sheet Co., Ltd., Xuchang, Henan 461000)

**Abstract** Tobacco stem is the main component of cigarette and reconstituted tobacco, which plays an important role in reducing release of harmful components in cigarette products and cigarette cost. The necessity of tobacco stem treatment technology and treatment methods were reviewed in this paper. The research progress of tobacco stem treatment technologies such as physical method, chemical method, biological method, physical-chemical method, physical-biological method, chemical-biological method were mainly discussed. Besides, the pretreatment technology of tobacco stem was foreseen.

**Key words** Cigarette; Reconstituted tobacco; Tobacco stem pretreatment

烟草是一种农业经济作物, 全球每年产量约为 500 万 t, 我国烟草年产量已超过 1.5 万 t, 鉴于卷烟行业对烟草中烟叶的大量使用, 使得烟草在加工利用过程中产生大量的如烟杆、烟梗、烟叶碎片等副产品, 若这些副产品得不到有效利用, 则造成资源的浪费和严重的环境污染<sup>[1-3]</sup>。因此, 探索有关这些烟草副产品的利用技术具有重要意义。

烟梗是烟叶之粗硬叶脉, 占叶重的 25%~30%<sup>[4]</sup>。目前, 烟梗已成为卷烟及造纸法再造烟叶原料的主要组成部分, 并且实现工业化生产, 在减少卷烟产品中烟草有害成分和降低卷烟成本方面发挥重要作用<sup>[5]</sup>。随着烟梗膨胀造粒技术<sup>[6-7]</sup>、烟梗制丝技术<sup>[8]</sup>及造纸法再造烟叶<sup>[9]</sup>等烟梗应用技术的发展, 烟梗处理技术研究成为国内外科研工作者关注的热点。

### 1 烟梗处理技术的必要性

相比于烟叶, 烟梗主要成分是细胞壁物质, 包括综纤维素、木素和果胶等, 其在烟梗中约占 43.8%, 这类物质热裂解会产出较多的低级醛类, 在燃吸时产生刺激性的呛咳。另外, 木素热解产生的儿茶酚和烷基儿茶酚, 引起涩口且具有促癌活性; 果胶分解会产生甲醇、乙酸等有害物质, 对卷烟的吸食品质带来严重影响, 进而影响烟梗在造纸法再造烟叶及卷烟原料中的使用价值<sup>[4, 10-12]</sup>。

烟梗中的细胞壁物质(综纤维素、果胶等)是一类高分子量、难水解的多糖<sup>[13]</sup>, 其纤维素和果胶含量远高于烟叶, 影响烟梗吸食品质<sup>[14]</sup>。烟梗中木质素含量也较高, 木质素的存在除对梗丝和造纸法再造烟叶感官呼吸品质带来如木质气严重、杂气增加、吸味呛咳、刺激性明显等不利影响外<sup>[15-16]</sup>, 还会导致烟梗用于造纸法再造烟叶生产时, 烟梗纤维难以疏解、分散, 纤维束含量较多, 纤维切断、破碎严重, 部分细小梗粒未经充分疏解便从齿槽中溜走, 增大生产过程能

耗, 影响片基强度, 进而影响纸机运行速度和运行稳定性<sup>[17]</sup>。烟梗提质是改善梗丝和造纸法再造烟叶品质, 提升其在卷烟中用量、降低卷烟有害成分释放量的重要途径<sup>[18]</sup>。因此, 根据产品风格及加工工艺需要, 对烟梗原料或其浆料进行针对性处理是有必要的。

### 2 烟梗处理技术方法

目前, 烟梗处理技术主要分为物理法、化学法、生物法和上述方法的结合应用。通过烟梗处理技术有效调控烟梗及其制品的物理、化学指标, 进而使其在进一步使用过程中达到理想的处理效果, 改善产品感官质量<sup>[19-20]</sup>。

**2.1 物理法烟梗处理技术** 利用物理法处理烟梗主要是借助水、蒸汽、微波、超声波等高温、高压、高湿环境提高烟梗的耐加工性或改变其微观结构及理化性质, 改善烟梗的感官质量, 增加其适用性。常见的物理法烟梗处理技术主要有烟用梗丝加工工艺中的烟梗预处理技术、梗丝再造技术及微波膨胀处理技术、蒸汽爆破处理技术和超声波处理技术等。

在卷烟厂制梗丝过程中, 烟梗预处理工序可以去除烟梗表面灰尘、沉淀出烟梗中金属和非金属杂物, 增加烟梗的含水率和温度, 提高烟梗的柔韧性和耐加工性, 从而满足压梗和切梗丝的工艺要求<sup>[21]</sup>。烟梗预处理工艺设备、工艺方法、工艺条件等均会对烟梗预处理的效果带来影响。朱高承等<sup>[22]</sup>提出一种立式双仓式螺旋浸梗机, 能有效去除烟梗表面尘土、表皮腊质等, 且浸梗时间可调, 浸梗效果更好, 浸梗后烟梗含水率稳定性大大改善, 储梗时间缩短 50%, 烟梗回透率也大幅提升。李军等<sup>[23]</sup>针对传统浸梗机可调整的烟梗回潮时间跨度不能满足部分原料烟梗的加工要求, 对过渡水槽进行结构优化, 改变烟梗的强制浸泡距离, 并结合浸泡机构运行速度调整, 增大浸梗机内烟梗回潮时间跨度(从 20~120 s 增大至 5~120 s), 进一步提高浸梗设备使用的灵活性和对原料的适应性。针对浸梗时原料烟梗的不一致性及细胞壁结构紧密, 普通大分子团的水分难以渗透到烟梗内部的问题, 滕州卷烟厂与山东丰硕环保科技有限公司利用永久强

**作者简介** 闫瑛(1989—), 女, 陕西宝鸡人, 助理工程师, 硕士, 从事造纸法再造烟叶工艺研究。

**收稿日期** 2018-09-14; **修回日期** 2018-10-11

磁小分子团水处理器改进浸取工艺,结果表明,使用小分子团水浸梗,当浸梗时间 90 s,浸梗水温 60 ℃,贮梗时间 3.5 h 时,不经整梗工序,烟梗回透率达 99.3%<sup>[24]</sup>。卷烟厂制梗丝时针对浸梗工序,不管是处理设备的改进,还是新型工艺技术的开发研究,在提高烟梗回透率和耐加工性方面都有显著作用,实际应用过程中可以将设备改进与新型工艺技术开发、引入相结合,在此基础上研究得到最佳的浸梗工艺条件,并应用于实际生产。

梗丝再造技术是以创新梗丝工艺技术、提高梗丝使用价值为出发点,去除梗丝用于卷烟时燃烧后香气不足、杂气过重、刺激性较大等不良影响,使梗丝针对性地补充烟叶致香成分,将梗丝制成具有叶丝的某些特性的改性梗丝,实现梗丝内在成分的重组,减少卷烟杂气、浓度、香气、刺激性等指标的劣化<sup>[25]</sup>。谷超林等<sup>[26]</sup>对再造梗丝与普通梗丝的使用性能进行对比研究发现,再造梗丝对感官质量的影响优于普通梗丝,尤其是对劲头、浓度、杂气的影响方面是一种良好的卷烟原料,但是其降焦效果弱于普通梗丝,可以和普通梗丝配比使用。再造梗丝生产过程中,根据不同卷烟品牌或是烟香风格的需要,可以通过烟梗洗涤工序的工艺条件设定,料液回填工序,料液成分的灵活控制、调节实现对烟梗理化属性以及感官品质的有效调控。

微波膨胀处理烟梗技术由美国的 Roger 等<sup>[27]</sup>于 1968 年提出,该技术采用 8%~16% 含水率的烟梗,并用水或蒸汽将烟梗表皮浸湿 5~60 s,在  $\geq 100$  ℃ 及一定压力下进行膨胀处理,结果发现,微波膨胀处理使烟梗发生不可逆的外形膨胀变化,同时对烟梗细胞壁与表皮组织的分离具有一定的作用,膨胀后烟梗用于卷烟后,储存过程中烟梗结构稳定,未出现收缩变形。Zi 等<sup>[28]</sup>研究得到微波膨胀处理烟梗的最佳工艺条件为:蒸汽压力 0.35 MPa、微波功率 6 kW、圆筒转动频率 15 Hz,此时,烟梗膨胀率可达 261.12%。高锐等<sup>[29]</sup>研究微波膨胀对烟梗品质的改善作用,在膨胀时间 45 s、烟梗含水率 20%、微波功率 630 W 的条件下烟梗膨胀率为 4.24 倍,烟梗组织结构疏松至破损,薄壁组织出现部分分离,相比处理前更有利于后续工艺中与试剂发生反应或更易进行打浆处理,烟梗总糖含量降低,致香成分、有机酸等相对含量均较处理前有明显提高,感官评吸杂气明显减弱,余味和舒适性明显改善。

蒸汽爆破处理烟梗技术由美国的 Josefsson 等<sup>[30]</sup>提出,它可以将植物木质化纤维分离成纤维素、木素、半纤维素等。高压蒸梗可以促进烟梗中糖、果胶、木质素等大分子物质降解,产生更多的中性香味成分,提升烟梗感官品质及使用率<sup>[31]</sup>,高温、高压环境有利于烟梗发生非酶促棕色化反应,致使烟梗热水、乙醇可溶物含量提升,产品感官品质得到改善,处理后烟梗结构更为疏松,增大烟梗与反应试剂的接触面积,提升后续反应效率<sup>[32]</sup>。宋光富等<sup>[33]</sup>在不同压力条件下,分析蒸汽爆破对烟梗常规化学成分含量、香味成分含量以及显微结构的影响,结果表明,蒸汽爆破处理使烟梗中的还原糖、总糖含量分别降低 21.63%、23.46%;苯乙醛、糠醇、5

-甲基糠醛、2-乙酰基呋喃和糠醛等香味成分含量分别增加 34.25%、102.97%、380.49%、76.24% 和 139.39%;烟梗组织结构疏松,细胞壁呈现不规则撕裂或明显断裂。另外,烟梗经蒸汽爆破处理后,半纤维素含量降低最多可达 49.5%,纤维素和木质素含量最大降幅也分别达 26.5% 和 26.0%,卷烟样品具有较好的评吸品质<sup>[34]</sup>。

超声波作为一种重要的处理方法已广泛用于有机合成、生物化学和石油化工等领域,超声波处理可以改变木质素大分子的结构,将超声技术应用于碱木素的活化,可以提高木素的反应活性<sup>[35-37]</sup>。超声波用于烟梗处理方面的研究吸引了广大科研工作者的热切关注,但单纯采用超声波处理烟梗的技术鲜有报道,超声波法一般与物理、化学、生物酶法等结合用于烟梗的处理<sup>[38]</sup>。

微波膨胀处理烟梗技术、蒸汽爆破处理烟梗技术以及超声波处理烟梗技术,针对烟梗存在的固有质量缺陷,在使烟梗组织结构疏松化、增加比表面积、改善感官质量方面都有显著效果,但是这 3 种处理技术反应条件与处理后烟梗的物理外观、感官评吸性能变化之间的具体关系研究尚缺乏系统性,从而制约这些处理技术工业化、规模化应用。微波膨胀处理和蒸汽爆破处理技术目前已在膨胀烟梗丝(粒)加工方面有工业化应用实例,但是微波膨胀处理技术受微波设备功率限制,在线单机生产规模较小,且设备和过程工艺控制缺乏精确性,能量控制不当就会导致部分烟梗加热过度,发生碳化<sup>[39]</sup>,进而影响其感官品质。因此,微波膨胀处理、蒸汽爆破、超声波处理烟梗技术研究以及工业化生产设备、工艺性能优化提升存在较大空间。

**2.2 化学法烟梗处理技术** 化学法处理烟梗后,烟梗纤维中的细胞壁物质以及蛋白质等有效降解,燃烧时杂气释放量降低,烟梗纤维细胞壁结构发生改变,更易在加工过程中进行疏解、解纤,纤维机械损伤降低、柔韧性增强,制备得到的梗丝及再造烟叶丝填充值增加,卷烟产品燃烧性能增强<sup>[40]</sup>。碱处理是利用稀氢氧化钠溶液或氨水溶解木质原料中的木质素,使木质素的高分子有机化合物结构破坏,木质素中的多种醚键受亲核试剂  $\text{OH}^-$  离子的作用而断开,木质素大分子得到降解,另外,随着木质素的脱除,尤其是达到一定反应温度时,纤维素配糖键以及纤维素、半纤维素的还原性末端葡萄糖基也会发生部分断裂<sup>[41-42]</sup>。经碱性试剂处理后的烟梗制备得到的梗丝用于卷烟时,卷烟的燃烧性能明显提高、灰度值降低<sup>[43]</sup>。范运涛等<sup>[40]</sup>采用脲碱法(尿素  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  和碱化合物)在贮藏过程中对烟梗进行处理,结果表明,烟梗经处理后制备得到的造纸法再造烟叶总糖、还原糖、果胶、酸不溶木素等含量均降低,降幅均大于 5%;透气度增幅达 28%;处理后造纸法再造烟叶感官品质有效提升。Vanetter 等<sup>[44]</sup>采用 NaAC、NaOH、KOH 溶液的 2 种或 2 种以上混合溶液处理烟梗,当采用 NaOH/KOH 溶液对自肋烟烟梗进行处理后,相比热水处理,烟梗中氮含量由 2.13% 降至 1.05%,且抄造得到的再造烟叶物理性能有所改善,切片时不易破碎,强度也有所提高。

化学法烟梗处理技术因添加方式易于操作,不涉及新增大型主机设备,所以相比物理法烟梗处理技术更便于在工业生产中实现,但是化学法处理烟梗技术在试剂种类选择、处理量确定和处理试剂在添加过程中是否引入其他外源物等方面,还需做更深层次研究。

**2.3 生物法烟梗处理技术** 生物法烟梗处理方面的研究目前多集中于利用专一性较强的酶制剂进行烟梗细胞壁物质的降解<sup>[45-46]</sup>和利用微生物制剂改善烟梗品质方面<sup>[47]</sup>。

Silberman等<sup>[48]</sup>采用多糖水解酶处理烟梗,相比处理前,经多糖水解酶处理后的烟梗制备得到的卷烟主流烟气总粒相物(TPM)显著降低。许春平等<sup>[49]</sup>采用青霉产果胶酶降低烟梗、末中的果胶含量,通过单因素和正交试验确定酶解最佳条件,果胶降解率达到38.92%,酶解后烟梗、末的热裂解产物中乙酸含量降低,香味物质吡咯含量升高,烟草薄片吸食口感得到改善。于建军等<sup>[50]</sup>利用单因素试验和响应面法优化漆酶降解梗丝木质素的工艺条件,在该条件下,梗丝木质素实测降解率达55.05%,处理后梗丝制成的单料烟香气质改善、香气量提升,余味改善,杂气、刺激性、浓度降低。此外,微生物发酵技术用于造纸法再造烟叶生产用烟草原料(烟梗、烟末、烟叶碎片等)的处理,可以分解原料中对品质不利的成分,降低造纸法再造烟叶的木质气与刺激性,改善再造烟叶产品的吸食口感<sup>[51]</sup>。

生物酶制剂可以根据烟梗原料的固有质量缺陷有选择地对烟梗中的纤维素、木素和果胶等细胞壁物质进行降解,但在实际工业化生产中,生物酶制剂对作用环境和反应条件的要求较为苛刻,其作用效果因影响因素不同而发生变化,所以这些问题都需要进一步研究。

**2.4 物理化学法、物理生物法、化学生物法烟梗复合处理技术** 为提高烟梗原料的有效利用率,改善卷烟及再造烟叶产品质量,众多科研工作者将研究焦点转移到采用物理化学法<sup>[52-53]</sup>、物理生物法<sup>[54]</sup>、化学生物法<sup>[55]</sup>等复合处理技术用于烟梗处理。

Honeycutt等<sup>[56]</sup>采用有机酸、氨气、磷酸氢二铵、柠檬酸铵、碳酸钾等1种或几种添加剂的混合溶液对烟梗进行处理,并通入高压饱和蒸汽,在压力1 379~2 758 kPa、温度193~223℃条件下反应1~8 min,然后迅速降压,使烟梗纤维细胞壁爆破,部分对烟气质量不利的大分子链断裂,减少烟梗中影响烟气质量的不利组分,形成有利的香气物质,经感官评吸,蒸汽爆破处理后烟气质量有较好的改善,采用烟梗化学法处理技术对烟梗进行处理,可以增强后续的蒸汽处理效果,且能形成有利的香气物质。HAN等<sup>[57]</sup>采用蒸汽爆破及搓丝方法对烟梗进行处理,处理后的烟梗采用果胶酶进行水解,结果表明,经蒸汽爆破及搓丝处理后,烟梗水解产物分别为0.139和0.127 g/g,相比未经处理的烟梗水解产物0.042 g/g要高得多,此外,通过SEM观察可知,烟梗经蒸汽爆破及搓丝处理后比表面积增大,有利于后续酶解反应的进行。姜林峰<sup>[55]</sup>用NaHCO<sub>3</sub>对烟梗进行处理后再采用漆酶酶解可有效提高酶解效率,木素脱除率由单独采用NaHCO<sub>3</sub>处

理时的19.12%提高至38.36%,处理后烟梗再采用中性蛋白酶酶解烟梗中的蛋白质,蛋白质脱除率达到31.76%,感官评吸结果表明,烟梗经弱碱、酶处理后,杂气、余味、刺激性方面均有所改善,木质素气息显著降低。

烟梗复合处理技术相比单独处理技术,发生两步反应,即先采用其中一种处理技术使烟梗结构发生变化、比表面积增加,或使烟梗中部分成分发生第一步反应,打开反应通道,进而为第二步处理创造反应条件。上述3种烟梗复合处理技术中,物理化学法更便于在卷烟及造纸法再造烟叶生产过程中实现工业化应用,但物理化学法烟梗处理技术工艺条件、工艺参数选择和设定,以及不同工艺条件组合方式对过程性产物和处理后烟梗理化性能、感官品质的影响及其作用机理方面还需做进一步研究。

### 3 结语

近年来,中式卷烟加工工艺已日渐成熟,烟梗作为中式卷烟及再造烟叶生产的一种重要原料,其处理技术的革新和突破是烟梗得到有效利用的关键,具体需解决的问题有以下四方面:①如何围绕烟梗中感官质量负面成分(纤维素、半纤维素、木质素、果胶等)的调控,开发出成熟的创新型烟梗处理技术,解决烟梗中不利的大分子物质对产品感官质量的负面影响;②借助烟梗处理技术,充分发挥烟梗在造纸法再造烟叶中的骨架、支撑作用,部分替代或全部替代外加纤维;③通过烟梗原料筛选、尺寸分析、预处理及浸取、制浆工序优化等手段,深入剖析烟梗纤维对造纸法再造烟叶基片及成品的贡献度;④开展烟梗处理技术系统性研究,挖掘现有和创新型烟梗处理技术与烟梗外观及感官品质变化之间的明确对应关系,为工业化、规模化生产应用以及生产过程工艺设备精确、稳定控制提供保障。

上述技术的研发及实现工业化生产应用,是烟梗处理技术今后需要研究的重点工作,也符合我国卷烟工业发展方向和需求,且具有重要、深远的意义。

### 参考文献

- [1] ZHANG K H, ZHANG K, CAO Y, et al. Co-combustion characteristics and blending optimization of tobacco stem and high-sulfur bituminous coal based on thermogravimetric and mass spectrometry analyses [J]. *Biore-source technology*, 2013, 131(3): 325-332.
- [2] LIU H L, E J Q, DENG Y W, et al. Experimental study on pyrolysis characteristics of the tobacco stem based on microwave heating method [J]. *Applied thermal engineering*, 2016, 106: 473-479.
- [3] MENG A H, ZHANG Y G, ZHUO J K, et al. Investigation on pyrolysis and carbonization of *Eupatorium adenophorum* Spreng and tobacco stem [J]. *Journal of the energy institute*, 2015, 88(4): 480-489.
- [4] 王凤兰, 王磊, 谢益民, 等. 碱法预处理烟梗纤维提高造纸法烟草薄片品质的研究 [J]. *中国造纸*, 2014, 33(2): 40-43.
- [5] 戴路, 陶丰, 袁凯龙, 等. 造纸法再造烟叶的研究进展 [J]. *中国造纸学报*, 2013, 28(1): 65-69.
- [6] 汤马斯·亨利·怀特. 一种制备烟梗膨胀的方法及所采用的设备: 200510118934.6 [P]. 2006-03-22.
- [7] ZI W H, ZHANG X L, PENG J H, et al. Optimization of microwave drying biomass material of stem granules from waste tobacco using response surface methodology [J]. *Drying technology*, 2013, 31(11): 1234-1244.
- [8] 叶鸿宇, 许峰, 张建中, 等. 成丝工艺参数对梗丝结构和卷烟吸阻稳定性的影响 [J]. *烟草科技*, 2013(11): 11-14.
- [9] NICOLAS B, GILBERT F, LAURENT W. Process for preparing flavoured reconstituted tobacco, and flavoured reconstituted tobacco obtained by this process: EP0242271 [P]. 1991-01-23.

- [10] 徐世涛,陈云娇,侯读成,等.利用微生物降解烟梗中细胞壁物质的响应曲面优化[J].食品工业,2017,38(2):45-49.
- [11] 闫克玉.烟草化学[M].郑州:郑州大学出版社,2002:50.
- [12] LENDVAY A T.Upgraded tobacco stem material and its method of preparation;US4244381[P].1981-01-13.
- [13] KERITSIS G D,SUN H H,WRENN S E.Process for enzymatic treatment of tobacco materials;EP0185486 [P].1986-06-25.
- [14] 程向红,王培锋,彭玉富,等.烟梗主要化学成分特征及其与巴豆醛释放量的关系[J].中国烟草科学,2018,39(1):85-90.
- [15] SCHLOTZHAUER W S,MARTIN R M,SNOOK M E,et al.Pyrolytic studies on the contribution of tobacco leaf constituents to the formation of smoke catechols[J].Journal of agricultural & food chemistry,1982,30(2):372-374.
- [16] 张素文.烟梗木质素降解工艺研究[D].广州:华南理工大学,2016:1,5.
- [17] 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.
- [18] 孙德城,龙明海,石志发,等.梗丝在卷烟减害降焦及提质中的应用[J].安徽农业科学,2017,45(14):83-86.
- [19] 英美烟草(投资)有限公司.减少烟草中含氮化合物和木质素的方法:CN03825007.1[P].2005-11-09.
- [20] 侯轶,刘超,李友明,等.碱性离子液体提取后烟梗纤维形态及抄造性能的变化[J].华南理工大学学报(自然科学版),2016,44(6):35-40.
- [21] 徐维华,罗登山.卷烟工艺规范[M].北京:中国轻工业出版社,2016:74.
- [22] 朱高承,解广雷,陈可金,等.一种立式双仓螺旋浸梗机[J].科技创新导报,2016(16):45-46.
- [23] 李军,武小松,安浩,等.一种增大浸梗机内烟梗回潮时间跨度的方法[J].中国高新区,2017(4):68.
- [24] 王学军,赵序勇,王广超.小分子团水浸梗工艺研究[J].科技创新导报,2016(4):6-7.
- [25] 上烟办.行业重点科技项目“梗丝再造工艺、装备及应用研究”通过国家局科技成果鉴定[N].东方烟草报,2016-10-17(001).
- [26] 谷超林,崔龙吉,刘文春,等.再造梗丝与普通梗丝使用性能对比研究[J].安徽农业科学,2018,46(18):171-173,193.
- [27] Roger Zygmunt de La Burde.Method of preventing the shrinkage of puffed tobacco and product obtained thereby;US3409027[P].1968-11-05.
- [28] ZI W H,PENG J H,ZHANG X L,et al.Optimization of waste tobacco stem expansion by microwave radiation for biomass material using response surface methodology[J].Journal of the taiwan institute of chemical engineers,2013,44(4):678-685.
- [29] 高锐,黄志强,王松峰,等.烟梗微波膨胀条件优化及其对烟梗化学成分和物理结构的影响[J].河南农业科学,2013,42(11):50-54.
- [30] JOSEFSSON T,LENNHOLM H,GELLERSTEDT G.Changes in cellulose supramolecular structure and molecular weight distribution during steam explosion of aspen wood[J].Cellulose,2001,8(4):289-296.
- [31] 张文军,周桂园,秦瑜,等.造纸法再造烟叶原料提升品质技术研究进展[J].工业技术创新,2017,4(1):174-176.
- [32] 赵春雷,苏瑶,寇霄腾,等.预处理方法对再造烟叶中烟梗品质的影响[J].食品与机械,2017,33(5):211-215.
- [33] 宋光富,李刚,李东亮,等.蒸汽爆破对烟梗化学成分含量及显微结构的影响[J].烟草科技,2013(1):42-45.
- [34] 李力,李东亮,冯广林,等.蒸汽爆破技术在烟梗加工中的应用[J].烟草科技,2013(1):42-45.
- [35] TISCHER P C S F,SIERAKOWSKI M R,WESTFAHL H,et al.Nano-structural reorganization of bacterial cellulose by ultrasonic treatment[J].Biomacromolecules,2010,11(5):1217-1224.
- [36] XU Y J,YAN Y,YUE X P,et al.Effects of ultrasonic wave pretreatment on the fibrillation of cellulose fiber[J].Tappi journal,2014,13(4):37-43.
- [37] 任世学,方桂珍.超声波处理对碱木素官能团含量的影响[J].中国造纸,2005,24(4):20-22.
- [38] 阮昕,李彪,侯读成,等.超声波耦合酶反应去除烟梗中果胶和纤维素的工艺优化[J].贵州农业科学,2015,43(2):145-149.
- [39] 吴雨松,和智君,董高峰,等.碳化现象对微波膨胀烟梗质量影响的研究[J].食品工业,2017,38(11):170-173.
- [40] 范运涛,张碰元,马东萍,等.利用脲碱法处理烟梗提高造纸法再造烟叶的品质[J].云南大学学报(自然科学版),2010,32(S1):168-173.
- [41] MCMILLAN J D.Pretreatment of lignocellulosic biomass[M]//HIMMEL M E,BAKER J O,OVEREND R P.Enzymatic conversion of biomass for fuels production.Oxford:Oxford University Press,1998.
- [42] 杨淑蕙.植物纤维化学[M].北京:中国轻工业出版社,2009:195,231.
- [43] 谭海风,徐永建,金勇,等.钾盐预处理对烟梗成丝及烟气的影响[J].纸和造纸,2015,34(9):39-43.
- [44] VANETTER B T,JOHN JR B K,RICHER C W,et al.A reduced protein reconstituted tobacco and method of making same;AU2001274289[P].2004-08-05.
- [45] PATYK E P,DLEJSKI J O,EJNICZAK W.Improving tobacco stems and stalks by enzymatic treatment[J].Przemysl spozywczy,1983,7(5):224-226.
- [46] 郝辉,王高杰,许春平,等.再造烟叶中果胶降解条件优化及其应用研究[J].食品与机械,2016,32(4):201-206.
- [47] MUA J P,HAYES B L,BRADLEY K J.A process for reducing nitrogen containing and lignin in tobacco;EP1545249[P].2009-07-15.
- [48] SILBERMAN H C.Process for the treatment of tobacco stems;US3513857[P].1970-05-26.
- [49] 许春平,刘远上,郝辉,等.生物酶法降解烟梗末中果胶的研究[J].食品与生物技术学报,2017,36(2):194-199.
- [50] 于建军,魏登辉,田斌强,等.响应面法优化漆酶降解梗丝木质素的工艺[J].烟草科技,2017(3):57-64.
- [51] 李丹,刘熙.生物技术应用于造纸法再造烟叶生产的研究进展[J].现代食品科技,2013,29(6):1463-1466.
- [52] DENIER R F,LITZINGER E F,ALFORD E D.Process for forming flavor compounds in tobacco;US4825884[P].1989-05-02.
- [53] ADEDEJI J A method for making a reconstituted tobacco sheet using steam exploded tobacco;EP1039811[P].2002-03-27.
- [54] LI D L,DAI Y,FENG G L,et al.Method for improving tobacco steam quality through combing steam explosion and enzyme threatement technology;WO 2012019420 [P].2012-02-16.
- [55] 姜林峰.烟梗中木质素及蛋白质的脱除[D].广州:华南理工大学,2017:42-43,55.
- [56] HONEYCUTT R H,SADLE E S,LITZINGER E F,et al.Process for steam explosion of tobacco stem;EPW01997004673[P].1997-02-13.
- [57] HAN Y Y,LI J,WANG B,et al.Improved enzymatic hydrolysis of tobacco stalk by steam explosion and thread rolling pretreatments[J].Cellulose chemistry and technology,2015,49(2):181-185.

(上接第 16 页)

- [17] KRAMCHOTE S,NAKANO K,KANLAYANARAT S,et al.Rapid determination of cabbage quality using visible and near-infrared spectroscopy[J].LWT-Food Science and Technology,2014,59(2):695-700.
- [18] 金同铭,刘玲,唐晓伟,等.用近红外光谱法测定大白菜的营养成分[J].华北农学报,1994,9(4):104-110.
- [19] 王多加,林纯忠,钟娇娥.近红外光谱法非破坏快速检测生菜中硝酸盐含量[J].食品科学,2004,25(10):239-241.
- [20] 胡东.韭菜表面农药残留的可见-近红外光谱分析方法研究[D].西安:西安科技大学,2015.
- [21] CHEN X J,WU J G,ZHOU S J,et al.Application of near-infrared reflectance spectroscopy to evaluate the lutein and  $\beta$ -carotene in Chinese kale[J].Journal of food composition and analysis,2008,22(2):148-153.
- [22] SAHAMISHIRAZI S,ZIKELI S,FLECK M,et al.Development of a near-infrared spectroscopy method (NIRS) for fast analysis of total,indolic,aliphatic and individual glucosinolates in new bred open pollinating genotypes of broccoli (*Brassica oleracea* convar.*botrytis* var.*italica*) [J].Food chemistry,2017,232:272-277.
- [23] SIRISOMBOON P,TANAKA M,KOJIMA T,et al.Nondestructive estimation of maturity and textural properties on tomato 'Momotaro' by near infrared spectroscopy[J].Journal of food engineering,2012,112(3):218-226.
- [24] KAVDIR I,LU R,ARIANA D,et al.Visible and near-infrared spectroscopy for nondestructive quality assessment of pickling cucumbers[J].Post-harvest biology and technology,2007,44(2):165-174.
- [25] SÁNCHEZ M T,TORRES I,DE LA HABA M J,et al.First steps to predicting pulp colour in whole melons using near-infrared reflectance spectroscopy[J].Biosystems engineering,2014,123:12-18.
- [26] 王凡,李永玉,彭彦昆,等.基于漫透射光谱技术的番茄可溶性固形物及总糖含量的无损检测[J].光谱学与光谱分析,2016,36(10):3185-3189.
- [27] 马兰,夏俊芳,张战峰,等.近红外光谱法无损检测番茄可溶性固形物含量的研究[J].湖北农业科学,2008,47(4):467-470.
- [28] 刘燕德,周延睿,潘圆媛.基于最小二乘支持向量机的辣椒可溶性固形物和维生素 C 含量近红外光谱检测[J].光学精密工程,2014,22(2):281-288.