



池哲翔,廖敏,史尚,等. 国外烟草活性成分提取及纤维材料利用研究现状与展望[J]. 轻工学报,2025,40(3):75-85.
CHI Z X, LIAO M, SHI S, et al. Current status and future perspectives on the extraction of active components and utilization of fiber materials from tobacco abroad[J]. Journal of Light Industry, 2025, 40(3): 75-85.
DOI: 10. 12187/2025. 03. 009

国外烟草活性成分提取及纤维材料利用研究现状与展望

池哲翔¹, 廖敏², 史尚³, 李声毅⁴, 廖芸², 丁冬¹

1. 国家烟草专卖局, 北京 100045;
2. 江西省烟草公司赣州市公司, 江西 赣州 341000;
3. 徐州医科大学 管理学院, 江苏 徐州 221004;
4. 江西中烟工业有限责任公司 营销中心, 江西 南昌 330096

摘要: 针对烟草资源多用途开发与利用的关键问题, 从烟草活性成分提取、纤维材料利用方面对国外技术研发现状进行梳理, 指出: 烟草活性成分包括烟碱、茄尼醇、多酚、蛋白、四酰基蔗糖酯、类活性成分(叶绿体、线粒体)等, 其中, 烟碱、绿原酸、茄尼醇含量和附加值均较高, 且提取工艺较简单, 在农药、医药、烟草制品添加物等领域具有较大的市场空间, 国外已广泛实现产业化运营; 纤维材料的利用包括动物饲料、纸张、纤维板、刨花板、硝化纤维、低聚木糖、生物炭有机肥等, 其中, 制备生物炭有机肥、纸张和纤维板是其规模利用的主要研究方向, 技术较成熟, 但生产成本相对较高, 目前国外已有产业化的初步探索。未来, 在进一步推动烟草多用途利用产业化发展时, 围绕新型烟草制品添加物、医药用途场景, 烟碱、茄尼醇和烟草致香成分提取是重要研究方向; 围绕饲料应用场景, 烟草新品种培育是重要发展方向; 围绕大农业应用场景, 基于烟草废弃物的多功能耦合的生物炭有机肥的开发是重要发展方向; 此外, 在成本许可范围内, 增强型纸张和纤维板未来也将是烟草资源多用途利用的重点研发方向之一。

关键词: 烟草活性成分提取; 纤维材料; 多用途利用

中图分类号: TS42 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2025)03-0075-11

0 引言

烟叶是烟草工业的重要原料, 主要用于生产各类烟草制品。据报道, 2023 年, 全球烟叶产量约为

2.61×10^5 kg(除中国外), 同比增长 15.2%^[1]。但自 2000 年以来, 全球烟草使用率和吸烟率呈持续下降态势, 导致烟叶供应过剩^[2], 同时其作为植物本身的原料属性也没有得到充分发挥。目前, 烟草多用途利

收稿日期: 2024-04-02; 修回日期: 2024-07-26; 出版日期: 2025-06-15

基金项目: 中国工程科技发展策略河南研究院战略咨询研究项目(2023HENZDB01); 河南省重点研发与推广专项项目(602024AS0150); 国家烟草专卖局重点研发项目(110202102048, 110202102051); 国家烟草专卖局、中国烟草总公司首席科学家创新专项项目(602022CK0550)

作者简介: 池哲翔(1989—), 男, 福建省三明市人, 国家烟草专卖局经济师, 博士, 主要研究方向为烟草行业产品质量监督、质量基础设施与科技创新评价。E-mail: chizx12@126.com

通信作者: 丁冬(1987—), 男, 山东省栖霞市人, 国家烟草专卖局高级经济师, 博士, 主要研究方向为三农问题、烟草经济。E-mail: dingdong0923@126.com

用已成为国内外烟草产业技术研发和储备的重点领域之一,各大烟草企业纷纷致力于烟草的多用途开发和利用^[3],雷诺兹烟草公司和英美烟草公司分别在 2008 年和 2014 年启动和实施了烟草重组项目和烟草多元化项目相关战略研究,积极谋划布局烟草在卷烟以外的其他应用场景^[4]。国外学者对烟草的多用途利用也取得了丰富的研究成果:在培养基制备方面,经微生物发酵制备了高活性的羧甲基纤维素酶和微晶纤维素酶^[5-6];在生物燃料制备方面,通过直接提取或生物技术改良后提取,可获得烟草油脂和种子油^[7],采用热解或热催化法可制得热解油^[8-10]和燃料炭^[11],利用发酵法可生产燃料乙醇^[12-14]、甲烷^[7,15]和氢气^[16];在堆肥制备方面,主要是将烟草与鸡粪、猪粪、葡萄渣、橄榄渣或苹果渣等混合后进行共堆肥来制备有机肥^[17-20];在多孔材料制备方面,可直接将烟草用作吸附材料^[21]、经水热反应制备碳量子点^[22]、经热解或活化热解制备比表面积较大的多孔碳材料等^[23-24]。

为整体把握国外在烟草多用途利用的研发态势,综合研判该领域的发展方向,本文着重对国外烟草活性成分提取、纤维材料利用方面的研究成果进行梳理,以期为我国在该领域技术路径的选择提供参考。

1 活性成分提取

烟草含有诸多活性成分,目前已鉴定出 5229 种,涵盖生物碱类、蛋白质、萜类、糖类、芳香类、多酚类等。这些成分的含量与烟草的种类及其在烟草植株中的具体部位密切相关^[25]。在这些活性成分中,生物碱类中的烟碱(尼古丁)和多酚类中的绿原酸含量相对较高^[25],因此,烟碱和绿原酸的提取成为国外技术研发的重点,其次是茄尼醇的提取。近些年,美国的 E-LiquiTech、Liquid Nicotine Wholesalers、Nicotine River、AmeriNic,英国的 BOC Sciences、TCI America、Biosynth Carbosynth 等公司,已经将烟碱及其衍生物(如烟碱盐等)、电子烟油、茄尼醇等活性成分实现产业化运营^[3]。此外,国外学者早已对烟草蛋白、四酰基蔗糖酯、类活性成分(叶绿体、线粒体)等进行研究,但这些研究目前仍处于实验室方法开发阶段,尚未达到工业化应用

水平^[26-30]。

1.1 烟碱

烟碱是烟草中主要的生物碱,占总生物碱的 95% 左右,具有杀虫和抗菌特性,可作为一种广谱的绿色生物农药使用,也可通过复配制成兼具杀虫、除草及植物生长调节等多重功能的药剂(如德国拜耳作物科学公司开发的烟碱类杀虫剂吡虫啉)。此外,烟碱及其衍生物(如烟碱酸)还可用于治疗包括帕金森、精神分裂症、认知功能障碍、运动障碍等在内的多种疾病^[31]。例如,2017 年,就有研究人员尝试采用烟碱来治疗患者肺结节病(一种肺部慢性炎症)^[32];此外,高纯烟碱还可用于戒烟产品,如雾化类烟草制品烟油的制备等。

烟草源烟碱的市场前景十分广阔。工业上,主流的烟碱提取技术是在碱性条件下,采用正己烷或汽油抽提,经固液分离后浓缩,再经水萃取和分离,可获得纯度为 40% 的烟碱溶液。进一步通过减压蒸馏、分馏等纯化工艺,获得纯度高于 98% 的烟碱^[4]。此外,有关烟碱提取的新技术研究还涉及超临界或亚临界溶剂提取、微波提取、热提取、分离纯化等,其目的主要是提高烟碱的提取率和纯度。

在超临界或亚临界溶剂提取技术方面,早在 1998 年,J. Rincón 等^[33]就采用超临界 CO₂ 技术从烟草中提取烟碱,但收率较低(24%~43%),且烟碱在提取物中占比也不高(0.57%~1.00%)。至 2021 年,G. J. Tita 等^[34]重新评估了超临界 CO₂ 技术提取烟草中烟碱的可行性,发现压力是影响提取率和选择性的关键因素,且当压力为 37 MPa 时,每千克烟草废弃物可提取 2.10 g 烟碱,提取率达最高。M. Banožić 等^[35]对比研究了亚临界水和超临界 CO₂ 两种提取技术对烟草中烟碱提取性能的影响,发现后者更适用于游离态烟碱的提取,而前者更适用于带电荷形态的烟碱提取,将两者结合使用(两步法)可以有效提高烟碱的整体提取效率。

在微波提取技术方面,溶剂的极性和烟叶的含水量是影响烟碱提取率的关键因素。L. K. Ng 等^[36]使用微波技术提取烟叶中的烟碱时发现,在相同条件下,极性溶剂(甲醇)的提取效率优于非极性溶剂(异辛烷);而当提取剂为异辛烷时,烟叶含水率

(5%~20%)的影响更为显著,随含水率的增加(3%~13%),烟碱的提取率可以从3%提升至70%。除烟叶原料外,随着新型烟草制品的快速发展,国外学者也开始探索从废弃烟弹中回收烟碱的方法,并通过生物技术手段改进现有提取工艺。如A. V. Buntic等^[6]先采用极暗黄链霉菌CKS7对废弃烟弹进行发酵处理,随后进行微波提取,可将提取物中烟碱的质量浓度由7.14 μg/mL(直接微波辅助水提法)提升至7.26 μg/mL。

在热提取技术方面,国外研究主要聚焦于流化床工艺设备的开发,旨在解决传统溶剂提取工艺技术普遍存在的成本高、环境不友好等问题。2015年,M. M. Hossain等^[37]开发了机械流化床热提取技术,在400℃条件下,烟碱的回收率高达100%。然而,所提取生物油中的烟碱含量较低(<3%),需要经过后续的浓缩处理(如50℃干燥)才能将纯度提升至28%(此时回收率提高至80%)。为进一步提升烟碱在烟叶一次提取生物油中的含量,M. M. Hossain等^[38]对工艺装置进行了改进,在机械流化床的后端依次增设热、冷两种冷凝器,烟碱的初始纯度得到显著提高,且回收率达90%。此外,若仅收集部分热裂解温度段的馏分,还可进一步提升一次生物油中的烟碱纯度,如在260~275℃馏分段所收集的生物油中,烟碱纯度高达56%,但此时烟碱的回收率仅为21%。

在分离纯化技术方面,国外学者的相关研究相对偏少,目前主要采用离子交换树脂和柱色谱纯化两种方法。1998年,A. De Lucas等^[39]基于氢型强酸离子交换树脂和氨水,开发了一种烟碱纯化方法,并建立了5个平衡等温吸附线理论方程。至2018年,R. M. Fathi等^[40]报道了一种以乙醇为流动相的柱色谱纯化方法,该方法能够从烟叶提取物(总烟碱为4.19%)中分离得到4.006%的烟碱,分离纯化效率较高。

1.2 茄尼醇

茄尼醇主要存在于烟叶中,其含量约占烟草总质量的0.3%~3.0%。作为一种不饱和的聚异戊二烯醇,茄尼醇具有很强的抗癌生物活性,高纯度(纯度>90%)的茄尼醇是合成维生素K2、辅酶Q10、抗

溃疡药物、抗癌药物等的重要天然原料。与烟碱的研究类似,国外学者对于茄尼醇的研究也主要集中于新型提取方法(超临界CO₂提取技术及微波提取技术)的开发,以提高茄尼醇的回收率及纯度。

2007年,A. Ruiz-Rodriguez等^[41]开发了超临界CO₂提取茄尼醇的技术,该技术在提高茄尼醇提取率的同时,还能够有效降低提取物中烟碱的含量。在25℃、8 MPa条件下,提取物中茄尼醇与烟碱的质量比最高可达18.91,但提取物中还富含维生素E,后续仍需作进一步除杂纯化处理。2024年,E. R. Safitra等^[42]基于微波-超声波辅助萃取技术开发了茄尼醇的连续提取工艺,可将提取时间由传统技术的1 h缩短至31.5 min,粗品收率为3.0%,经硅胶柱色谱除杂后,茄尼醇的纯度可达85%。在原料创新方面,P. A. Machado等^[43]培育了一种低生物碱含量的烟草新品种MD-609LA,首先从这种烟草中提取蛋白质,然后利用残余物(生物质和叶绿体)进行茄尼醇的提取,研究发现微波辅助技术的提取效果明显优于传统热回流技术和超声辅助提取技术,每100 kg鲜烟叶可提取43.4 g茄尼醇,有效提高了烟草多用途产业链(烟草蛋白和茄尼醇联产技术)的整体盈利能力。

1.3 多酚类物质

烟草多酚具有一定的抗氧化或自由基清除活性,主要包括隐绿原酸、新绿原酸、烟花苷、芸香苷及东莨菪碱等成分,其含量因原料种类不同而不同。烤烟、香料烟和晾晒烟的总酚含量分别为18~41 mg/g、5~27 mg/g和0.5~3.0 mg/g^[44],即烤烟和香料烟是烟草多酚提取的主要原料,靶标物主要为黄酮类化合物、绿原酸和咖啡酸等。目前,国外研究人员对烟草多酚的研究主要集中在新型提取方法(尤其是超声辅助提取)及分离纯化技术(如柱层析)的开发,旨在提升多酚类物质的提取率^[45-49]。

I. T. Karabegović等^[45]研究表明,总酚和黄酮类化合物的提取率主要受烟草类型、溶剂种类及提取温度的影响,与所采用提取技术关系不大。然而,较高温度或超声提取可能会导致某些靶标成分发生氧化或降解。M. Docheva等^[46]采用超声辅助提取技术获得了富含芦丁(黄酮苷,Flavonoid Glycosides Rutin)和

山奈酚-3-芦丁苷(Kaempferol-3-rutinoside)的烟草提取物,粗提物中黄酮的含量为3.9 mg/g,经过柱色谱纯化后,回收率为47%。M. Banožić 等^[47]从烟草废弃物中提取获得了绿原酸、咖啡酸、芦丁和茄尼醇等多种活性成分,且黄酮类成分的含量及其抗氧化生物活性与超声环境条件和烟草废弃物类型密切相关,与I. T. Karabegović 等^[45]的研究结果较一致。除了上述主流技术外,针对烟草中的类黄酮,M. Docheva 等^[48]研究发现,传统的溶剂提取方法同样可以实现靶标成分的完全提取,经柱层析纯化后,类黄酮的含量为8.8%~14.3%,且表现出优异的自由基清除能力, IC_{50} 为35.0~64.6 $\mu\text{g/mL}$ 。

在分离方法方面,柱层析是烟草黄酮或类黄酮等活性成分最常用的技术,但对于烟草中一些含量较低但附加值高的黄酮类物质(如芦丁等)的分离效果并不理想。为此,I. Tsibranska 等^[49]开发了一种基于耐有机溶剂膜的纳滤技术,该技术能够从烟叶乙醇提取物中有效分离出以芦丁为主的黄酮类化合物,芦丁截留率约为88%。

1.4 烟草蛋白

从植物中提取蛋白质是未来食品研究的一个重要课题,据调研^[45],烟草富含蛋白质,尤其以白肋烟中的含量最高,约为20.48%。烟叶中的蛋白分为可溶性和不溶性两种,可溶性蛋白又进一步分为F I 蛋白(一种单独的叶绿体蛋白)和F II 蛋白(其他可溶性蛋白质的复合物),各自约占50%。尽管烟草蛋白的价值相对较低,不适合作为主要靶标物进行产业化提取,但可作为副产品来提升整个技术链的经济性。国外在该领域的研究主要集中在烟叶蛋白或功能性蛋白(磷酸化蛋白)的提取及营养价值剖析等方面。20世纪70年代,T. Tso 等^[50]开发了均质化烟叶烘烤工艺,在烘烤前即可实现对烟叶蛋白的分离。80年代,S. D. Kung 等^[26]开始采用化学和生物学方法研究烟草蛋白的营养价值,发现其营养价值与牛奶相当,处于植物源蛋白的前列,特别是F I 蛋白,可作为谷物消费者理想的膳食补充剂使用。至21世纪,为更高效地提取烟叶蛋白,H. Fu 等^[51]开发了一种基于磷酸盐缓冲体系($\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{-KH}_2\text{PO}_4$)的方法,可规模化提取烟草蛋

白(不含烟碱)。该方法的烟叶处理量为60 kg/h,每克鲜烟叶可提取可溶性蛋白12.85 mg,通过磷酸冲洗去除烟碱,回收率高达94.5%。除直接提取烟叶蛋白外,J. Fila 等^[52]还研究了烟叶蛋白的磷酸化过程,依次采用三氯乙酸(TCA)/丙酮提取总蛋白、金属氧化物/氢氧化物亲和色谱与氢氧化铝基质富集步骤,成功从烟草成熟花粉的粗蛋白中获得了磷酸化蛋白。

1.5 四酰基蔗糖酯

四酰基蔗糖酯是鲜烟叶表面角质蜡的主要成分,具有抗菌活性,并且是烟草风味成分的前体物,在医药及香料领域具有一定的应用前景。国外针对该物质的研究成果相对较少,主要集中在分离技术方面,包括凝胶过滤-分配色谱法、硅胶柱和超临界 CO_2 提取技术等。1985年,R. F. Severson 等^[53]开发了一种凝胶过滤-分配色谱法,采用羟丙基葡聚糖凝胶LH-20对烟叶表面提取物进行分馏,成功分离出6组蔗糖酯异构体,这些异构体之间的差异为14 amu。随后,D. A. Daneshmand 等^[27]利用硅胶柱分离得到了四酰基蔗糖酯,回收率高达99%。随着现代分离技术的发展,2005年,M. Ashraf-Khorassani 等^[54]开发了超临界 CO_2 提取技术,发现通过调节 CO_2 的浓度可以实现蔗糖酯的高效分离。

1.6 其他药用成分

烟草次生代谢产物丰富,是传统的植物源农药资源,烟草提取物及其热解物均具有一定的抑菌和杀虫活性,在新型植物源农药或兼具有杀虫功能复合材料研发方面也具有一定的应用潜力。对于烟草本源提取物,V. Popova 等^[55]研究发现,烟草精油、浸膏及树脂等产品对表皮葡萄球菌和金黄色葡萄球菌均具有一定的抗菌特性。B. Missaoui 等^[56]采用蒙脱石/壳聚糖/醋酸纤维组成的纳米复合材料封装含有烟碱的烟草精油,制备得到一种具有杀虫功能的纳米薄膜材料,可用于谷物的虫害防护。烟草防御过程中产生的类胡萝卜素代谢物也具有一定的医药或农药活性,M. Murata 等^[57]从被烟草花叶病毒侵染的烟叶中分离出一种抗虫诱导剂(Loliolide),该物质能够有效降低番茄二斑叶螨存活率和虫卵沉积量,并减少斜纹贪夜蛾幼虫的存活

率,同时对食草动物无毒性。在医药用途方面,A. A. Baxter 等^[58]首次从烟草中发现了一种能够杀死癌细胞的植物防御素 NaD1,它能够精准识别癌细胞,并通过与其隔膜形成钳形结构来捕获并破坏这些细胞,从而有效抑制癌症的发展。

1.7 类活性成分

除上述烟草固有活性成分的直接提取利用外,烟草含有的类活性成分,如叶绿体、线粒体等植物组织也具有一定的生物活性。然而,国外学者针对这些类活性成分的研究主要集中在上世纪 50 年代,研究内容主要涉及烟草组织的酶活性,可为拓宽烟草资源的利用途径提供新的思路,也对植物源新型酶制剂的开发具有一定的参考价值。A. T. Jagendorf 等^[28]采用离心法从烟叶中分离纯化得到富含过氧化氢酶和细胞色素氧化酶的烟草叶绿体,具有较高的希尔反应活性。在预处理过程中,常规搅拌机处理优于研钵和杵研磨,能够最大程度地保留叶绿体的完整性。W. S. Pierpoint 等^[29-30]以烟叶为原料,依次经介质研磨、离心制备得到线粒体制剂,该制剂含有 1/3 的总叶绿素和 15% 的总蛋白质氮,并且富含琥珀氧化酶,对三磷酸循环中的大多数酸性化合物均具有氧化性能。此外,该线粒体制剂还具有一定的乙醇酸氧化酶和延胡索酶活性。

综上可知,对于烟碱、茄尼醇、多酚类物质和四酰基蔗糖酯,相关研究主要集中在提取方法的开发方面,包括超临界或亚临界溶剂提取技术、微波提取技术、热提取技术、超声提取技术等,旨在提高靶标成分的提取率和纯度。而对于烟草蛋白和其他药用成分(烟草精油、浸膏、树脂等)的研究,则主要集中在营养价值、抑菌和杀虫活性等生物学性能方面,尚处于探索阶段。在单一活性成分方面,烟碱和茄尼醇的提取技术较为成熟,而其他活性成分尚处于实验室阶段。此外,早期烟草活性组织(叶绿体、线粒体)的提取方法主要是离心分离技术,且线粒体内部的酶也具有一定的生物活性。未来,随着合成生物学技术的快速发展,烟草中类活性成分的开发将可能为新型酶制剂的研制提供新的路径。

2 烟草纤维材料利用

相比烟草中可提取的活性或类活性成分,烟草纤维材料在整个烟草基质中占比更大。国外对其综合利用的方向包括直接利用(如制备动物饲料、制备纸张和纤维板等)和经转化后得到其衍生靶标物再加以利用(如降解为低聚木糖、热解制备生物炭有机肥或生物杀虫剂等)两个方面。

2.1 制备动物饲料

烟草富含蛋白质、糖分和钾、钙、镁、铁、硼、锰等多种矿物质元素,且纤维质量优良,在饲料制备方面具有天然优势。国外对此的研究包括烟草源直接饲料和衍生饲料(或间接饲料)两种类型,主要目的是降低动物的喂食成本。对于直接饲料制备,A. Fatica 等^[59]培育了一种低烟碱烟草品种 Solaris,整株烟草经切碎并用植物乳杆菌发酵后,可添加到奶牛的基础饲料中,经过 45 d 的喂食实验,小牛的身体状况、粪便稠度、运动能力及繁殖性状等指标均未受到影响。对于衍生饲料制备,烟草仅作为培养基使用,例如,以烟草为载体可获得供动物饲用的烟草花叶病毒蛋白。然而,这种蛋白的氨基酸种类与酪蛋白相似,缺乏组氨酸、蛋氨酸和赖氨酸这 3 种必需氨基酸^[60]。J. P. Chandler 等^[60]研究表明,通过给小鼠喂食烟草花叶病毒蛋白,并辅以额外补充这 3 种必需氨基酸,可以满足小鼠的氨基酸营养需求,且这种饲料能够有效替代常规饲料中 20% 的成分。

2.2 造纸和制备纤维板

烟秆的主要化学成分与木材相似,其灰分和抽提物的含量甚至比木材还高,而木质素及综纤维的含量则接近阔叶材,因此是较好的造纸原料^[61]。烟秆的木质化纤维扁而宽,易于扭曲,纤维壁薄、柔韧性好,因此也是纤维板的优良原料^[62]。除了整体利用外,部分国外学者还从烟秆中提取纤维或经转化得到功能性纤维,从而进一步拓宽了烟草纤维在高端产品中的应用途径^[63-64]。

在造纸方面,早在 1996 年,S. Kajita 等^[65]就凭借基因工程技术通过抑制 4-香豆酸:辅酶 A 连接酶(4CL)的活性来调控烟草植株的木质素含量。随

后,他们又确认了转基因烟草植株木质素用于造纸的可行性,并发现转基因烟草原料更易于脱木质素,可在确保纸张强度和光学特性不变的前提下,明显改善纸浆的收率和可漂白性^[66-67]。2022年,日本烟草公司开始与当地的纸品公司合作,以烟梗为原料来制备传统和纸,目前这一项目仍处于工业化的早期阶段^[4]。伊朗也探索了烟秆等废弃物用于造纸的可行性,2011年,J. Shakhshouf等^[68]研究显示,在传统碱法制浆的过程中添加少量蒽醌(质量分数0.2%),有利于降低浆渣废料的产生量和纸浆卡伯值,同时提高细浆得率和亮度,显著提升纸张的加工性能(如裂断长和撕裂指数)。

在纤维板或刨花板制备方面,早在2000年,R. C. Castro等^[69]就以烟秆为原料、酚醛树脂为粘结剂,探索制备出低密度、中密度及高密度纤维板,并尝试将其商业化。2017年,M. Akgül等^[62]研究发现,在制作密度纤维板时,烟秆可替代20%的木材,且所得产品的弯曲强度、弹性、厚度膨胀率、表面硬度等指标均能满足一般用途的要求。2022年,J. P. Jimenez等^[70]研究了烟秆和构树木片生产刨花板的可行性,结果表明,二者单独使用或以不同质量比混合均可制备出适用于干燥条件的刨花板,其中,烟秆与构树木片以75:25的质量比混合时,所得产品不仅甲醛释放量低,对白蚁的抵抗力也得到提高。

在纤维或功能性纤维的提取与制备方面,S. Ovali^[63]采用水沤法仅需3周即可从烟秆中分离得到烟草纤维,该产物富含纤维素(质量分数56.6%),具有较高的拉伸强度(113.4 MPa)和结晶度指数(70%),有助于其与复合材料基体中的其他纤维粘合,在聚合物基复合材料、纺织品等领域具有一定的应用前景。R. Muvhiwa等^[64]以含水率10.17%的烟秆为原料,依次经苏打蒸煮制浆、次氯酸钙漂白、硝化处理等步骤,获得了不同类型的硝化纤维,其氮含量为11.0%~11.5%(体积比,以丙酮中的溶解性计)。

2.3 制备低聚木糖

除了烟草活性成分或组织的提取分离外,还可采用酶制剂对烟秆或其预处理产物进行进一步酶解,以延长技术链并制备化学成分单一的化工原料

(如低聚木糖等)。O. Akpınar等^[71]以烟秆为原料,依次经碱液水提和酶解,制得低聚木糖。研究发现,所得低聚木糖的产量和种类分布随所用酶来源的不同(黑曲霉和长木霉菌)而有所差异,使用黑曲霉源木聚糖酶的酶解量稍高,且产品富含木二糖和木三糖;而使用长木霉菌源木聚糖酶所得产品则富含木糖和木二糖。随后,O. Akpınar等^[72]对比研究了酸解和酶解对木聚糖降解性能的影响,结果显示,在两种水解条件下,低聚木糖的收率分别为11%和13%。虽然酸解时间(0.5 h)显著短于酶解时间(24.0 h),但酸解过程会产生糠醛和单糖,这将大幅度增加后续产品的纯化难度。近期,M. B. Santana等^[73-74]开发了一种基于水热预处理技术的烟秆低聚木糖制备方法,低聚木糖的收率高达49.54%(在提取溶液中的质量浓度为11.11 g/L),处理1000 kg烟草材料可产出56 kg的低聚木糖,同时固相物经发酵还可联产得到78 kg的琥珀酸,显示出较好的工业应用前景。

2.4 制备生物炭肥料

除堆肥化利用外^[17-20],烟草废弃物还可用于制备生物炭,并作为土壤改良剂使用,这也是其重要的农业利用途径之一。生物炭是在厌氧或无氧条件下对生物质进行热解得到的一类固体材料,含有大量的氧、氢、碳、氮等元素,并富含羧基、酚羟基、羟基、脂族双键等官能团。此外,生物炭具有丰富的孔隙结构,在改善土壤理化性状、调控土壤微生物数量及群落结构组成、增加土壤养分吸持、提高作物产量、增碳减排及污染土壤修复等方面均表现出巨大的应用潜力^[75]。

国外对于生物炭的研究主要集中于制备方面,且重点关注生物炭材料中营养元素(如氮、磷和钾)的含量。R. K. Sharma等^[76]研究了不同气氛(有氧、无氧)对烟草原料热解的影响,研究发现,有氧气氛不适合高温生物炭的制备,如当氧气体积分数为5%、温度高于600℃时,几乎无法得到生物炭;而在无氧条件下,400℃时所得生物炭的比表面积最大,为8 m²/g,但其收率随温度升高而急剧下降,当温度超过450℃时,生物炭的收率基本稳定在22%左右。V. Strezov等^[77]在500℃条件下,采用慢速热解

(5 ℃/min)技术制备出富含磷、钾的生物炭,其中钾的含量可达 16.1%。除了将烟草废弃物作为原料外,B. Onorevoli 等^[78]还以烟草种子提取后的残渣为原料,采用快速热解(100 ℃/min 的升温速率)技术在 700 ℃ 条件下热解 10 min 制得了生物炭,收率为 25.5%,其中氮、磷和钾的含量分别为 4.5%、3.4% 和 4.7%。

2.5 制备生物油杀虫剂

烟草生物质通过热解反应可以得到生物油、生物炭、气体等产物。其中,生物油除作为燃料使用外,还具有一定的杀虫和抑菌特性,未来有望应用于新型天然生物农药的制备^[79-80]。C. J. Booker 等^[79-80]研究发现,在最优条件(温度 500 ℃、蒸汽停留时间 5 s)下,所得烟草生物油的收率为 43.4%,且在温度为 350~600 ℃ 和蒸汽停留时间为 5~17 s 范围内制得的生物油对科罗拉多马铃薯甲虫(*Leptinotarsa decemlineata* L.) 和 3 种有害微生物(*Clavibacter michiganensis*、*Streptomyces scabies* 和 *Pythium ultimum*) 均表现出较好的农药特性。即使通过液液萃取法去除生物油中的烟碱后,该生物油对科罗拉多马铃薯甲虫仍具有较高的致命性,并对上述 3 种微生物的生长有一定的抑制作用。

综上所述,烟草纤维材料的综合利用可以根据最初环节是否发生化学转化分为直接利用和转化后利用两种方式。直接利用包括制备动物饲料和纤维材料;转化后利用包括制备低聚木糖、生物炭有机肥和生物油杀虫剂。动物饲料的研发旨在降低动物的喂食成本,涉及新品种烟草的整株利用或用于生产烟草花叶病毒蛋白衍生饲料。纤维材料的制备主要包括造纸或制备纤维板,目的在于实现烟草废弃物尤其是烟秆的规模化利用,目前尚处于产业化早期阶段。此外,也有学者开始提取烟草纤维或将其进一步转化为功能性纤维,探索其在高端产品中的应用潜力。在低聚木糖制备方面,酶解法更具优势,低聚木糖联产其他产品(如琥珀酸)是未来发展的方向。在热解利用方面,对于固相产品,国外研究更关注生物炭的营养价值,即生物炭中氮、磷、钾的含量;对于液相产品,则更关注生物油在新型天然生物农药(尤其是杀虫和抑菌方面)研

发中的潜能。

3 结论与展望

本文针对烟草资源多用途开发与利用的关键问题,从烟草活性成分提取、纤维材料利用方面对国外技术研发现状进行了综述,发现烟草活性成分的提取主要涉及烟碱、茄尼醇、多酚类物质、烟草蛋白、四酰基蔗糖酯、其他药用成分及类活性成分(叶绿体、线粒体)等,烟草活性成分的提取技术(如超临界 CO₂ 提取和微波提取)已较为成熟,尤其在烟碱、茄尼醇等单一成分的分离中应用广泛,未来其在卷烟、新型烟草制品及日化、医药领域的衍生物开发中具有较大产业化潜力;烟草蛋白及其他药用成分的研究聚焦于抑菌、抗癌和杀虫活性,未来将进一步挖掘其独特生物活性并拓展应用。烟草纤维材料的利用主要涉及制备动物饲料、纸张和纤维板,以及通过转化制备低聚木糖、生物炭和生物油等。综合考虑实际使用场景和产量等因素,相比烟草花叶病毒蛋白,未来动物饲料研究将侧重于开发新品种烟草;生物炭有机肥制备技术已经相对成熟,其多功能拓展应用将是产业化关键;纸张和纤维板的应用主要是利用烟秆独特的纤维形态,纸张制备通过改良碱法制浆技术有望实现规模化生产,纤维板及功能化纤维在高端产品中的应用前景广阔;在烟草纤维材料的转化制备方面,酶解法制备低聚木糖优势显著,生物炭有机肥的制备则比较关注氮、磷和钾等营养元素的含量,生物油研发则侧重其农药特性,未来有望用于高效、环保的生物农药产品开发。总体而言,烟草活性成分及纤维材料的多元化利用将在未来实现更高效、更环保的产业化发展。

参考文献:

[1] 蒋捷媛,李玉昊,陈鹏,等. 2023 年国际烟草十大新闻 [EB/OL]. (2024-01-18) [2024-04-01]. <https://www.tobaccochina.com/html/focusnews/671834.shtml>.
[2] ARMSTRONG C, ANDERSON K. WHO global report on trends in prevalence of tobacco use 2000—2030 [R]. Geneva: World Health Organization, 2024.
[3] 周茹. 烟草多用途利用:前景广阔 未来可期[J]. 中国烟草, 2023(20): 71-77.

- [4] 王金棒. 烟草多用途利用创新战略研究报告[R]. 郑州: 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 2023.
- [5] BUNTIĆ A V, MILIĆ M D, STAJKOVIĆ-SRBINOVIĆ O S, et al. Cellulase production by *Sinorhizobium meliloti* strain 224 using waste tobacco as substrate [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2019, 16(10): 5881–5890.
- [6] BUNTIĆ A V, STAJKOVIĆ-SRBINOVIĆ O, DELIĆ D, et al. The production of cellulase from the waste tobacco residues remaining after polyphenols and nicotine extraction and bacterial pre-treatment [J]. Journal of the Serbian Chemical Society, 2019, 84(2): 129–140.
- [7] FATICA A, DI LUCIA F, MARINO S, et al. Study on analytical characteristics of *Nicotiana tabacum* L., cv. Solaris biomass for potential uses in nutrition and biomethane production [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 16828.
- [8] BARLA F G, KUMAR S. Tobacco biomass as a source of advanced biofuels [J]. Biofuels, 2019, 10(3): 335–346.
- [9] CARDOSO C R, ATAÍDE C H. Micropyrolysis of tobacco powder at 500 °C: Influence of ZnCl₂ and MgCl₂ Contents on the generation of products [J]. Chemical Engineering Communications, 2015, 202(4): 484–492.
- [10] CARDOSO C R, ATAÍDE C H. Analytical pyrolysis of tobacco residue: Effect of temperature and inorganic additives [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2013, 99: 49–57.
- [11] SALETNIK B, FIEDUR M, KWARCIAŃY R, et al. Pyrolysis as a method for processing of waste from production of cultivated tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) [J]. Sustainability, 2024, 16(7): 2749.
- [12] SARBISHEI S, GOSHADROU A, HATAMPOUR M S. Mild sodium hydroxide pretreatment of tobacco product waste to enable efficient bioethanol production by separate hydrolysis and fermentation [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2021, 11(6): 2963–2973.
- [13] SOPHANODORN K, UNPAPROM Y, WHANGCHAI K, et al. Environmental management and valorization of cultivated tobacco stalks by combined pretreatment for potential bioethanol production [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2022, 12(5): 1627–1637.
- [14] FARRAN I, FERNANDEZ-SAN MILLAN A, ANCIN M, et al. Increased bioethanol production from commercial tobacco cultivars overexpressing thioredoxin f grown under field conditions [J]. Molecular Breeding, 2014, 34(2): 457–469.
- [15] GONZÁLEZ-GONZÁLEZ A, CUADROS F. Optimal and cost-effective industrial biomethanation of tobacco [J]. Renewable Energy, 2014, 63: 280–285.
- [16] AYAS N, KARADENİZ S. Hydrogen from tobacco waste [C] // IEEE. 2017 2nd International Conference Sustainable and Renewable Energy Engineering (ICSREE). Hiroshima: IEEE, 2017: 78–82.
- [17] ZHAO G H, YU Y L, ZHOU X T, et al. Effects of drying pretreatment and particle size adjustment on the composting process of discarded flue-cured tobacco leaves [J]. Waste Management & Research, 2017, 35(5): 534–540.
- [18] HERNER Ž, KUČIĆ D, ZELIĆ B. Biodegradation of imidacloprid by composting process [J]. Chemical Papers, 2017, 71(1): 13–20.
- [19] SEREMETA D C H, DA SILVA C P, ZITTEL R, et al. Pb²⁺ adsorption by a compost obtained from the treatment of tobacco from smuggled cigarettes and industrial sewage sludge [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(1): 797–805.
- [20] MANDIĆ N, LALEVIĆ B, RAČEVIĆ V, et al. Impact of composting conditions on the nicotine degradation rate using nicotinophilic bacteria from tobacco waste [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2023, 20(7): 7787–7798.
- [21] ESCUDERO L B, AGOSTINI E, DOTTO G L. Application of tobacco hairy roots for the removal of malachite green from aqueous solutions: Experimental design, kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies [J]. Chemical Engineering Communications, 2018, 205(1): 122–133.
- [22] AMIRIPOUR F, GHASEMI S, CHAICHI M J. Nanostructured rhodamine B/aluminosilicate extracted sugarcane bagasse modified with tobacco-derived carbon quantum dot as ratiometric fluorescence probe for determination of tetracycline [J]. Talanta, 2024, 276: 126158.
- [23] GONÇALVES A C Jr, ZIMMERMANN J, SCHWANTES D, et al. Recycling of tobacco wastes in the development of ultra-high surface area activated carbon [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2023, 171: 105965.
- [24] PATHAK M, ROUT C S. Flexible all-solid-state asymmetric supercapacitor based on in situ-grown bimetallic metal sulfides/Ti₃C₂T_x MXene nanocomposite on carbon cloth *via* a facile hydrothermal method [J]. Journal of Electronic Materials, 2023, 52(3): 1668–1680.
- [25] JOKIĆ S, GAGIĆ T, KNEZ Ž, et al. Separation of active compounds from tobacco waste using subcritical water extraction [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2019, 153: 104593.
- [26] KUNG S D, SAUNDER J A, TSO T C, et al. Tobacco as a potential food source and smoke material: Nutritional evaluation of tobacco leaf protein [J]. Journal of Food Science, 1980, 45(2): 320–322.
- [27] DANEHOWER D A. A rapid method for the isolation and quantification of the sucrose esters of tobacco [C] // NCSU. Centre de Coopération pour les Recherches Scientifiques Relatives au Tabac/Cooperation Centre for

- Scientific Research Relative to Tobacco,1987;32-35.
- [28] JAGENDORF A T,WILDMAN S G. The proteins of green leaves. VI. centrifugal fractionation of tobacco leaf homogenates and some properties of isolated chloroplasts [J]. Plant Physiology,1954,29(3):270-279.
- [29] PIERPOINT W S. Mitochondrial preparations from the leaves of tobacco (*Nicotiana tabacum*). 2. Oxidative phosphorylation[J]. Biochemical Journal,1960,75(3):504-511.
- [30] PIERPOINT W S. Mitochondrial preparations from the leaves of tobacco (*Nicotiana tabacum*). 433. Glycolic oxidase and fumarase activity [J]. Biochemical Journal,1960,75(3):511-515.
- [31] QUIK M, HUANG L Z, PARAMESWARAN N, et al. Multiple roles for nicotine in Parkinson's disease [J]. Biochemical Pharmacology,2009,78(7):677-685.
- [32] WWexner Medical Center. Clinical study asks: Can nicotine help treat a chronic lung disease? [EB/OL]. (2017-08-28) [2024-04-02]. <https://wexnermedical.osu.edu/mediaroom/pressreleaselistig/nicotinepatchstudy>.
- [33] RINCÓN J, DE LUCAS A, GARCÍA M A, et al. Preliminary study on the supercritical carbon dioxide extraction of nicotine from tobacco wastes[J]. Separation Science and Technology,1998,33(3):411-423.
- [34] TITA G J, NAVARRETE A, MARTÍN Á, et al. Model assisted supercritical fluid extraction and fractionation of added-value products from tobacco scrap[J]. The Journal of Supercritical Fluids,2021,167:105046.
- [35] BANOŽIĆ M, GAGIĆ T, ČOLNIK M, et al. Sequence of supercritical CO₂ extraction and subcritical H₂O extraction for the separation of tobacco waste into lipophilic and hydrophilic fractions[J]. Chemical Engineering Research and Design,2021,169:103-115.
- [36] NG L K, HUPÉ M. Effects of moisture content in cigar tobacco on nicotine extraction Similarity between Soxhlet and focused open-vessel microwave-assisted techniques [J]. Journal of Chromatography A,2003,1011(1/2):213-219.
- [37] HOSSAIN M M, SCOTT I M, BERRUTI F, et al. Optimizing pyrolysis reactor operating conditions to increase nicotine recovery from tobacco leaves[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2015,112:80-87.
- [38] HOSSAIN M M, SCOTT I M, BERRUTI F, et al. A two-dimensional pyrolysis process to concentrate nicotine during tobacco leaf bio-oil production [J]. Industrial Crops and Products,2018,124:136-141.
- [39] DE LUCAS A, CAÑIZARES P, GARCÍA M A, et al. Recovery of nicotine from aqueous extracts of tobacco wastes by an H⁺-form strong-acid ion exchanger [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research,1998,37(12):4783-4791.
- [40] FATHI R M, FAUZANTORO A, RAHMAN S F, et al. Column chromatography isolation of nicotine from tobacco leaf extract (*Nicotiana tabacum* L.) [C]//AIP. Proceedings of the International Symposium of Biomedical Engineering (ISBE),2017. Bali: AIP,2018,1933:030011.
- [41] RUIZ-RODRIGUEZ A, BRONZE M R, DA PONTE M N. Supercritical fluid extraction of tobacco leaves: A preliminary study on the extraction of solanesol [J]. The Journal of Supercritical Fluids,2008,45(2):171-176.
- [42] SAFITRA E R, MUHARAM Y, FARIZAL, et al. Solanesol sequential extraction from tobacco leaves using microwave-ultrasound-assisted extraction (MUAE): MAE optimization [J]. Current Research in Green and Sustainable Chemistry,2024,8:100393.
- [43] MACHADO P A, FU H, KRATOCHVIL R J, et al. Recovery of solanesol from tobacco as a value-added byproduct for alternative applications [J]. Bioresource Technology,2010,101(3):1091-1096.
- [44] SHIFFLETT J R, WATSON L, MCNALLY D J, et al. Analysis of the polyphenols of tobacco using pressurized liquid extraction (PLE) and ultra performance liquid chromatography with electrospray ionization-tandem mass spectrometric detection (UPLC-ESI-MS/MS) [J]. Beiträge Zur Tabakforschung International,2017,27(8):195-207.
- [45] KARABEGOVIĆ I T, VELJKOVIĆ V B, LAZIĆ M L. Ultrasound-assisted extraction of total phenols and flavonoids from dry tobacco (*Nicotiana tabacum*) leaves [J]. Natural Product Communications,2011,6(12):1855-1856.
- [46] DOCHEVA M, DAGNON S, STATKOVA S, et al. Isolation of bioflavonoids from tobacco [J]. Trakia Journal of Science,2012,10:79-83.
- [47] BANOŽIĆ M, BANJARI I, JAKOVLJEVIĆ M, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of some bioactive compounds from tobacco waste [J]. Molecules,2019,24(8):1611.
- [48] DOCHEVA M, DAGNON S, STATKOVA-ABEGHE S. Flavonoid content and radical scavenging potential of extracts prepared from tobacco cultivars and waste [J]. Natural Product Research,2014,28(17):1328-1334.
- [49] TSIBRANSKA I, KARABOJIKOVA V, JELIAZKOV J R. Concentration of flavonoids in ethanolic extracts from tobacco leaves through nanofiltration [J]. Bulgarian Chemical Communications,2016,48(2):232-237.
- [50] TSO T, LOWE R H, DEJONG D W. Homogenized leaf curing: I. theoretical basis and some preliminary results [J]. Beiträge zur Tabakforschung/Contributions to Tobacco Research,1975,8:44-51.
- [51] FU H, MACHADO P A, HAHM T S, et al. Recovery of nicotine-free proteins from tobacco leaves using phosphate buffer system under controlled conditions [J]. Bioresource

- Technology, 2010, 101(6): 2034–2042.
- [52] FÍLA J, HONY S D. Phosphoprotein enrichment from tobacco mature pollen crude protein extract[J]. *Methods in Molecular Biology*, 2017, 1669: 265–274.
 - [53] SEVERSON R F, ARRENDALE R F, CHORTYK O T, et al. Isolation and characterization of the sucrose esters of the cuticular waxes of green tobacco leaf[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1985, 33(5): 870–875.
 - [54] ASHRAF-KHORASSANI M, TAYLOR L T, NAZEM N, et al. Isolation of *Tetra*-acyl sucrose esters from Turkish tobacco using supercritical fluid CO₂ and comparison with conventional solvent extraction[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(6): 1866–1872.
 - [55] POPOVA V, GOCHEV V, GIROVA T, et al. Extraction products from tobacco-aroma and bioactive compounds and activities[J]. *Current Bioactive Compounds*, 2015, 11(1): 31–37.
 - [56] MISSAOUI B, KRAFFT J M, HAMDI N, et al. Valorizing industrial tobacco wastes within natural clays and chitosan nanocomposites for an ecofriendly insecticide[J]. *Waste Management*, 2023, 168: 146–155.
 - [57] MURATA M, NAKAI Y, KAWAZU K, et al. Loliolide, a carotenoid metabolite, is a potential endogenous inducer of herbivore resistance[J]. *Plant Physiology*, 2019, 179(4): 1822–1833.
 - [58] BAXTER A A, POON I K H, HULETT M D. The plant defensin NaD1 induces tumor cell death via a non-apoptotic, membranolytic process [J]. *Cell Death Discovery*, 2017, 3(1): 16102.
 - [59] FATICA A, FANTUZ F, DI LUCIA F, et al. Ensiled biomass of Solaris tobacco variety used as forage: Chemical characteristics and effects on growth, welfare, and follow-up of Holstein heifers [J]. *Animal*, 2021, 15(7): 100235.
 - [60] CHANDLER J P, GERRARD M W, VIGNEAUD V D. The utilization for animal growth of tobacco mosaic virus as a sole source of protein in the diet [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1947, 171(2): 823–828.
 - [61] KAJITA S, ISHIFUJI M, OUGIYA H, et al. Improvement in pulping and bleaching properties of xylem from transgenic tobacco plants [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82(10): 1216–1223.
 - [62] AKGÜL M, UNER B, ÇAMLIBEL O, et al. Manufacture of medium density fiberboard (MDF) panels from agribased lignocellulosic biomass [J]. *Wood Research*, 2017, 62(4): 615–624.
 - [63] OVALI S. Characterization of waste *Nicotiana rustica* L. (tobacco) fiber having a potential in textile and composite applications[J]. *Polymers*, 2024, 16(8): 1117.
 - [64] MUVHIIWA R, MAWERE E, MOYO L B, et al. Utilization of cellulose in tobacco (*Nicotiana tabacum*) stalks for nitrocellulose production [J]. *Heliyon*, 2021, 7(7): e07598.
 - [65] KAJITA S, KATAYAMA Y, OMORI S. Alterations in the biosynthesis of lignin in transgenic plants with chimeric genes for 4-coumarate: Coenzyme a ligase [J]. *Plant & Cell Physiology*, 1996, 37(7): 957–965.
 - [66] KAJITA S, MASHINO Y, NISHIKUBO N, et al. Immunological characterization of transgenic tobacco plants with a chimeric gene for 4-coumarate: CoA ligase that have altered lignin in their xylem tissue [J]. *Plant Science*, 1997, 128(1): 109–118.
 - [67] KAJITA S, HISHIYAMA S, TOMIMURA Y, et al. Structural characterization of modified lignin in transgenic tobacco plants in which the activity of 4-coumarate: Coenzyme A ligase is depressed [J]. *Plant Physiology*, 1997, 114(3): 871–879.
 - [68] SHAKHES J, MARANDI M A B, ZEINALY F, et al. Tobacco residuals as promising lignocellulosic materials for pulp and paper industry [J]. *BioResources*, 2011, 6(4): 4481–4493.
 - [69] CASTRO R C, AGRUPIS S C, LORENZO J L. 利用烟杆制造纤维板的研究[J]. 刘立全, 译. 烟草科技, 2000, 33(7): 32–34.
 - [70] JIMENEZ J P, ACDA M N, RAZAL R A, et al. Influence of mixing waste tobacco stalks and paper mulberry wood chips on the physico-mechanical properties, formaldehyde emission, and termite resistance of particleboard [J]. *Industrial Crops and Products*, 2022, 187: 115483.
 - [71] AKPINAR O, ERDOGAN K, BOSTANCI S. Enzymatic production of xylooligosaccharide from selected agricultural wastes [J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2009, 87(2): 145–151.
 - [72] AKPINAR O, ERDOGAN K, BAKIR U, et al. Comparison of acid and enzymatic hydrolysis of tobacco stalk xylan for preparation of xylooligosaccharides [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(1): 119–125.
 - [73] SANTANA M B, GAMA F Á, PEREIRA I O, et al. Harnessing tobacco stem biomass for eco-friendly xylo-oligomers production *via* hydrothermal treatment and succinic acid *via* fermentation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 456: 142305.
 - [74] SANTANA M B, SOARES L B, ZANELLA E, et al. Hydrothermal pretreatment for the production of prebiotic oligosaccharides from tobacco stem [J]. *Bioresource Technology*, 2023, 382: 129169.
 - [75] FENG Q W, WANG B, ZIMMERMAN A R. Application of C and N isotopes to the study of biochar biogeochemical behavior in soil: A review [J]. *Earth-Science Reviews*, 2024, 256: 104860.
 - [76] SHARMA R K, WOOTEN J B, BALIGA V L, et al. Characterization of char from the pyrolysis of tobacco [J].

Journal of Agricultural and Food Chemistry,2002,50(4): 771-783.

[77] STREZOV V, POPOVIC E, FILKOSKI R V, et al. Assessment of the thermal processing behavior of tobacco waste[J]. Energy & Fuels,2012,26(9):5930-5935.

[78] ONOREVOLI B, DA SILVA MACIEL G P, MACHADO M E, et al. Characterization of feedstock and biochar from energetic tobacco seed waste pyrolysis and potential application of biochar as an adsorbent [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering,2018,6(1):1279-1287.

[79] BOOKER C J, BEDMUTHA R, SCOTT I M, et al. Bioenergy II: Characterization of the pesticide properties of tobacco bio-oil[J]. International Journal of Chemical Reactor Engineering,2010,8(1):A26.

[80] BOOKER C J, BEDMUTHA R, VOGEL T, et al. Experimental investigations into the insecticidal, fungicidal, and bactericidal properties of pyrolysis bio-oil from tobacco leaves using a fluidized bed pilot plant[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2010, 49 (20):10074-10079.

Current status and future perspectives on the extraction of active components and utilization of fiber materials from tobacco abroad

CHI Zhexiang¹, LIAO Min², SHI Shang³, LI Shengyi⁴, LIAO Yun², DING Dong¹

1. State Tobacco Monopoly Bureau, Beijing 100045, China;
2. Ganzhou Branch of Jiangxi Tobacco Corporation, Ganzhou 341000, China;
3. School of Management, Xuzhou Medical University, Xuzhou 221004, China;
4. Marketing Center, Jiangxi China Tobacco Industry Co., Ltd., Nanchang 330096, China

Abstract: In response to the key issues of multi-purpose development and utilization of tobacco resources, this paper reviewed the current status of technological research and development abroad, with a focus on the extraction of active tobacco components and the utilization of fiber materials. The paper indicates that active tobacco components encompass nicotine, solanesol, polyphenols, proteins, tetra-acyl sucrose esters, and similar active components (e. g. , chloroplasts and mitochondria). Among these components, nicotine, chlorogenic acid, and solanesol have high content and added value, and their extraction processes are relatively simple. These components hold great market potential in fields such as pesticides, pharmaceuticals, and additives for tobacco products, and have been widely industrialized overseas. The utilization of fiber materials includes such products as animal feed, paper, fiberboard, particleboard, nitrocellulose, xylooligosaccharides, and biochar organic fertilizer. Among these, the production of biochar organic fertilizer, paper, and fiberboard are the main research directions for large-scale utilization, with relatively mature technologies, yet relatively high production costs. In the field of fiber material utilization, there have been preliminary explorations of industrialization abroad. In the future, to further advance the industrialization of multi-purpose tobacco utilization, key research directions will focus on the extraction of nicotine, solanesol, and aroma components for use in new tobacco product additives and pharmaceutical applications. In the context of feed applications, the cultivation of new tobacco varieties will be a key development direction. In the context of broader agricultural applications, the development of biochar organic fertilizers with multi-functional coupling based on tobacco waste will be an important development direction. Additionally, within cost constraints, enhanced paper and fiberboard will also be key research and development directions for the multi-purpose utilization of tobacco resources in the future.

Key words: tobacco active component extraction; fiber material; multi-functional utilization

[责任编辑:杨晓娟 贾学伟]