

曹芸, 张劲, 王鹏, 等. 烟草颗粒热解与释烟特性影响因素研究 [J]. 中国烟草学报, 2021, 27 (1). CAO Yun, ZHANG Jin, WANG Peng, et al. Study on influential factors of pyrolysis and smoke release characteristics of tobacco particles [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27 (1). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2020.099

烟草颗粒热解与释烟特性影响因素研究

曹芸¹, 张劲^{*1,2}, 王鹏¹, 周顺^{1,2}, 王孝峰¹, 张亚平^{1,2},

张晓宇¹, 王成虎¹, 李延岩¹, 管明婧¹, 陈刚², 黄兰²

1 安徽中烟工业有限责任公司, 烟草行业燃烧热解研究重点实验室, 合肥市高新区天达路9号 230088;

2 安徽中烟工业有限责任公司, 烟草化学安徽省重点实验室, 合肥市高新区天达路9号 230088

摘要: 【目的】为探索加热状态下烟草颗粒热解和烟气释放规律。【方法】采用导热系数测试仪、热分析仪 (TGA) 和锥形量热仪 (CONE) 表征分析了甘油添加量、水分含量以及粒径对烟草颗粒导热特性、热解过程和烟气释放特性的影响。【结果】(1) 样品导热系数随水分和甘油含量的增加以及粒径减小整体上呈现不同程度的上升趋势, 不同水分与甘油含量样品比热容变化趋势与导热系数基本一致, 随粒径减小其比热容持续降低; (2) 甘油大幅增加烟草颗粒在低温区 (140℃~300℃) 失重比例, 并使其成为最主要失重阶段; 水分含量对烟草颗粒失重速率影响随温度升高逐渐减弱, 主要对低温区下游游离水、甘油等小分子物质释出影响较大; 减小粒径, 样品主要失重过程向低温区稍有平移; (3) 增加甘油含量 (30% 以内)、降低水分含量以及减小粒径均有利于缩短烟草颗粒起始释烟时间, 提高释烟速率, 且释放总量整体呈上升趋势。

关键词: 烟草颗粒; 热解特性; 释烟特性; 甘油; 水分; 粒径

加热卷烟, 因具有低危害、低风险, 且抽吸感受接近传统卷烟的特点, 而迅速成为最具发展潜力的产品, 是烟草行业发展的热点领域^[1-4]。释烟介质作为加热卷烟的核心组成部分, 是烟碱和香味成分的承载者和直接递送者, 对抽吸品质起着决定作用。由于受热温度较低, 释烟介质通常需要外源性添加雾化剂才能达到较大烟气释放。雾化剂一般为多元醇, 如甘油、丙二醇等, 具有较强吸湿性, 这使得环境湿度变化对烟草颗粒水分含量波动影响增大, 而水分含量的差异对烟草原料的传热、热解、烟气成分释放以及感官质量具有重要影响^[5-10]。因此, 研究甘油、水分等因素对释烟介质热特性的基本影响规律, 可为加热卷烟产品品质稳定和提升提供有效支撑。目前国内外加热卷烟释烟介质主要包括薄片、烟丝和颗粒。与烟草薄片相比, 烟草颗粒具有配方调整空间大、加热迅速均匀、

制备工艺简便、设备投资小等显著优势。但现阶段对释烟介质基本热物特性及烟气关键成分释放研究主要集中在烟草薄片、烟丝等方面^[11-20], 对烟草颗粒的低温热解特性, 特别是烟气释放特性的研究鲜有报道。本文采用湿法造粒技术制备烟草颗粒, 利用导热系数分析仪、热重以及锥型量热仪, 考察了甘油添加量、水分含量与粒径对烟草颗粒导热特性、热解过程与烟气释放特性的影响规律, 旨在为颗粒型加热卷烟设计开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

配方烟丝 A (膨胀烟丝) 与 B (未膨胀处理烟丝) (由安徽中烟技术中心提供), 甘油 (AR 沪试, $\geq 99.0\%$), 蒸馏水, P1-6 型高剪切湿法制粒

基金项目: 中国烟草总公司新型烟草制品研制重大专项项目“基于颗粒状烟草物料的电加热不燃烧卷烟产品开发及工艺研究” (110201901007 XX-07); 中国烟草总公司重点实验室项目“卷烟包灰的燃烧热解基础及应用技术研究” (110201903002); 中国烟草总公司重点实验室项目“不同键型潜香物质热解行为及调香技术研究” (110201903003); 中国科协青年人才托举工程项目 (2016QNRC001)

作者简介: 曹芸 (1993—), 硕士, 工程师, 主要从事新型烟草制品和烟草燃烧化学研究。Tel: 0551-65738649, E-mail: yunc61@126.com

通讯作者: 张劲 (1971—), 本科, 工程师, 主要从事产品配方及材料研究。Tel: 0551-65339078, E-mail: 2291789379@qq.com

收稿日期: 2020-04-14; **网络出版日期:** 2020-12-15

机（德国 Diosna 公司），Extruder-20 型可变密度挤出机（英国 Caleva 公司），MBS-250 系统滚圆机（英国 Caleva 公司），TAQ5000 热重分析仪（美国 TA 仪器公司），锥形量热仪（英国 FTT 公司），KBF 240E6 型温湿度平衡箱（德国 BINDER 公司），HOTDISK2500S 导热系数测试仪（瑞典 HOTDISK 公司），Topsizer Plus 激光粒度分析仪（珠海欧美克仪器有限公司），气相色谱（Agilent 6890N），BP-21 毛细管柱，FID 检测器，DZF-6050 真空烘箱（上海三发科学仪器有限公司），筛网（10 目、20 目、40 目、60 目）。

1.2 方法

1.2.1 样品制备

将烟丝 A 与 B 于 50℃ 烘箱中干燥 4 h，粉碎过 100 目筛网备用。

（1）不同甘油含量样品制备：按照烟粉（配方烟丝 A）：蒸馏水 = 3:1 的质量比例搅拌均匀后取出物料，置于可变密度挤出机中均匀挤出，以 500 r/min 的转速在滚圆机上滚圆，将得到的烟草颗粒作为样品，记为 C₀。用同样方法将蒸馏水替换为甘油，制备 25% 甘油含量样品，记为 C₁，30% 含量记为 C₂，35% 含量记为 C₃。为保持各样品水分含量一致，将 C₀ 样品置于 100℃ 烘箱中处理 40 min。

（2）不同水分含量样品制备：按照方法（1）制备 25% 甘油含量烟草颗粒（配方烟丝 B），分别称取 20 g 置于温度（22±1）℃，相对湿度（30±2）%、（40±2）%、（50±2）%、（60±2）% 条件下平衡至样品恒重，得到不同水分含量烟草颗粒，依次记为 RH₁、RH₂、RH₃ 和 RH₄。

（3）不同粒径样品制备：将烟粉（配方烟丝 A）与甘油按照 7:3 的比例搅拌均匀后取出，置于滚圆机上以 1500 r/min 的转速滚圆，将颗粒依次通过 10 目、20 目、40 目与 60 目筛网，得到不同粒径烟草颗粒。10 目~20 目烟草颗粒记为 D₁，20 目~40 目烟草颗粒记为 D₂，40 目~60 目烟草颗粒记为 D₃。

1.2.2 烟草颗粒物性测试

称取 0.5 g 烟草颗粒分散于 5 mL 乙醇中，浸泡 12 h 后超声 1 h，取上清液于气相色谱进行甘油含量检测。利用真空烘箱法测试水分含量^[21]。基于 Mie 散射原理对烟草颗粒粒径进行测试^[22]，由于颗粒在溶液中易破碎，本文采用干法进行检测，以空气为分散介质，采集时间 10 s，以 D₅₀ 代表颗粒平均粒度（颗粒累计粒度分布百分数达到 50% 时所对应的粒径），测试结果均见表 1。

表 1 烟草颗粒理化指标测试结果

Tab. 1 Results of physicochemical indexes of tobacco particles

样品编号	理化指标		
	水分含量 /%	甘油含量 /%	D ₅₀ /mm
C ₀	10.74	0	1.49
C ₁	10.88	23.50	1.51
C ₂	11.03	27.27	1.54
C ₃	10.67	32.42	1.61
RH ₁	9.84	22.72	1.51
RH ₂	12.96	22.68	1.51
RH ₃	14.98	22.70	1.51
RH ₄	19.16	22.63	1.51
D ₁	9.71	25.56	1.41
D ₂	10.09	25.22	0.86
D ₃	9.34	26.21	0.58

1.2.3 烟草颗粒导热系数与比热容测试

利用瞬态平面热源法测试原理测量烟草颗粒导热系数与比热容^[23]。在 20℃ 条件下，将烟草颗粒均匀铺覆于热传感器上，测试功率为 0.008 W，数据采集时间为 80 s，重复测试 4 次，取平均值为导热系数测试结果。

在 20℃ 条件下，首先对直径为 25 mm、高度为 8 mm 的空金盘进行比热容测试，测试功率为 0.05 W，数据采集时间为 40 s，再称取（0.8±0.1）g 烟草颗粒均匀铺在金盘中进行测试，取两者差值作为单次测定结果，样品测试重复 4 次，取平均值为比热容测试结果。

1.2.4 热重测试

称取（25±1）mg 烟草颗粒置于坩埚中，在空气氛围下，以 20℃ /min 的升温速率从 40℃ 升温至 400℃，载气流速为 50 mL/min。

1.2.5 锥型量热仪测试

利用锥型量热仪测试样品烟气释放特性^[24]，参照 ISO 5660 标准程序进行。一般而言，加热卷烟受热温度不高于 350℃，因此为更好模拟烟草颗粒烟气释放行为，表面层颗粒温度应不大于 350℃（利用红外测温仪测试表面层颗粒温度）。本文选定辐射热通量为 6.8 kW/m²（表面层温度约为 300℃），将（20±1）g 烟草颗粒均匀铺满在 100×100 mm² 铝箔中，水平放置于样品台上测试烟气释放特性。烟气释放速率（SPR）为比消光面积与质量损失速率之比，单位为 m²/s，累积释烟总量（TSR）表示单位面积样品燃烧时的累积生烟总量^[25-29]，单位为 m²/m²。

2 结果与讨论

2.1 烟草颗粒传热性影响因素研究

图1为烟草颗粒在甘油含量、水分含量以及粒径的影响下,导热系数与比热容变化趋势曲线。从图1A中可看出,添加甘油后,烟草颗粒导热系数增大,这是由于室温条件下甘油导热系数与比热容较空气大,使得添加甘油后烟草颗粒的导热系数与体积比热容均呈增大趋势。在30%甘油添加量下具有最大导热系数,继续增加甘油含量至35%时,颗粒导热系数减小,比热容变化趋势与导热系数一致。有文献

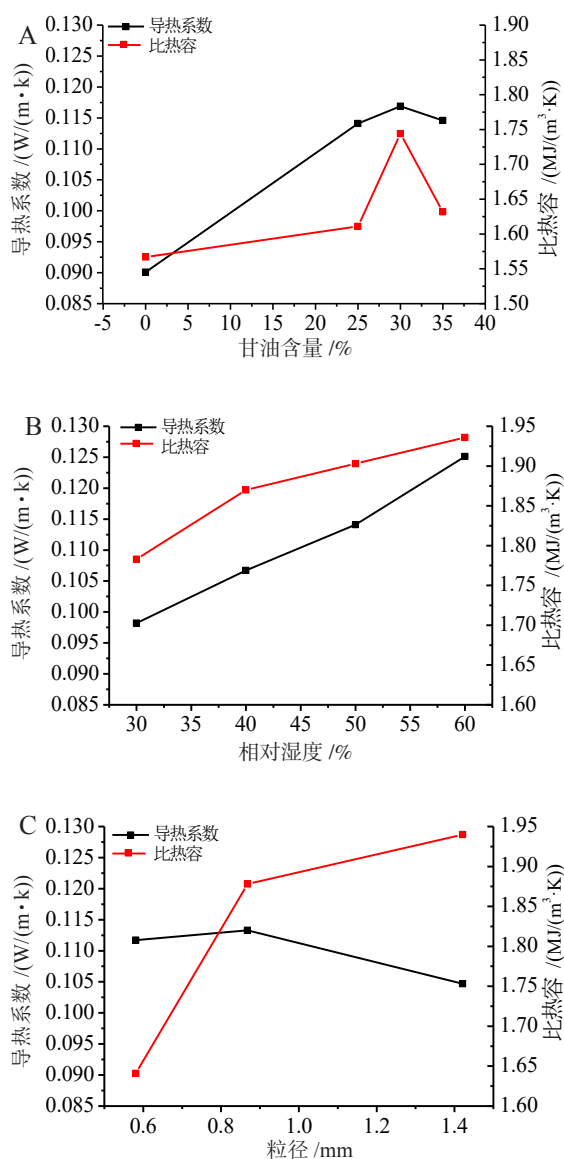


图1 烟草颗粒导热系数和比热容随甘油含量(A)、水分含量(B)和粒径(C)变化曲线

Fig. 1 Variation of thermal conductivity and specific heat capacity of tobacco particles with glycerol content (A), moisture content (B), and different particle sizes (C)

研究表明,水分含量对烟草原料导热系数与比热容的影响远大于甘油等发烟剂^[23],由此推断30%甘油含量烟草颗粒导热系数与比热容增大可能是由于其水分含量较大。随烟草颗粒水分含量增加,样品导热系数逐渐增大,60%湿度平衡条件下烟草颗粒导热系数达到0.1251 W/(m·K),较30%湿度条件下样品颗粒提高了27.4%,比热容与导热系数变化趋势一致,较30%湿度条件下样品颗粒增加了8.6%(图1B);由于烟草颗粒是通过甘油将烟粉粘合而成,烟粉间粘会形成空隙,颗粒内部为多孔结构,而粒径对多孔材料的密度、孔隙率以及空隙大小具有直接影响,进而对样品导热系数产生影响^[30]。因此,不同粒径烟草颗粒导热系数的差异本质为甘油分布以及物理结构的不同产生的。随着粒径增大,导热系数先略微增加而后降低,比热容随粒径增加则持续增大(图1C)。从比热容变化趋势可看出,随样品水分含量增加或粒径增大,比热容均呈明显上升趋势,说明在加热过程中烟草颗粒每升高单位温度需要吸收更多能量。

2.2 烟草颗粒热解特性影响因素研究

2.2.1 甘油含量

图2为不同甘油添加量的烟草颗粒热重(TG)与微分热重(DTG)曲线,从DTG曲线可看出,较C₀样品而言,添加甘油后,烟草颗粒DTG曲线发生明显变化,但不同添加量样品间DTG曲线变化趋势一

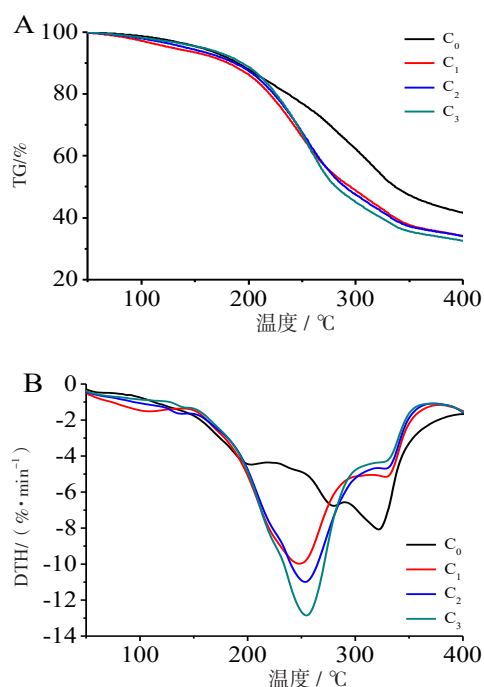


图2 不同甘油含量烟草颗粒热重(A)和微分热重(B)曲线

Fig. 2 TG (A) and DTG (B) curves of tobacco particles with different glycerol contents

致,说明添加甘油后烟草颗粒失重行为发生变化。 $50^{\circ}\text{C}\sim 140^{\circ}\text{C}$ 温度区间主要是烟草颗粒中游离态水分的蒸发,该阶段DTG曲线变化平缓,不同样品间差异较小。随加热温度升高, C_0 样品在 220°C 达到第二失重阶段,烟草材料中低沸点化合物逸出失重^[15], 400°C 达到第三失重阶段,烟草中的纤维素、半纤维素、果胶等大分子化合物开始发生有氧裂解^[11],该阶段为 C_0 样品主要失重过程,失重比例达到42.3%。添加甘油后,烟草颗粒主要失重过程发生在第二阶段($140^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$),主要是甘油、烟草易挥发性物质的释出,失重比例达到50%左右,说明添加甘油后烟草颗粒主要热失重过程发生前移,最大失重速率随甘油添加量增加而增大,而第三阶段失重速率与甘油添加量成反比,可能是由烟草材料占比不同所致。从表2可看出,与 C_0 样品对比,添加甘油后烟草颗粒固体残余量减小,而 C_1 、 C_2 与 C_3 样品间差异较小,说明甘油的添加提高了烟草颗粒总失重比例,而不同添加量间差异较小。

2.1.2 水分含量

图3为不同湿度平衡条件下烟草颗粒在空气氛围下TG与DTG曲线图,从图中可看出不同水分含量烟草颗粒的热失重过程基本一致,主要可分为三个阶

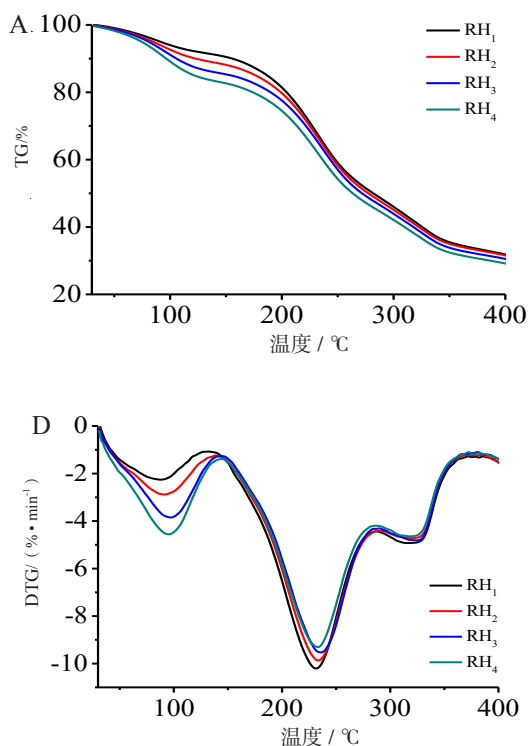


图3 不同水分含量的烟草颗粒热重(A)与微分热重(D)曲线

Fig. 3 TG(A)–DTG(D) curves of tobacco particles with different moisture content

段。结合DTG曲线与表2可看出,第一阶段烟草颗粒失重速率随水分含量增加逐渐增大,最大失重速率由 $2.259\%\cdot\text{min}^{-1}$ 增大至 $4.55\%\cdot\text{min}^{-1}$,失重比例由8.83%增加至16.66%,该阶段主要是烟草颗粒中自由水的挥发;升温至第二失重阶段时,烟草颗粒中易挥发性小分子化合物释出,样品失重速率与水分含量呈反比,这可能是由于水分含量的增加降低了水-甘油混合体系的沸点,使得甘油提前释放所致,且相邻湿度条件下烟草颗粒失重速率差较第一阶段减小;第三失重阶段,各样品间DTG曲线趋于重合,说明烟草颗粒失重速率随水分含量变化不明显,该阶段主要是生物大分子化合物裂解。由此可看出,随加热温度升高,水分含量对烟草颗粒失重速率的影响减弱,主要对游离态水、甘油等小分子化合物的释出影响较大,对大分子化合物裂解影响较小。

2.1.3 烟草颗粒粒径

图4为不同粒径烟草颗粒在空气氛围下TG与DTG曲线图。从图中可看出,不同粒径样品DTG曲线变化趋势一致。样品 D_1 与 D_2 在 $100^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 出现明显失重过程,而样品 D_3 却未出现,这可能是由于 D_3 粒径小,比表面积大,且水分由内向外扩散时距离较小,随温度升高,样品颗粒内外温差较小,水分

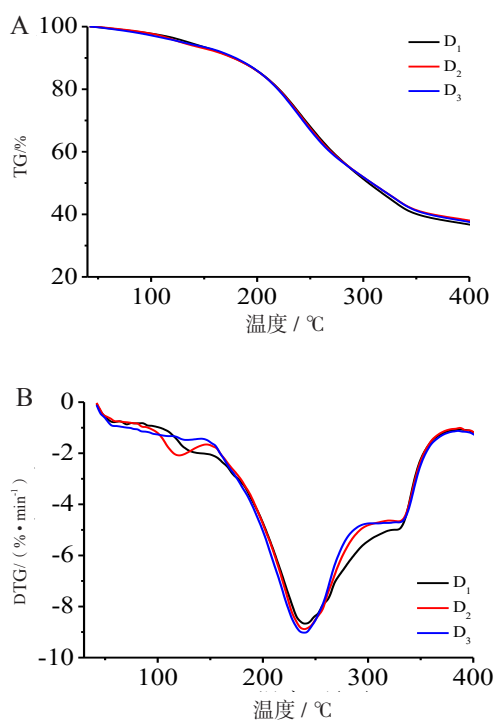


图4 不同粒径烟草颗粒热重(A)和微分热重(B)曲线图

Fig. 4 TG (A) and DTG (B) curves of tobacco particles with different particle sizes

释放均匀, 而随温度升高, 粒径带来的温度滞后效应越发明显, 使得水分释放集中在更高温度点^[31]。第二失重阶段 DTG 曲线随粒径减小整体发生左移, 烟草颗粒最大失重速率略有增大, 且随温度升高, 曲线宽化程度增大, D₁ 样品最为明显, 说明该粒径下样品挥发性成分释放延迟, 这可能是由两方面原因造成的^[32]: ①结合图 1C 中不同粒径烟草颗粒的传热系数可知, 随粒径减小, 烟草颗粒比热容减小, 导热系数整体呈上升趋势, 说明粒径的减小增强了颗粒间的导热能力以及内部均热化能力, 有利于挥发分析出; ②随粒径减小, 挥发性成分由内往外扩散时阻力减小。三个样品在裂解阶段 DTG 曲线几乎重合, 说明粒径对该阶段失重速率几乎无影响。

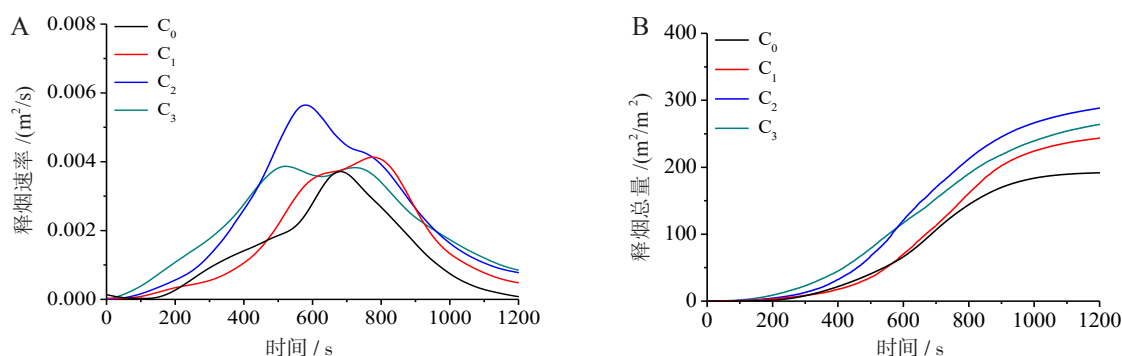
2.3 烟草颗粒烟气释放特性影响因素研究

2.3.1 甘油含量

表 2 烟草颗粒失重比例与固体残留量

Tab. 2 Mass loss ratio and solid residue of tobacco particles %

样品	第 1 阶段	第 2 阶段	第 3 阶段	固体残留量
C ₀	3.73	12.65	42.36	41.26
C ₁	5.94	49.05	11.15	33.86
C ₂	4.93	51.17	10.14	33.76
C ₃	3.96	54.42	9.27	32.35
RH ₁	8.83	42.95	15.68	32.54
RH ₂	11.18	41.56	15.03	32.23
RH ₃	14.04	39.92	14.88	31.16
RH ₄	16.66	39.19	14.36	29.79
D ₁	5.50	43.17	14.59	36.74
D ₂	6.11	41.99	13.86	38.04
D ₃	5.78	42.31	14.35	37.56



注: 累积释烟总量为单位面积烟草颗粒加热时烟雾释放总量^[25-29]。

图 5 不同甘油含量样品释烟速率 (A) 与释烟总量 (B) 曲线

Fig. 5 Smoke release rate (A) and total smoke release amount (B) curves of samples with different glycerol contents

图 5 为 300℃ 加热温度下, 不同甘油含量的烟草颗粒释烟速率与释烟总量随时间变化曲线图。从图中可以看出, 对于未添加甘油的样品 C₀, 释烟速率随加热时间延长逐渐增大, 565 s 后释烟加速, 并在 681 s 达到峰值 0.0037 m²/s。添加 25% 甘油后 (样品 C₁), 释烟速率曲线分化出两个释烟峰。第一释烟阶段 (0 s~600 s), 释烟速率随甘油添加量增加呈上升趋势, 起始释烟时间前移, 达到释烟速率峰值时间缩短, 值得注意的是, 第一阶段最大释烟速率依次为 30% 甘油 > 35% 甘油 > 25% 甘油, 结合图 1A 导热系数测试结果, 可能是由于导热性提高, 热传递加快, 有利于释烟物质释放。加热至 600 s~1200 s, 释烟进入第二阶段, 从图 5A 中可以看出, 25% 甘油含量的样品释烟峰最为明显, 35% 甘油含量样品次之, 30%

甘油含量样品最不明显, 可能是烟草颗粒样品释烟物质提前挥发所致, 在 900 s 后, 释烟速率整体上与甘油含量成正比。图 5B 显示, 添加甘油后烟草颗粒释烟总量提高, 且第一阶段释烟总量与甘油添加量成正比, 600 s 后 C₂ 样品释烟总量高于 C₃, 可能是由于甘油添加量过高, 挤出后颗粒紧实度增大, 影响烟气的挥发释放。

2.3.2 水分含量

图 6 为在 300℃ 加热温度下, 不同水分含量的烟草颗粒释烟速率与释烟总量随时间变化曲线。从图 6A 中可看出不同样品的释烟速率变化趋势一致, 以 RH₁ 样品为例进行分析: (1) 第一阶段 (0 s~670 s) 释烟速率随时间呈上升趋势, 并在 507 s 达到最大释烟速率 0.0062 m²/s, 主要是烟草颗粒中的水分、甘油

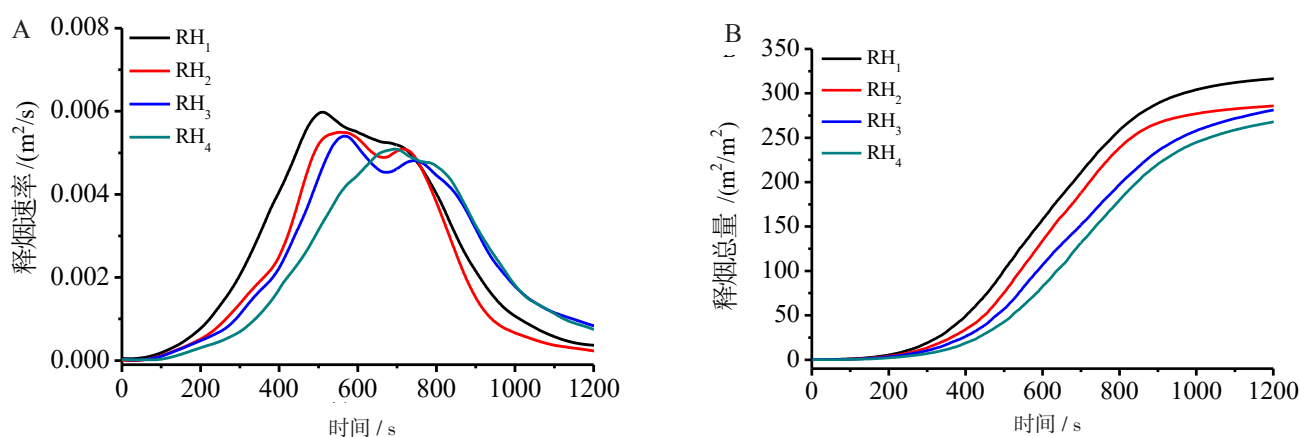


图 6 不同水分含量烟草颗粒的释烟速率 (A) 与总释烟量 (B)

Fig. 6 Smoke release rate (A) and total smoke release amount (B) curves of tobacco particles with different moisture contents

的释放；(2) 随加热时间延长，烟草颗粒进入第二释烟阶段（670 s~1200 s），烟草物料自身易挥发性物质开始不断逸出释烟。随水分含量增加，释烟曲线在第一阶段呈现不同程度右移，说明释烟过程随水分含量增加发生延迟。该阶段质量损失结果（图 7）显示，随水分含量增加，曲线第一峰值增大，结合图 1B 分析曲线右移可能是由于样品颗粒比热容随水分含量增加而增大，且水沸点低易于挥发，加热初期更多热量被用于水分的挥发，以甘油为主的释烟物质挥发速率减小。在加热时间内，RH₁ 与 RH₂ 样品释烟总量已基本达到最大值，RH₃ 与 RH₄ 样品仍处于增长趋势，释烟总量随水分含量的增加由 316.56 m²/m² 减小至 267.83 m²/m²，说明降低烟草颗粒水分含量，有利于提高释烟总量。

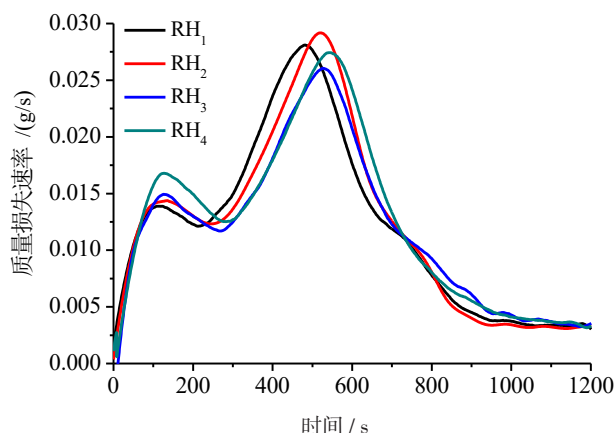


图 7 不同水分含量的烟草颗粒质量损失速率曲线

Fig. 7 Mass loss rate curves of tobacco particles with different moisture contents

2.3.3 粒径

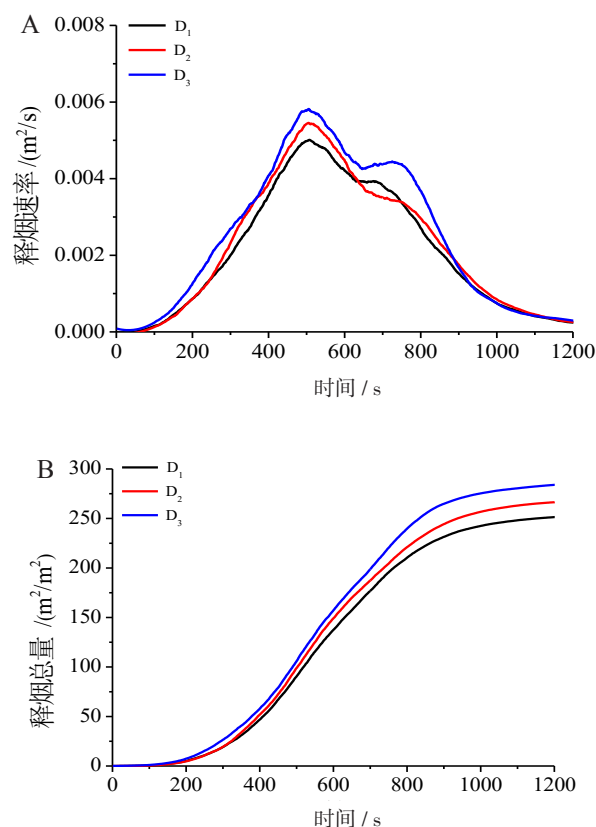


图 8 不同粒径烟草颗粒释烟速率 (A) 与释烟总量 (B) 曲线图

Fig. 8 Curves of smoke release rate (A) and total smoke release amount (B) of tobacco particles with different particle sizes

图 8A 为 300℃ 加热温度下不同粒径烟草颗粒释烟速率随时间变化曲线图。从图中可看出不同粒径样品释烟变化趋势一致，第一阶段释烟速率随粒径减小而增大，释烟峰值由 0.0050 m²/s 增大至 0.0058 m²/s，第二阶段释烟速率较第一阶段明显降低，D₃

粒径样品具有最大释烟速率。释烟总量(图 8B)随粒径减小呈上升趋势,且在第二阶段各样品间差异明显。这可能是由于加热初期对流与辐射加热使得颗粒表面升温速率较快^[33],颗粒表面积增大,释烟速率增大,释烟总量增加;随加热时间延长热量由外向内传递,粒径减小颗粒均热化能力提高,有利于烟草颗粒达到辐射目标温度,同时,释烟物质由内向外迁移距离随粒径减小而缩短,进一步提高释烟速率与释烟总量。

3 结论

(1) 添加甘油后烟草颗粒导热性明显提升,但不同添加量间差异较小;水分含量对样品导热性影响显著,且随含量增加呈上升趋势,不同甘油含量与水分含量样品比热容变化规律与导热系数一致;随粒径增大,样品颗粒导热系数略微增大后呈明显下降趋势,比热容持续增大。

(2) 与不含甘油样品相比,添加 25% 甘油后,烟草颗粒主要失重温区由 220℃~400℃前移至 140℃~310℃;自由水挥发过程受样品水分含量影响最大,且失重速率与水分含量呈正比增大;甘油含量对样品主要热失重过程影响最大,水分含量次之,粒径最小,且最大失重速率与甘油含量和粒径均呈正增长趋势,水分含量则与之相反;高温裂解阶段样品失重速率随甘油含量增加而减小,而水分含量与粒径对其基本无影响。

(3) 随甘油添加量增加,样品起始释烟速率增大,导热性最好的样品具有最大释烟速率,释烟总量增加,但添加量过多(35%)时会发生降低;增加样品水分含量,烟气释放过程整体延迟,释烟总量降低;减小样品粒径有利于提高释烟速率,增大释烟总量。

参考文献

- [1] 孙学辉,赵乐,王宜鹏,等. 无烟烟草制品的发展现状和趋势[J]. 烟草科技, 2015, 48(11):83-90.
SUN Xuehui, ZHAO Le, WANG Yipeng, et al. Status quo and development trend of smokeless tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(11): 83-90.
- [2] 陈超英. 变革与挑战:新型烟草制品发展展望[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3):14-18.
CHEN Chaoying. Change and challenge: outlook for development of new tobacco products[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(3): 14-18.
- [3] 窦玉青,沈轶,杨举田,等. 新型烟草制品发展现状及展望[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(05):92-97.
DOU Yuqing, SHEN Yi, YANG Jutian, et al. The development and prospect of novel tobacco products [J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(05):92-97.
- [4] 金鑫. 新型烟草制品发展状态及预测[J]. 中国市场, 2019(12): 59-60.
JIN Xin. Development status and forecast of new tobacco products[J]. China Market, 2019(12):59-60.
- [5] 黎洪利,文鹏,戴迎雪,等. 烟支含水率对卷烟烟气成分的影响[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(02):10-14.
LI Hongli, WEN Peng, DAI Yingxue, et al. Effects of moisture content on mainstream cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2009, 15(02):10-14.
- [6] 司晓喜,张凤梅,赵乐,等. 不同烟丝含水率卷烟主流烟气气溶胶的粒径分布特征[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(05):1-6.
SI Xiaoxi, ZHANG Fengmei, ZHAO Le, et al. Particle size distribution of aerosols in mainstream smoke of cigarettes with different moisture content in cut tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(05):1-6.
- [7] 刘志华,杨松,王昆森,等. 烟丝含水率对主流烟气 CO 等 7 种有害成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2012(01):29-33.
LIU ZhiHua, YANG Song, WANG Kunmiao, et al. Effects of moisture content in cut tobacco on deliveries of 7 harmful compounds in mainstream cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2012(01):29-33.
- [8] 刘泽,何邦华,杨蕾,等. “干头干尾”烟丝挥发性香味物质的主成分聚类分析[J]. 烟草科技, 2015, 48(02):47-52.
LIU Ze, HE Banghua, YANG Lei, et al. Principal component cluster analysis of volatile aroma components in over-dried cut tobacco produced in start and finish stages of drying process [J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(2): 47-52.
- [9] 阎瑾. 环境湿度对卷烟烟气成分和风格品质的影响[J]. 食品与机械, 2017,33(11):47-51.
YAN Jin. Influence of environmental humidity on cigarette smoke components and sensory features[J]. Food & Machinery, 2017, 33(11):47-51.
- [10] 杨凯,张朝平,余苓,等. 卷烟烟气水分对感官舒适度的影响[J]. 烟草科技, 2009(07):9-11.
YANG Kai, ZHANG Chaoping, YU Ling, et al. Effects of moisture content in cigarette smoke on sensory coziness[J]. Tobacco Science & Technology, 2009, 07:9-11.
- [11] 杨继,杨帅,段沅杏,等. 加热不燃烧卷烟烟草材料的热分析研究[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(6): 7-13.
YANG Ji, YANG Shuai, DUAN Yuanxing, et al. Investigation of thermo gravimetry and pyrolysis behavior of tobacco material in two heat-not-burn cigarette brands[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(6): 7-13.
- [12] 戴路,史春云,卢昕博,等. 加热不燃烧制品与传统卷烟再造烟叶物理特性及化学成分差异分析[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(1): 20-26.
DAI Lu, SHI Chunyun, LU Xinbo, et al. Difference analysis on physical characteristics and chemical components of reconstituted tobacco used in traditional cigarettes and heat not burn tobacco products [J]. ActaTabacariaSinica, 2017, 23(1): 20-26.
- [13] 马鹏飞,李巧灵,林凯,等. 加热非燃烧烟草薄片的热解特征研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(04): 71-74.
MA Pengfei, LI Qiaoling, LIN Kai, et al. Study on pyrolysis characteristic of the heat-not-burn reconstituted tobacco[J]. Food & Machinery, 2018, 34(04): 71-74.
- [14] 龚淑果,刘巍,黄平,等. 加热不燃烧卷烟烟气主要成分的逐口释放行为[J]. 烟草科技, 2019, 52(02): 62-71.
GONG Shuguo, LIU Wei, HUANG Ping, et al. Puff-by-puff release of main aerosol components from two commercial heat-not-burn tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(02): 62-71.

- [15] 唐培培, 曾世通, 刘珊, 等. 甘油对烟叶热性能及加热状态下烟气释放的影响 [J]. 烟草科技, 2015, 48(3):61-65.
TANG Peipei, ZENG Shitong, LIU Shan, et al. Effects of glycerol on thermal property and smoke release of tobacco leaves under heating[J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(3): 61-65.
- [16] 张洪非, 姜兴益, 庞永强, 等. 两种抽吸模式下加热不燃烧卷烟主流烟气释放物分析 [J]. 烟草科技, 2018, 51(09):40-48.
ZHANG Hongfei, JIANG Xingyi, PANG Yongqiang, et al. Analysis of mainstream aerosol emissions of heat-not-burn tobacco products under two puffing regimes[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(9): 40-48.
- [17] 朱浩, 席辉, 柴国璧, 等. 温度对加热非燃烧卷烟烟熏香成分释放的影响 [J]. 烟草科技, 2017, 50(11):33-38.
ZHU Hao, XI Hui, CHAI Guobi, et al. Effects of heating temperature on release of smoky aerosol components from heat-not-burn tobacco products[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(11):33-38.
- [18] 李朝建, 金勇, 周成喜, 等. 水分含量对不同类型加热不燃烧卷烟化学成分的影响 [J]. 食品与机械, 2019, 35(10):35-39.
LI Chaojian, JIN Yong, ZHOU Chengxi, The effect of moisture content on chemical components of different types of heat-not-burn tobacco products[J]. Food & Machinery, 2019, 35(10):35-39.
- [19] 周顺, 宁敏, 王孝峰, 等. 基于可控等值比法实时分析低温加热状态下烟草 CO 的释放量 [J]. 烟草科技, 2015, 48(3):23-27.
ZHOU Shun, NING Min, WANG Xiaofeng, et al. A controlled equivalence ratio method for real-time analysis of CO emission from tobacco heated at low temperature[J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(3):23-27.
- [20] 周顺, 王孝峰, 郭东锋, 等. 低温加热状态下烤烟气溶胶释放量及其影响因素 [J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 34-40.
ZHOU Shun, WANG Xiaofeng, GUO Dongfeng, et al. Amount of aerosol released from flue-cured tobacco leaves heated at low temperature and influencing factors thereof [J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(5): 34-40.
- [21] 董川. 枸杞水分测定中减压干燥法与蒸馏法的比较 [J]. 食品安全导刊, 2017(30):99.
DONG Chuan, Comparison of vacuum drying method and distillation method in the determination of water content of Lycium barbarum[J]. China Food Safety Magazine, 2017(30):99.
- [22] 刘培炎. 激光粒度仪干法和湿法测试在涂料粒径分析中的应用 [J]. 涂料工业, 2016, 46(12):58-62.
LIU Peiyan. Application of dry disperse method and wet disperse method of laser particle size analyzer in particle size analysis of coatings[J]. PAINT & COATINGS INDUSTRY, 2016, 46(12):58-62.
- [23] 马亚萍, 刘朝贤, 王乐, 等. 不同温度条件下烟丝一发烟剂体系热物性研究 [J]. 食品与机械, 2017, 33(09):69-73.
MA Yaping, LIU Chaoxian, WANG Le, et al. Study on thermo physical properties of tobacco and smoke agent under different temperature. Food & Machinery, 2017, 33(09):69-73.
- [24] 王程辉, 周顺, 徐迎波, 等. 再造烟叶丝、膨胀烟丝和膨胀梗丝的燃烧特性 [J]. 烟草科技, 2013, 01:5-9.
WANG Chenghui, ZHOU Shun, XU Yingbo, et al. Combustion characters of cut reconstituted tobacco, expanded cut tobacco and expanded cut stem[J]. Tobacco Science & Technology, 2013,01:5-9.
- [25] Yuan-Wei Yan, Li Chen, Rong-Kun Jian, et al. Intumescence: An effect way to flame retardance and smoke suppression for polystyrene. 2012, 97(8):1423-1431.
- [26] Ying Pan, Longxiang Liu, Wei Cai, et al. Effect of layer-by-layer self-assembled sepiolite-based nanocoating on flame retardant and smoke suppressant properties of flexible polyurethane foam. 2019, 168:230-236.
- [27] Yao Yuan, Yongqian, Bin Yu, et al. Facile synthesis of aluminum branched oligo(phenylphosphonate) submicro-particles with enhanced flame retardance and smoke toxicity suppression for epoxy resin composites - ScienceDirect[J]. Journal of hazardous materials, 381:121233-121233.
- [28] 王庆国, 张军, 张峰. 锥形量热仪的工作原理及应用 [J]. 现代科学仪器, 2003(06): 36-39.
WANG Qingguo, ZHANG Jun, ZHANG Feng. The Principle and Application of the Cone Calorimeter [J]. Modern Scientific Instruments, 2003(06): 36-39.
- [29] 曹芸, 王鹏, 鲍穗, 等. 温度与甘油对烟草颗粒热解及释烟特性的影响 [J]. 烟草科技, 2020, 53(8):79-85.
CAO Yun, WANG Peng, BAO Sui, et al. Effects of temperature and glycerol on pyrolysis and smoke release of reconstituted tobacco particles [J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(8):79-85.
- [30] 刘晓燕, 郑春媛, 黄彩凤. 多孔材料导热系数影响因素分析 [J]. 低温建筑技术, 2009, 31(09):121-122.
LIU Xiaoyan, ZHENG Chunyuan, HUANG Caifeng. Analysis effect factor of thermal conductivity for porous materials[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2009, 31(09):121-122.
- [31] 郭高飞, 刘朝贤, 李斌, 等. 烟粉和烟丝的热解燃烧特性及反应动力学分析 [J]. 烟草科技, 2019, 52(6):90-98.
GUO Gaoifei, LIU Chaoxian, LI Bin, et al. Investigation on pyrolysis/combustion characteristics and reaction kinetics of tobacco strands and tobacco powder[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(6): 90-98.
- [32] YANG Yi, JIN Shiping, CHENG Gang, et al. Pyrolysis of Tobacco Rob: Effect of Particle size on Kinetic Study [C], 2017.
- [33] 孔火良. 流化床气化炉内煤颗粒的升温过程及影响 [J]. 燃料与化工, 2009, 40(02):15-18.
KONG Huoliang. Temperature rise process of coal particle in a fluidized bed gasifier and its influence[J]. Fuel & Chemical Processes, 2009, 40(02):15-18.

Study on influential factors of pyrolysis and smoke release characteristics of tobacco particles

CAO Yun¹, ZHANG Jin^{*1,2}, WANG Peng¹, ZHOU Shun^{1,2}, WANG Xiaofeng¹, ZHANG Yaping^{1,2},
ZHANG Xiaoyu¹, WANG Chenghu¹, LI Yanyan¹, GUAN Mingjing¹, CHEN Gang², HUANG Lan²

1 Key Laboratory of Combustion & Pyrolysis Study of CNTC, Anhui Tobacco Industrial Co., Ltd., Hefei 230088, China;

2 Key Laboratory for Tobacco Chemistry of Anhui Province, Anhui Tobacco Industrial Co., Ltd., Hefei 230088, China

Abstract: [Objective] This study aims to reveal the pyrolysis characteristics and smoke release law of tobacco particles under heating conditions. [Methods] The effects of glycerol content, moisture content, and particle size of tobacco particles on their thermal conductivity, pyrolysis, and smoke emission were investigated using thermal conductivity tester, thermal gravimetric analyzer (TGA) and cone calorimeter (CONE). [Results] (1) The thermal conductivity of samples presented an increasing trend, with the rising contents of glycerol and moisture and the decrease of particle sizes. The change trend of specific heat capacity of samples with different moisture and glycerol content was basically consistent with the thermal conductivity coefficient, and the specific heat capacity continued to decrease with the decrease of particle size. (2) The addition of glycerol dramatically increased the percentage of mass loss at low temperature range from 140°C to 300°C, and made it become the major mass loss stage. The influence of moisture content on the mass loss rate of tobacco particles was weakened gradually with the rise of temperature. Moisture content mainly affected the emission of dissociative water, glycerol and small molecules under low temperature. The main mass loss process of samples slightly shifted to low-temperature range with the decrease of tobacco particles sizes. (3) The increase of glycerol content (within 30%), decrease of water content and decrease of particle size were all beneficial to shortening the initial release time of tobacco smoke, accelerating the smoke produce rate, and raising the total smoke rate.

Keywords: tobacco particles; pyrolysis characteristic; smoke release characteristic; glycerol; moisture; particle size

*Corresponding author. Email: 2291789379@qq.com

《烟草科技》2021 年第 2 期目次

· 烟草农学

烟草甲对不同波长光源的趋性及视蛋白序列分析
.....臧 云, 纪桂霞, 杨 鹏, 等
烟草烟碱相关 miRNA 筛选及验证
.....许亚龙, 陈千思, 谢小东, 等
双抗烟草黑胫病和 TMV 种质的创制
.....方敦煌, 童治军, 焦芳婵, 等
基于室内人工接虫法的象虫金小蜂防治烟草甲幼虫的可行性
分析.....郭建华, 吕建华, 王桂瑶, 等
柳叶亚菊挥发油对烟草甲与赤拟谷盗的毒杀作用
.....杨盈盈, 邵亚洲, 石毛宁, 等

· 烟草化学

卷烟主流烟气辛香特征成分组群的分布特征及感官贡献
.....范 武, 何 峰, 姬凌波, 等
加热卷烟水分活度的测定及随存放时间的变化
.....司晓喜, 向本富, 朱瑞芝, 等
基于 AB-8 大孔吸附树脂制备余甘子果实精制物及其在卷烟
中的应用.....叶 烨, 李东亮, 耿宗泽, 等

· 烟草工艺

烟粉粒径对加热卷烟专用稠浆法再造烟叶品质的影响
.....田永峰, 董高峰, 缪明明, 等
基于烟丝风速比控制的丘堆状风力喂丝工艺
.....廖和滨, 李晓刚, 张 伟, 等
国内电子烟市场产品特征分析.....金吉琼, 陈超, 胡佳倩, 等

· 仪器与设备

基于深度神经网络的卷烟智能投放模型构建方法
.....邓 超, 刘 颂, 王露笛, 等
辊轴式片烟尺寸调控系统的设计与应用
.....赵森森, 王宝林, 杨永峰, 等
用于通风率标准棒期间核查的标准装置设计
.....崔 廷, 苏东赢, 王娟娟, 等

· 综述

国外袋装型口含烟产品调研分析
.....汪 刚, 张怡春, 王雨青, 等
电子烟消费者抽吸参数研究进展.....赵阁, 李翔, 赵俊伟, 等