



引用格式:李学红,郭洋,王相凡,等.环糊精在烟草行业中的应用之研究进展[J].轻工学报,2019,34(2):1-9.

中图分类号:TS41⁺1 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2019.02.001

文章编号:2096-1553(2019)02-0001-09

环糊精在烟草行业中的应用之研究进展

Progress in application of cyclodextrins in tobacco industry

李学红¹,郭洋¹,王相凡²,于国强²,丁红营²,杨峰²,许红涛²
LI Xuehong¹, GUO Yang¹, WANG Xiangfan², YU Guoqiang², DING Hongying²,
YANG Feng², XU Hongtao²

1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院,河南 郑州 450001;

2. 河南卷烟工业烟草薄片有限公司,河南 许昌 461000

1. College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

2. He'nan Cigarette Industry Tobacco Flakes Co., Ltd., Xuchang 461000, China

摘要:对环糊精应用于烟草行业减焦降害、加香、成分检测等方面的研究进展与现状进行综述,指出:环糊精对烟气中有害成分的包埋,可以减轻有害成分被人体吸入的程度;环糊精对烟草风味成分、烟用香精香料的包埋,可以使香气持续微量释放,增加卷烟烟气的香味量,改善香气质;环糊精对客体的包埋,对客体分子结构具有手性识别能力,可用于烟草成分中同分异构体的检测;环糊精与抗氧化功能成分的包埋物添加于烟草,有助于提高卷烟保健功能;环糊精的添加也能提高卷烟的增润功能和稳定性。但是环糊精在烟草行业的总体应用水平还不高,未来的研究重点将集中在:1)利用不同类型的环糊精对各种有害成分和香味组分的截留与缓释特点,开发混合环糊精应用技术以提高保香降焦的效果;2)利用环糊精的包埋能力进行保香,以解决再造烟叶生产过程中真空浓缩及热干燥工序烟草风味成分大量损失的问题;3)利用环糊精优良的乳化特性,制备网络结构稳定的水包油乳化体系,通过喷雾或涂抹添加于卷烟,赋予烟草制品特殊的功能特性。

关键词:

环糊精;包埋特性;减焦降害;烟草加香;成分检测

Key words:

cyclodextrins;
embedment property;
reducing tar and
decreasing damage;
tobacco flavoring;
component detection

收稿日期:2018-10-24

基金项目:河南卷烟工业烟草薄片有限公司合作项目

作者简介:李学红(1969—),女,河南省荥阳市人,郑州轻工业大学教授,主要研究方向为环糊精的应用研究。

通信作者:王相凡(1971—),男,河南省南阳市人,河南卷烟工业烟草薄片有限公司工程师,主要研究方向为烟草加工。

Abstract: The research progress and present situation of cyclodextrin being applied to tobacco industry were reviewed, including the reducing tar and reducing damage, tobacco flavoring and component detection. It was pointed out that the embedment of harmful components in tobacco smoke could reduce the inhalation degree of harmful components. The embedment of tobacco flavor components and fragrances following the addition of cyclodextrin could lead to the continuous release of aroma, thereby increasing the aroma content of cigarette smoke and improving the aroma quality. The embedment of the object by cyclodextrin had chiral recognition ability to the molecular structure of the object, which could be used for the detection of isomers in various components of tobacco. The embedment of antioxidant components by cyclodextrin and their addition into tobacco could improve the health function of tobacco. The addition of cyclodextrin could improve the moisturizing function and stability of tobacco. However, the overall application of cyclodextrin in tobacco industry was still limited and the future research should focus on as follows: 1) Utilizing the characteristics of different types of cyclodextrins to intercept and sustain the release of harmful components and aroma components to develop the mixed cyclodextrin application technology and improve the effect of aroma retention and tar reduction. 2) Using the embedment ability of cyclodextrin to preserve aroma, in order to solve the loss of tobacco flavor components during the vacuum concentration and hot drying process in reconstituted tobacco industry. 3) Using the excellent emulsifying properties of cyclodextrins to prepare the oil/water emulsion system with stable network structure, which was added into the cigarette by spraying or smearing method, giving the tobacco products special functional characteristics.

0 引言

中式卷烟生产的核心是“低焦油、低危害、高香气”。如何降低卷烟中有害成分及焦油含量,防止烟草中香味物质损失、增进卷烟香味,一直是烟草加工业面临的主要问题。环糊精(CD)是一类由淀粉生物转化而得到的环状麦芽低聚糖,其分子呈中空的圆锥形结构,具有包埋疏水性客体的特性,能够提高被包埋物的水溶性、稳定性,可实现缓释和靶向运输等^[1]。环糊精的这种优良包埋特性在烟草行业有十分突出的应用优势。研究发现^[2],环糊精可以包埋烟草中有害成分以减少其释放,还可以通过包埋烟草风味成分来增香或降低其贮存过程中的香味损失等,从而达到提高香烟品质的目的。

环糊精在烟草生产加工领域具有良好的应用潜力,目前国内外相关文献资料大多为环糊精在烟草领域应用方面的专利。本文拟对研究论文和专利文献进行梳理,从具有代表性的减焦降害、烟草加香、成分检测等方面综述环糊精的研究与应用现状,旨在为国内烟草行业从业

者提供相关信息参考,促进环糊精在烟草领域的开发与应用。

1 环糊精在烟草减焦降害中的应用

在吸烟过程中,由于卷烟的不完全燃烧,可产生一氧化碳、酚类物质、亚硝胺、焦油等有害物质,其中焦油是多种烃类及烃的氧化物、硫化物和氯化物的复杂混合物,是烟气中最具有危害的成分。目前,常用的降害措施是改良卷烟的结构和材质,如使用复合滤嘴、提高滤嘴通风透气度、使用高透气和静燃速率快的卷烟纸、掺用膨胀烟丝和膨胀梗丝等^[3]。由于环糊精对有机化合物具有选择性包埋作用,主流烟气中的气相及粒相物有害成分大多可被环糊精包埋截留,因此将环糊精添加或固载到卷烟特别是滤嘴材料中,可以取得很好的减焦降害效果。环糊精也可以与传统烟草降害措施协同作用,强化传统降害措施的效果。

1.1 降低气相烟气中酚类物质的含量

卷烟烟气中的酚类物质有40多种,主要来源于烟叶中多酚类化合物的裂解,对卷烟的香

气品质有很重要的影响.但其中的间甲苯酚、对甲苯酚和邻甲苯酚等苯酚类物质具有致癌作用,需要尽量降低其含量.

将环糊精应用在卷烟滤嘴中,可选择性地强化滤嘴对有害成分苯酚等的截留.徐志康等^[4]将环糊精接枝到异氰酸酯活化的醋酸纤维素上,通过静电纺丝将此环糊精改性纳米醋酸纤维沉积应用到滤嘴丝束和卷烟纸上,可以有选择性地显著降低主流烟气中的苯酚含量;徐建等^[5]利用交联剂制备了环糊精聚合物加入到香烟滤嘴中,通过环糊精选择性包埋和聚合物网络吸附协同作用,不仅有效地降低了烟气中苯酚的含量,还保持了香烟的内在品质.壳聚糖是一种经常被应用于烟草中的功能性聚糖^[6],郑琴等^[7]将 β -环糊精以质量分数0.3%的添加量加入壳聚糖等多聚糖中制成 β -环糊精复合颗粒,将此复合颗粒以5~30 mg/支的添加量加入到卷烟滤嘴丝束中,制得的滤嘴棒能够降低烟气中的酚类有害物质的同时,还能够赋予卷烟特殊性能,改善卷烟的感官品质.

1.2 降低烟气中亚硝胺等物质的含量

烟草中特有的亚硝胺(TSNAs)具有强致突变性.已有不少研究成果表明,利用环糊精能够降低主流烟气TSNAs含量.Y. Wang等^[8]研究了环糊精与挥发性亚硝胺的包埋吸附和热降解行为,发现环糊精可以有选择性地吸附亚硝胺形成包合物,程序升温后被环糊精捕获的亚硝胺没有解吸,而是降解形成了氮,这对于环糊精去除卷烟中亚硝胺致癌物是非常有意义的结果.D. I. Hadaruga等^[9]则从另一方面揭示了环糊精降低烟气中亚硝胺含量的机理,即吸烟过程中具致癌性的亚硝胺可由某些烟草生物碱转化而来,但尼古丁作为参与烟气中亚硝胺代谢的CYP2E1酶抑制剂,可以有效降低亚硝胺的生成.而环糊精对尼古丁的包埋作用大大提高了尼古丁的热稳定性及抗氧化性,从而达到了

抑制亚硝胺的目的.

在具体实践中,王英等^[10]直接将相当于烟丝质量0.1%~5%的环糊精溶液喷洒在烟丝上,晾干之后即在烟丝上形成一个均匀吸附层,可以有效去除主流烟气中50%~60%,侧流烟气中17%~48%的亚硝胺,而原有烟丝的色泽和吃味不变.如果通过有机多羧酸将环糊精负载到醋酸纤维素表面,环糊精改性纤维滤嘴可以将主流烟气中亚硝胺的总量减少48%.李朝建等^[11]制备了壳聚糖-环糊精聚合物和环糊精-茶多酚包合物,将聚合物或包合物分别添加进卷烟滤棒中制备二元复合滤嘴.在吸烟过程中,两种滤嘴都可以对烟气中的亚硝胺进行选择性的吸附,实现高效降害,且茶多酚的抗氧化性也得到一定程度提高.

此外,环糊精还可以降低主流烟气中挥发性羰基化合物含量.这些挥发性羰基化合物主要包括甲醛、乙醛、丙酮、丙烯醛、丙醛等,可增加烟气的刺激性和干燥感,严重影响卷烟的抽吸品质和消费者的身体健康^[12].例如,乙醛是卷烟主流烟气中含量较高的挥发性羰基化合物,目前生产中常用的滤嘴对其截留效率非常低.通过 β -环糊精结合一些吸附剂应用于卷烟滤嘴棒中,则能够对卷烟中低分子醛进行有效吸附^[13].

1.3 去除颗粒物中有害物质

环糊精对烟气焦油等有害成分有很好的包埋作用,可以应用在成形纸、滤嘴丝束中,有效去除烟气颗粒物中有害物质.以卷烟滤嘴为例,目前我国使用最广的聚丙烯(PP)纤维滤嘴材料降焦效果差,如将 β -环糊精通过物理涂覆的方法添加到聚丙烯纤维表面,能够使其表面粗糙度增大、极性增强,降焦性能大大提高.穆丽娟^[14]研究发现,当 β -环糊精使用量为1.5%时,总颗粒物 and 焦油分别比未改性纤维降低24.18%和29.51%,滤嘴过滤效率比之前提高

了17.74%。环糊精也可提高醋纤滤嘴的性能。李丕高等^[15]将 β -环糊精的三醋酸甘油酯悬浮液均匀喷涂到醋纤丝束上,制成了 β -环糊精含量为2 mg/支的滤棒,接装此滤嘴的卷烟总粒相物、焦油和烟碱分别比普通醋纤滤嘴降低了13.17%,14.15%和4.20%。

除传统纤维滤嘴外,环糊精还可应用于新型可降解滤嘴材料中,在其中发挥降害除焦作用。例如,聚乳酸是一种理想的生物可降解材料,经纺织和后处理后可制成烟用过滤棒丝束,经环糊精接枝后,对烟气的吸附性能大为提高,部分指标已经超过了醋酸纤维素过滤嘴棒^[16]。被称为环糊精之父的匈牙利的J. Szejtli等^[17],将环糊精高量固载到一些天然纤维表面,其中一种材料含有50%的 γ -环糊精,将其均匀加入卷烟滤棒中,一个滤嘴可以吸收6 mg焦油和2.8 mg尼古丁,对焦油和尼古丁的过滤效率分别达55%和90%。

成形纸包裹丝束组成滤嘴,成形纸的透气度直接影响抽吸时卷烟进入人体的焦油量^[18]。 β -环糊精可以和生物可降解材料聚乳酸形成共聚物,将此共聚物涂覆在纤维素纸上制成滤嘴成形纸,由于涂层对有害成分的截留作用,可有效降低卷烟焦油和一氧化碳的释放量^[19]。

1.4 降低二手烟危害

“二手烟”是指香烟燃烧时释放的粒子和气体可依附在墙壁、衣服等周围环境中存留几天、几周甚至数月,这些存留烟雾易被人体再吸入,对健康造成危害。J. Setthayanond等^[20]通过将一氯三嗪- β -环糊精(MCT- β -CD)接枝到棉织品纤维上,使得该改性衣物面料对烟雾中的尼古丁有包埋作用,从而显著降低了衣物中尼古丁的释放量(降低率达65.5%),同时衣物上的烟雾气味也明显减少。此外,使用多羧酸类交联剂可将 β -环糊精交联接枝到其他纺织纤维上,也能达到降低二手烟有害气体的作

用^[21]。在活性包装领域,将环糊精及其衍生物加入到包装材料中,可以减少空气中香烟烟雾和废气成分对产品的渗透^[22],对保证产品的品质有积极作用。

因此,将环糊精添加或固载到卷烟滤嘴丝束或成形纸上,通过环糊精对卷烟烟气中有害酚类物质、亚硝胺类物质、焦油等的包埋截留,可以有效提升卷烟的去害降焦效果。在防止二手烟领域,环糊精也具有独特的应用优势。特别是由于环糊精的应用形式相对简单、方便,因此在此领域申请的相关专利较为集中。但环糊精通过添加并以包埋方式去害降焦的应用亦有局限性,例如,环糊精与有害成分形成的包合物在相对较高的温度下(超过250℃)并不稳定,如何在卷烟吸食过程中减少包合物内有害成分的释放,是需要考虑并解决的关键问题。

2 环糊精在烟草加香中的应用

在降焦减害技术得到发展的同时,卷烟也面临着香气下降的问题。常用的解决方法是向卷烟中添加烟用香精,但如何增加香料的稳定性是需要解决的主要问题之一。环糊精能够与香料分子形成包合物,提高香料成分的水溶性、热稳定性和抗氧化性^[23-24],在延长烟草保香期方面作用十分突出。

2.1 环糊精包合烟用香精香料在卷烟中的应用

环糊精包埋烟用风味成分后添加于烟草中,包合物的稳定性可使烟草香气很好地得以保留;在卷烟吸食过程中,当温度达到较高温度时包合物发生热降解,香气释放则可显著提高卷烟的香气量。例如,姬小明等^[25]制备了环糊精- β -紫罗兰酮包合物,热重和DSC分析结果表明, β -紫罗兰酮香料经环糊精包合后稳定性增加,将包合物加入到卷烟中,能够提高卷烟烟气的香气量和香气质、减少香烟烟雾的刺激

等. 李光水^[26]制备了香兰素与环糊精的包合物,并将包合物施加于烟丝、滤嘴、烟草薄片和烟草配方中,发现环糊精包合香兰素可实现香味的缓慢释放,不仅起到了增香、除杂、改善余味的作用,同时还可将卷烟的成本降低 10% ~ 15%. B. A. Demain^[27]利用 β -环糊精衍生物包埋香草醛、乙基香兰素、佛手柑油或芳樟醇等香料化合物,将包合物应用到烟丝或者卷烟纸中,不仅改善了主流烟雾的味道,也赋予了侧流烟雾以令人愉悦的香气. T. Kobayashi 等^[28]利用 α -环糊精、 β -环糊精和 γ -环糊精混合物与多种香料包埋,通过喷雾干燥得到香味缓释颗粒,将其加入滤芯制成三元复合滤棒,有效地提升了卷烟的香气质量. 此外,以废烟叶为原料浸提而得的风味浸膏,经环糊精包埋后加入香烟中,也可降低卷烟焦油含量、补偿香味成分^[29].

2.2 环糊精包合烟用香精香料在无烟烟草和电子烟中的应用

无烟烟草制品是指未经燃烧过程、而通过口腔或鼻腔吸食消费的烟草制品. P. Clayton^[30]将环糊精及其衍生物涂覆在口嚼烟的纤维素包装纸上,再用香精香料和抗菌物质处理,不仅使口嚼烟的口感迅速得到提升,而且也为口嚼烟提供了一些功能特性. 陈泽鹏^[31]将 β -环糊精包埋烟草提取物后,加入亲水胶体制得烟草凝胶,该水凝胶含有传统水凝胶体系和环糊精包埋两层缓释系统,能够实现烟草风味成分的缓慢释放,烟碱和香气浓度适中且均匀持久,吸食者吸食舒适度高,能够获得更强的满足感. 成晓玲等^[32]将中国传统中草药的复方提取物用 β -环糊精进行包合,然后再添加胶基和烟用香料制成口嚼烟,这种口嚼烟不仅能提供卷烟类似的味道和感觉,还具有保健作用,能够减少卷烟有害物质对身体的危害.

电子烟是一种模仿卷烟的电子产品,其通过雾化等手段将尼古丁等变成蒸气后,让消费

者进行吸食. 将不同类型环糊精与咖啡因、茶碱、巴拉圭茶和缬草等活性成分进行包埋再加入雾化液,可明显提高电子烟的感官品质^[33]. β -环糊精应用于鼻烟中薄荷醇、桉叶素和尼古丁等有效成分的萃取,能够显著提高萃取的效率^[34-35]. 此外,环糊精还可用于增加尼古丁的稳定性. I. H. Danie 等^[36]制备了 β -环糊精与尼古丁的包合物,在高温下尼古丁也不易被氧化降解. 郑欣等^[37]则利用羟丙基- β -环糊精对尼古丁进行包合,提高了尼古丁的稳定性并掩盖了刺激性气味.

综上所述,天然或合成烟用香料成分经环糊精包埋后,添加至卷烟烟丝、卷烟纸或滤嘴中,可以增加香味的稳定性,赋予香烟持久、怡人的天然或特有香味,延长保质期;特别是在无烟烟草和电子烟产品中,环糊精作为香料成分的载体,能够实现香味的富集和缓慢释放,提升产品品质.

3 环糊精在烟草成分检测中的应用

卷烟主流烟气成分特别是各类有害成分的准确检测,对于卷烟品质控制和卷烟危害性评价具有重要意义. α -环糊精、 β -环糊精和 γ -环糊精是由 6—8 个 D-(+)吡喃葡萄糖残基通过 α -1,4 糖苷键连而成的圆锥形环状化合物,其内腔直径为 0.47 ~ 0.83 nm,高度约为 0.79 nm. 由于环糊精分子的羟基均分布于环外部而配糖氧原子集中分布于腔内部,因而它具有内腔疏水而外表面亲水的特性^[38]. 环糊精在与客体包埋时,在疏水作用力、氢键和范德华力等作用力,以及客体分子与内腔体积匹配度的联合作用下,包合强度随客体分子大小、形状和极性不同而不同,从而具有手性识别特性. 长期以来,环糊精作为手性固定相或流动相广泛应用于分析化学领域. 在卷烟烟气各组分的分析中,环糊精非常适合于有害成分中结构相似组

分的分离和分析。

例如,烟气中挥发酚主要有对-苯二酚、邻-苯二酚等7种,准确定量这7种挥发酚十分重要。但由于结构相似,采用普通高效液相法很难对其进行分离。黄朝章^[39]通过在流动相中添加 β -环糊精,采用超高效液相色谱可短时间内实现这几种酚类物质分离,操作简便,可用于批量样品的快速检测。赵立军^[40]利用添加有 β -环糊精的流动注射-化学发光体系对烟气邻苯二酚、对苯二酚进行分离测定发现,微量 β -环糊精即可显著增强溶液体系化学发光的信号强度,有效提高分析的灵敏度。

另外,CDs环上的羟基—OH为其衍生、改性、键合提供了结构可能性,通过各类衍生化技术,可以制备出各种环糊精衍生物。环糊精衍生物和天然环糊精具有不同的性质,能够进一步扩展手性化合物拆分的应用范围^[41]。例如,烟草特有的亚硝胺(TSNAs)中各组分结构相似但毒性不同,准确定量这些组分非常重要。刘虎威等^[42]采用毛细管电泳(CE)技术,以带负电的硫酸化 β -环糊精作为手性添加剂,成功实现了TSNAs手性异构体的分离。B. Liu等^[43]利用含有环糊精修饰分析柱的多维气质系统,对烟草和烟雾中新烟草碱、去甲烟草碱和假木贼碱的对映体组成进行分析。结果表明,新烟草碱和去甲烟草碱的对映体丰度在不同的烟草中存在差异;在吸烟过程中,新烟草碱和假木贼碱的对映体丰度降低,这些结果符合热外消旋化规律。

目前, β -环糊精的衍生化已经可控到单一羟基的取代,方便实现各种功能化的修饰,包括特殊手性官能团的引入,从而以其独特的分子结构特性被广泛应用于超分子化学和手性分离。在烟草中手性化合物的分离领域,环糊精及其衍生物的应用也会更加简便,分离结果更为准确。

4 环糊精在卷烟中的其他应用

4.1 研发新型卷烟纸中的应用

卷烟虽为特殊商品,但在选择购买时除品牌、使用感受外,外观对消费者也具有重要的引导作用。徐世涛等^[44]开发了一种含有 β -环糊精的彩色卷烟纸涂布香料,将这种涂布香料与助燃剂和水混匀后涂布在卷烟纸表面,可以优化卷烟纸外观色彩,改善抽吸品质。方意等^[45]开发了一种新型调味油墨,油墨中的香料需要由环糊精包埋处理。这种油墨印刷在卷烟纸基材上除形成设计图案外,还提供特有的香气,减少卷烟的不良气味。

卷烟纸燃烧后的包灰性能也是卷烟品质的一个重要指标。包灰效果差具体表现为抽吸时烟灰碎片多、容易四处飞散,烟头容易掉落而烧坏衣物等,特别是对于细支烟产品,包灰性能尤为重要。余耀等^[46]发明了一种含有改性 β -环糊精的卷烟纸涂布料,可以增强卷烟纸的包灰效果,使卷烟具有较好的感官质量。

4.2 增加卷烟的保健功能

通过包埋作用,环糊精能够截留烟气中的有害成分,也能使一些功能成分具有稳定和缓释性能,这在功能性香烟的开发中得到了应用。张文超等^[47]将自然状态下易挥发、易分解的荆芥油用环糊精包埋制成固体干粉,均匀加入滤棒中制成卷烟,结果表明,该卷烟主流烟气中苯酚的含量不仅得到明显降低,还长期保有荆芥油的特有风味,在缓解流行感冒方面也有一定功效,且能提高人体的抗氧化能力。人参皂苷药理作用广泛,但直接加入到烟草中其在高温下易氧化分解。将人参皂苷通过环糊精包埋再应用到烟草中,其稳定性得到提升,通过吸烟过程可对人体进行人参成分的微量补充^[48],还具有提高人的免疫力、增强抗衰老和抗氧化能力的作用。

4.3 提高卷烟的增润作用

在卷烟生产中添加保润剂可以维持烟丝水分,改善卷烟感官质量.而环糊精空腔可以结合部分水分,且不易挥发,如将其添加至烟草中,一定程度上可以提高卷烟的湿润度.迟广俊等^[49]制备了一种添加环糊精的成形纸涂料,将环糊精均匀涂布于成形纸上后,100~120℃下干燥除去挥发性物质,再在室内(RH 70%)进行加湿处理,使环糊精包合水分,此成形纸可以明显改善香烟的物理保湿性能.

总之,环糊精通过包埋不同功能成分并加入到卷烟中,可以赋予卷烟产品诸多功能特性.由于通常贮存条件下环糊精包合物性质稳定,而在卷烟吸食过程中实现全部持续释放,能够在较大程度上保证功能成分的效果.因此,环糊精包埋功能成分不失为一种理想的应用途径.

5 结论与展望

环糊精在烟草行业的应用主要取决于其包埋特性,目前,环糊精的应用主要集中在4个方面:1)环糊精对烟草烟气中有害成分的包埋;2)环糊精对烟草风味成分、烟用香精香料的包埋;3)环糊精对客体的包埋;4)环糊精对抗氧化等功能成分的包埋.

但纵观已有文献也可以看出,目前环糊精在烟草领域的应用水平还不高,大多为环糊精在卷烟滤嘴、包装纸等材料中的简单物理添加或固载,缺乏深层次理论基础研究.常用环糊精根据其空腔尺寸不同分为 α -环糊精、 β -环糊精和 γ -环糊精3种,在空腔体积-客体分子形状大小匹配因素的作用下,不同环糊精包埋烟草组分的能力也存在差异,针对烟草保香降焦的要求、深入研究不同类型环糊精对各有害成分及香味组分的截留与缓释特点,开发混合环糊精应用技术以提高保香降焦的效果,将是未来需要推进的工作;在再造烟叶生产过程中,

真空浓缩及热干燥工序会造成烟草风味成分的大量流失,如何利用环糊精的包埋能力进行保香,进一步开发合适的环糊精应用方式也是亟待研究的课题.此外,利用环糊精优良的乳化特性,制备网络结构稳定的水包油乳化体系,通过喷雾或涂抹添加于卷烟各个部分,赋予烟草制品保香、保润和特殊功能特性,这种携带风味及功能成分的乳液相比环糊精包合物更有应用优势,也是未来值得研究的一个领域.

参考文献:

- [1] 童林荟. 环糊精化学[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [2] 谭国治,毛多斌,刘春晖,等. 环糊精对易挥发性烟用香料保香作用的研究[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2012, 37(2): 78.
- [3] 岳晓凤,张珍珍,张寅. 卷烟减害降焦技术研究[J]. 科技风, 2018(6): 15.
- [4] 徐志康,储国海,王辉,等. 一种降低烟气中苯酚含量的纳米纤维复合丝束及其制备方法和应用:104687012[P]. 2015-12-16.
- [5] 徐建,周国俊,李霞,等. 环糊精聚合物用于选择性降低卷烟烟气中苯酚含量的应用:105657804[P]. 2015-04-01.
- [6] 胡苏林,周仕禄,巩文萍,等. 酸溶壳聚糖对卷烟主流烟气中苯并[a]芘、苯酚释放量的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 109.
- [7] 郑琴,蔡冰,王娟,等. 选择性降低烟气酚类化合物的 β -环糊精复合颗粒及应用:102266123A[P]. 2011-12-07.
- [8] WANG Y, ZHOU S L, XIA J R, et al. Trapping and degradation of volatile nitrosamines on cyclodextrin and zeolites [J]. Microporous & Mesoporous Materials, 2004, 75(3): 247.
- [9] HADARUGA D I, HADARUGA N G, BUTNARU G, et al. Bioactive microparticles: thermal and oxidative stability of nicotine and its com-

- plex with β -cyclodextrin [J]. Journal of Inclusion Phenomena & Macrocyclic Chemistry, 2010, 68(1/2):155.
- [10] 王英,曹毅,周仕禄,等.降低卷烟烟气中亚硝酸含量的滤嘴及丝束添加剂:100412826[P]. 2005-02-23.
- [11] 李朝建,廖惠云,庄亚东,等.一种选择性降低卷烟烟气中特有亚硝酸胺的方法:107247682 [P]. 2013-07-10.
- [12] 刘金莉,徐建,李霞,等.卷烟主流烟气中挥发性羰基化合物在醋纤滤嘴中的轴向截留效应[J].中国烟报,2017,23(1):1.
- [13] 王丽苹.滤嘴对卷烟主流烟气中挥发性羰基化合物截留效率的测定[J].化学研究与应用,2015(9):1283.
- [14] 穆丽娟.烟用聚丙烯纤维的改性及其性能研究[D].天津:天津工业大学,2011.
- [15] 李丕高,王宗英,李刚,等. β -环糊精三醋酸甘油酯悬浮液在卷烟滤嘴中的应用[J].烟草科技,2007(7):5.
- [16] 吕效东,王秦峰,许克强.一种卷烟过滤嘴棒用改性聚乳酸组合物及其制备方法:103938392[P]. 2012-06-27.
- [17] SZEJTLI J, ZSADON B, FENYVESI E, et al. Sorbents of cellulose basis capable of forming inclusion complexes and a process for the preparation thereof:4357468A[P]. 1982-11-02.
- [18] 崔廷.三纸一棒对卷烟烟气指标的影响[J].科技创新导报,2018,15(13):94.
- [19] 秦亮生,银董红,刘峰.一种 β -环糊精-g-乳酸共聚物的应用:102926277A[P]. 2013-02-13.
- [20] SETTHAYANOND J, SODSANGCHAN C, SUWANRUJI P, et al. Influence of MCT- β -cyclodextrin treatment on strength, reactive dyeing and third-hand cigarette smoke odor release properties of cotton fabric [J]. Cellulose, 2017, 24(11):5233.
- [21] VONCINA B, VIVOD V, CHEN W T. Surface modification of PET fibers with the use of β -cyclodextrin [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 113(6):3891.
- [22] SZENTE L, é FENYVESI. Cyclodextrin-enabled polymer composites for packaging [J]. Molecules, 2018, 23(7):1556.
- [23] LI X, JIN Z, WANG J. Complexation of allyl isothiocyanate by α - and β -cyclodextrin and its controlled release characteristics [J]. Food Chemistry, 2007, 103(2):461.
- [24] ZHU G, XIAO Z, ZHOU R, et al. Study of production and pyrolysis characteristics of sweet orange flavor- β -cyclodextrin inclusion complex [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 105:75.
- [25] 姬小明,刘云,苏长涛,等. β -紫罗兰酮- β -环糊精包合物的结构确证及热分解动力学[J].烟草科技,2011(1):43.
- [26] 李光水.烟用香料环糊精包合物结构与性质研究[D].无锡:江南大学,2004.
- [27] DEMAIN B A. Smoking compositions containing a flavorant-release additive: 5144964A [P]. 1992-12-16.
- [28] KOBAYASHI T, MIYAUCHI M. Method for manufacturing flavor-releasing granules, flavor-releasing granules, and cigarette filter containing flavor-releasing granules: 2010/068290 [P]. 2012-04-26.
- [29] 吕翠翠,施栩栩.一种烟用油膏的羟丙基- β -环糊精包合物的制备方法:102578702A [P]. 2012-07-18.
- [30] CLAYTON P. Tobacco product, preparation and uses thereof: 20090004362 [P]. 2010-03-31.
- [31] 陈泽鹏.一种烟草凝胶:105029677A [P]. 2015-11-11.
- [32] 成晓玲,黄丽玲,胡永俊,等.一种替烟口嚼糖及其制备方法:104621327A [P]. 2015-05-

- 20.
- [33] KUNTAWALA S, MOY L, PATEL A. Vaping fluid composition for electronic cigarettes: 20160198759 [P]. 2016-07-14.
- [34] TROUDE V, GADOIS-POMMEREUL S and CLARKE A, et al. Human mouth-level transfer rate of menthol, 1, 8-cineole and nicotine from Swedish pouched snus [C] // The CORESTA Smoke Science and Product Technology Joint Study Groups Meeting, Seville: CORESTA, 2013.
- [35] GRAPTON S, GADOIS-POMMEREUL S, TROUDE V, et al. Analytical method to model human mouth-level transfer of ingredients from Swedish pouched snus [C] // The CORESTA Smoke Science and Product Technology Joint Study Groups Meeting, Seville: CORESTA, 2013.
- [36] DANIEL I H, NICOLETA G H, BUTNARU G, et al. Bioactive microparticles (10): thermal and oxidative stability of nicotine and its complex with β -cyclodextrin [J]. *Journal of Inclusion Phenomena & Macrocyclic Chemistry*, 2010, 68(1/2):155.
- [37] 郑欣, 刘新, 欧阳雪, 等. 尼古丁羟丙基- β -环糊精包合物的制备及稳定性考察[J]. *中国医院药学杂志*, 2015, 35(12):1138.
- [38] 陈立仁. 液相色谱手性分离[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [39] 黄朝章. 超高效液相色谱快速测定卷烟主流烟气中7种挥发酚[J]. *烟草科技*, 2011(8): 55.
- [40] 赵立军. 流动注射化学发光法用于二酚的测定研究与离子液体作为气相色谱固定相的研究[D]. 成都: 四川大学, 2008.
- [41] XIAO Y, NG S C, TAN T T Y, et al. Recent development of cyclodextrin chiral stationary phases and their applications in chromatography [J]. *Journal of Chromatography A*, 2012, 1269(24):52.
- [42] 刘虎威, 杨悠悠, 李琛琛, 等. 烟草特有亚硝胺的分析方法研究[C] // 全国生物医药色谱及相关技术学术交流会. 重庆: [出版者不详], 2012.
- [43] LIU B, CHEN C, WU D, et al. Enantiomeric analysis of anatabine, nornicotine and anabasine in commercial tobacco by multi-dimensional gas chromatography and mass spectrometry [J]. *Journal of Chromatography B*, 2008, 865(1/2): 13.
- [44] 徐世涛, 李中昌, 韩智强, 等. 一种彩色卷烟纸涂布香料及其使用方法: 103306785 [P]. 2016-10-12.
- [45] 方意, 王昊, 张耀华, 等. 一种烟用加香油墨及其制备方法和应用: 100040106 [P]. 2017-05-31.
- [46] 余耀, 詹建波, 张莹, 等. 一种改善卷烟纸包灰效果的方法: 107247682 [P]. 2013-12-21.
- [47] 张文超, 陈昀, 曹建华, 等. 荆芥挥发油- β -CD对苯酚的吸附及其在卷烟中的应用[J]. *化学世界*, 2013, 54(6):340.
- [48] 张洪飞. 环糊精包合人参皂苷的方法及在烟草中的应用: 100167301 [P]. 2006-11-01.
- [49] 迟广俊, 郭连民, 刘晓旭, 等. 具有改善卷烟物理保润性能的内衬纸的制备方法: 101521158 [P]. 2013-07-31.