

综述



细支卷烟研究综述

王金棒¹, 洪广峰¹, 高健², 邱纪青¹, 郑路¹, 洪群业¹, 张其东¹

1 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州高新技术产业开发区枫杨街2号 450001;

2 郑州大学化工与能源学院, 郑州市科学大道100号 450001

摘要: 为使国内研发人员准确把握国内外细支卷烟的研究现状, 从细支卷烟发展的总体态势、燃吸机理、烟气的形成与传递及安全性评估等方面对细支卷烟进行了综述, 并对国内烟草行业未来的细支卷烟研究方向进行了展望。结果表明: 与常规卷烟相比, 细支卷烟更能给人以愉悦和低风险的感知。国外烟草行业在烟支物理指标、燃吸机理、烟气成分形成与传递以及安全性评估等基础研究方面进行了大量研究, 研究也较为深入。国内的相关研究起步较晚, 但发展较快, 主要涉及制丝、烟用材料、烟气成分以及卷烟设计等方面, 研究的深度有待进一步加强。此外, 国内烟草行业在燃吸机理及安全性评估方面的研究有所欠缺。

关键词: 细支卷烟; 物理特性; 烟气指标; 化学成分; 安全性评估

引用本文: 王金棒, 洪广峰, 高健, 等. 细支卷烟研究综述 [J]. 中国烟草学报, 2018, 24 (5)

细支卷烟是烟草制品的重要品类之一, 其最主要的特点是烟支圆周低于传统卷烟。降低烟支圆周可以节约卷烟原辅材料, 在产业链上实现节能、降耗和减排, 进而显著降低烟草工业企业的生产成本。国内细支卷烟研发热潮始于 2006 年江苏中烟开发的圆周 17 mm 的“梦都”牌卷烟。2014 年, 国家局下发了《关于规范和支持细支烟发展的通知》, 鼓励各烟草企业合理布局, 开展技术研发, 有效促进细支卷烟规范发展。近年来, 国内细支卷烟市场呈现出“百花齐放”的局面, 细支卷烟规格从 2014 年的 39 个增长至 2017 年 9 月的 124 个, 行业所有工业企业均开展了细支卷烟研发与销售^[1]。细支卷烟在中式卷烟中的占比和地位逐步提高, 2017 年我国细支卷烟销量占比达 5.03%, 销售额占比达 7.21%, 相比于 2016 年分别提高了 4.93 个百分点和 7.05 个百分点, 对烟草行业销量增量贡献率达 263.5%, 销售额增量贡献率达 72.6%, 已成为行业创新驱动发展、持续健康发展的新动能^[2-3]。

细支卷烟作为快速增长的中式卷烟新品类, 在降焦减害、降本增效等领域具有天然的优势, 2016 年, 国内烟草行业正式启动了“细支卷烟升级创新”重大专项。近年来, 国内科研人员在细支卷烟相关的梗丝

利用^[4]、香味补偿(如爆珠)、烟机设计与制造^[5-12]等方面进行了大量的研究, 并形成了多项具有自主知识产权的关键特色技术。

在制丝方面, 田忠等^[13]为探索制丝关键工序与细支卷烟品质的关系, 分析了切丝宽度以及烘丝工艺对细支卷烟燃烧温度、烟气成分以及感官质量的影响, 并对主流烟气成分与细支卷烟燃烧温度的关系进行了探讨。丁美宙等^[14]研究了梗丝形态(丝状和片状)对细支卷烟加工(混合均匀性)及烟支的综合质量(物理、烟气、有害成分释放、感官、燃烧等及稳定性)的影响。在烟用材料方面, 张亚平等^[15]采用偏最小二乘回归法对比研究了卷烟纸组分(亚麻配比、包灰剂、助燃剂质量分数和助燃剂中 K/Na 比)对常规和细支卷烟烟气成分释放量及感官质量的影响。李海锋等^[16]对卷烟纸特性(透气度、助燃剂含量以及卷烟纸定量)对细支卷烟主流烟气指标(焦油量、烟碱量和 CO 量)的相关性进行了研究。余耀等^[17]通过分批打浆后再混合成浆技术制备了致密包灰的全麻卷烟纸, 对细支卷烟的包灰效果和烟灰灰色优于常规卷烟。高明奇等^[18-19]考察了不同规格二醋酸纤维素丝束的成型能力以及基于烟碱的过滤能力, 为细支卷烟设计目标提供了数据支撑。在卷烟烟气成分方面,

作者简介: 王金棒(1987—), 博士, 工程师, 主要从事烟草科技情报、科技成果评估与评价研究, Tel: 0371-67672638, Email: wangjinbangok@126.com

通讯作者: 洪广峰(1978—), Tel: 0371-67672660, Email: hgff@ztri.com.cn

收稿日期: 2018-01-02; **网络出版日期:** 2018-08-13

甘学文^[20]、边照阳^[21]、葛畅^[22]等分别就抽吸模式(ISO和HCI)对细支卷烟常规烟气成分(焦油、烟碱和CO)、15种有害成分的释放规律以及烟气指标和粒相物中中性致香成分进行了研究。在烟支设计方面,林婉欣等^[23]运用统计学分析方法对细支卷烟吸阻稳定性与单支质量、硬度、长度及圆周物理指标间的相关性进行了研究。章平泉等^[24]利用因子分析法对某牌号细支卷烟样品的物理特性进行测试、统计分析,提取到通风因子、长度因子和质量因子等3个主因子。孙东亮等^[25]通过不同品牌的消费者自由评吸评价试验、主流烟气检测和专家模拟消费者评吸相结合,对吸烟过程的抽吸压力形成原理进行了深入分析,探讨了消费者抽吸行为特点,归纳了与轻松感有关的重要因素,并提出以消费者感知为导向的细支卷烟设计理念。

可见,相比于国外,尽管国内在细支卷烟方面的基础研究起步较晚,但研究正在兴起。卷烟的物理指标包括卷烟质量、圆周、长度、硬度、吸阻、透气度等。其中,烟支圆周是一个非常重要的参数,对卷烟的燃烧性能、烟气指标及其生物活性均有影响。因此,对国外细支卷烟的研究进展进行综述,旨在帮助我国烟草科研技术人员系统了解国外细支卷烟的研究现状及其成果,并为国产细支卷烟技术创新和产品研发提供参考。

1 国际细支卷烟发展总体态势

卷烟品类繁多,除常规尺寸外,鉴于成本、市场及政府政策等多方面的原因,近些年来不同长度和圆周的卷烟产品在国外呈快速增长态势^[26]。根据细支卷烟的尺寸(直径或圆周),Moodie等^[27]将细支卷烟分为细支(Slim)、超细(Superslim,直径5.0 mm)、半细(Demislim)和微细(Microslim,直径4.7 mm)4个规格;McAdam等^[26]将细支卷烟分为细支(Slim,圆周21~23 mm)、半细(Demislim,圆周19~21 mm)和超细(Superslim,圆周14~19 mm)。通常,在圆周方面,国外科研人员认为22~24 mm为细支,19~22 mm为半细,14~19 mm为超细;长度有80~85 mm、90~100 mm和120 mm三种规格^[26,28]。

尽管细支卷烟在全球市场份额的占比近年来才迅速增长,但国外的细支卷烟产品在60多年前便已上市。1951和1960年伊朗烟草公司分别开发了无滤嘴和带滤嘴的卷烟Homa,烟支圆周为19.75 mm^[29]。1955年,埃及就有圆周为17.46 mm的King George V卷烟的生产^[30]。1973年英美烟草公司的Lugton对全球的商业品牌卷烟进行了统计,其中圆周低于常规

卷烟的有英国的Player No 6 Filter(圆周23.2 mm),肯尼亚的Crescent & Star(20.79 mm)、King Stork(21.86 mm)以及Ten Cents(18.13 mm)^[31]。在美国,首款细支卷烟Silva Thins由美国烟草公司开发,但目标市场并不是女性消费者^[32-34],但菲莫烟草公司由此敏锐感知到女性消费者在烟草市场的巨大潜力,于1968年设计开发了针对女性消费者的首款细支卷烟Virginia Slims(长度100 mm,圆周23 mm)^[35-36]。1987年美国布朗 & 威廉姆森公司开发了首款超细卷烟Capri(圆周17.38 mm)^[26,31]。

国外烟草公司在产品开发初期进行了大量的广告宣传,将产品的属性(物理属性:细长;广告属性:独立、自信、活力、性感)与女性消费者的个人需求(社会价值观)进行了很好的关联,有力地推动了女性消费者卷烟市场的发展^[37-43]。近年来,全球控烟形势日益严峻,消费者的健康意识也不断增强,低焦和细支卷烟越来越受到男性消费者的青睐,尤其是在韩国,细支卷烟市场份额呈快速增长趋势^[44]。国外烟草公司较早开展细支卷烟研究,并形成各自特色品牌,如奥驰亚集团公司的万宝路、英美烟草公司的登喜路、日本烟草公司的七星和云斯顿、韩国烟草公司的爱喜、帝国烟草的大卫·杜夫等。以这些品牌为代表的细支卷烟在国际卷烟市场份额中的占比逐年上升,尤其是在俄罗斯、日本、韩国等卷烟市场。2016年烟草发展报告数据显示,在全球传统卷烟市场持续缓慢下滑的大背景下(2016年同比下降约2%),细支卷烟的市场份额大幅增长,2015年细支卷烟销量(不含中国)约280万箱,占卷烟销量的5%,相比于2009年,年均增速4%^[45-46]。

除了国外烟草公司的广告宣传因素外,细支卷烟自身的结构特点是其市场份额快速增长的另一重要因素。Mutti等^[42]调查研究表明,与常规卷烟相比,低焦、细支、加长(长度100、120 mm)卷烟更容易传递给消费者低风险感知。Kmietowicz^[47]研究表明,由于细支卷烟烟丝含量少,消费者可能会产生一种细支卷烟健康风险较小的印象。Ford等^[48]发现,带有白色滤嘴或装饰性结构的细支或超细卷烟最具吸引力,细支结构能够传递给消费者口味淡且风险低的信息。Moodie等^[27]的研究结果显示,与常规卷烟相比,细支卷烟的烟支结构特点能够引起消费者的兴趣,并给人以吸味愉悦和风险降低的感知。2016年,Kaleta等^[49]研究了波兰农村青年人对卷烟及替代品(细支卷烟、薄荷烟、水烟、电子烟和无烟气烟草制品)的风险感知行为,结果表明,参与者普遍认为细支卷烟

和薄荷烟具有更低的风险。

综上可知,国外降低卷烟圆周或直径方面的研究起步较早,细支卷烟产品的规格较多。细支卷烟的圆周范围较广,通常在14~24 mm之间;涉及的长度通常有3种规格,在80~120 mm之间。在全球控烟形势日益严峻和消费者健康意识不断增强的新形势下,细支卷烟产品的市场份额近年来呈快速增长趋势。卷烟制造商的广告宣传和细支卷烟的外观特征共同促进了细支卷烟消费市场的不断扩大。

2 细支卷烟燃烧机理研究

烟支圆周的减小不仅会直接影响卷烟的质量(或烟丝填充量)和吸阻(或压降),还会影响卷烟抽吸口数。1987年,英美烟草公司的Schneider等^[50]提出了计算卷烟压降的半经验数学模型,结果表明在相同烟丝填充密度时,卷烟压降与圆周的平方成反比。Izac^[51]的研究表明,随着圆周的减小,烟丝填充量、抽吸口数降低,但吸阻和透气度增加。Perfetti等^[52]研究发现,在相同烟丝填充密度时,卷烟圆周减小15%可使烟丝用量降低25%以上,抽吸口数降低9.6%。Yamamoto等^[53]的研究表明,在相同烟丝填充密度时,抽吸口数随着圆周的减小而降低。Baker^[54]和Irwin^[55]的研究表明,卷烟抽吸口数与烟柱中烟丝的质量成正比。Coggins等^[56]的研究表明,随着卷烟圆周的减小,吸阻显著增加,抽吸口数显著降低。可见,卷烟圆周减小后,烟柱中烟丝的用量减少,卷烟吸阻升高,卷烟抽吸口数降低。

卷烟圆周的减小会导致卷烟抽吸时和阴燃期间燃烧速率发生变化。1966年,帝国学院Gugan^[57]的研究表明,随着烟支圆周的减小,烟支表面积/体积比增加,抽吸期间烟支的燃烧速率低于阴燃期间烟支的燃烧速率。Arany-Fuzessery等^[58]研究发现卷烟圆周的轻微变化能够显著影响其燃烧性能,在卷烟圆周减小时,其线性燃烧速率增加,质量燃烧速率降低。Perfetti等^[52]研究了3种不同抽吸容量下卷烟圆周对燃烧速率的影响,结果表明,抽吸时阴燃期间卷烟的线性燃烧速率均随圆周的减小而增加,但质量燃烧速率降低。Resnik等^[59]的研究表明,随着卷烟圆周的减小,线性阴燃速率增加,质量阴燃速率降低。Yi等^[60]对Muramatsu、Umemura和Okada提出的数学模型进行了修正,增加了辐射和热传导参数,研究结果显示,相比于其他因素,卷烟圆周是影响质量燃烧速率的关键物理指标。综上可知,卷烟圆周减小会导致卷烟抽吸时和阴燃期间的线性燃烧速率升高,质量

燃烧速率降低。

卷烟圆周的减小也会使卷烟的燃烧机理发生变化。1971年,Lugton^[31]研究了在19~31 mm圆周范围内以3 mm增幅改变圆周时卷烟燃烧温度的变化,结果表明,卷烟最高燃吸温度(燃吸峰温)随着圆周的减小而升高,当圆周为25 mm时,最高温度为840℃,但当圆周为19 mm时,最高燃吸温度达到900℃。此外,燃烧温度分布也随卷烟圆周而变化,当圆周为25 mm时,燃烧温度分布比较均匀,而在圆周为19 mm时,卷烟燃烧区域呈环形分布,且轴向燃烧温度相对较低。1988年,Irwin^[61]对13~29 mm圆周范围的卷烟进行研究,发现卷烟阴燃期间的燃烧温度随着圆周的减小呈线性增加趋势,而在卷烟抽吸过程中,13 mm和29 mm圆周卷烟的峰温对圆周变化不敏感,但均显著低于圆周17~24.75 mm的卷烟。Irwin^[55]还研究了圆周为13~29 mm的无滤嘴卷烟,发现燃吸温度也是随着圆周的减小而升高。然而,1985年,Robinson^[62]采用红外热成像仪研究了不同圆周卷烟阴燃和抽吸时的温度,结果表明,阴燃温度随着圆周的减小而升高,但燃吸温度随着圆周的减小先升高后降低,圆周为29、20和13 mm时的燃吸峰温分别为889℃、903℃和851℃。Irwin^[61]的红外探测数据显示,燃吸温度在17~22 mm圆周卷烟有一个平台期,然后下降,这与Robinson^[62]的研究结果基本一致。综上可知,卷烟圆周的减小导致阴燃温度的升高,而燃吸温度的变化则需视卷烟圆周大小而定。

卷烟圆周的减小导致卷烟的燃烧行为发生了变化,特别是阴燃特性,因此细支卷烟的引燃倾向也可能不同于常规卷烟。1989年,Krasny等^[63]利用家具模型测试系统对不同设计参数的卷烟样品进行了引燃倾向测试,结果表明,圆周为21 mm的卷烟的引燃倾向低于圆周为25 mm的卷烟,这可能是由于单位长度内卷烟燃烧的烟丝量较少以及燃烧锥与测试基质的接触面积较小所致。2009年,Case等^[64]采用美国材料与试验协会(ASTM)的卷烟自熄实验标准测试方法ASTM E2187考察了卷烟圆周、卷烟纸、烟草材料等对卷烟引燃倾向的影响,结果表明,当卷烟圆周在17~26.5 mm范围时,卷烟的引燃倾向不受圆周的影响。2010年,Coburn^[65]采用相同的方法考察了烟草材料及17~26.5 mm卷烟圆周对卷烟引燃倾向的影响,获得的结果与Case等^[64]一致。综上可知,卷烟圆周的减小对引燃倾向的影响尚不明确,这可能是因为现有的表征方法不够灵敏,无法准确体现卷烟圆周变化对引燃倾向的影响,进而导致现有报道

中的研究结论存在差异。另外,卷烟圆周对引燃倾向的影响也缺乏更多的实验数据,因此需要开展进一步实验研究。

3 烟气的形成与传递

卷烟圆周的变化会影响卷烟的燃烧行为,进而影响烟气成分的的形成和传递,主流、侧流烟气也随之变化^[28]。根据近期 McAdam 等^[26]的报道,细支卷烟相关的基础研究最早可追溯到 1936 年,近年来有关卷烟圆周对卷烟烟气影响的研究日益受到科研人员的关注。

3.1 烟气颗粒尺寸

卷烟燃烧过程中,烟草组分经过燃烧、热解、蒸馏等复杂的物理和化学变化形成了数千种化学成分,它们在传递过程中会由于所处环境温度的不同而凝结形成气溶胶。卷烟烟气气溶胶颗粒尺寸对卷烟的综合品质有重要影响,近年来一直是研究的热点之一^[66]。Jones 等^[67]采用离心分离装置研究了卷烟圆周对气溶胶颗粒尺寸的影响,结果表明,在标准抽吸模式下,当卷烟圆周从 31 mm 降至 19 mm 时,抽吸气流速率增加 2.7 倍,但气溶胶颗粒尺寸无明显变化;当气流速率由 1.5 mL/s 增至 83 mL/s(55 倍)后,气溶胶颗粒的数量平均粒径降低了 46%。Fiebelkorn 等^[68]利用激光光谱仪在标准抽吸模式下测定了圆周为 13~29 mm 的烤烟型和混合型卷烟主流烟气气溶胶的粒径和数量浓度,结果表明,随着卷烟圆周的减小,气溶胶颗粒的数量中值粒径下降,数量浓度整体呈增加趋势,但当卷烟圆周更低(<13 mm)时,由于测量仪器检的限制,可检测气溶胶颗粒的数量浓度降低。Egilmez^[69]利用激光光谱仪研究了 4 个相同焦油量卷烟样品的气溶胶颗粒尺寸,结果表明,圆周 17 mm 细支卷烟烟气气溶胶的数量和质量中值粒径分别为 0.17 和 0.27 μm ,低于圆周分别为 23 mm 和 25 mm 的其余 3 个卷烟样品(0.19 和 0.31 μm),与 Jones 等^[67]的报道不一致,原因是实验样品为商品卷烟,除圆周之外,其他卷烟设计参数对烟气颗粒尺寸也有影响。总的来说,卷烟圆周减小后,气流速率加快,烟气颗粒凝结受到阻碍,进而导致气溶胶数量增加,而粒径呈下降趋势。

3.2 烟气成分

卷烟圆周的减小会造成以下变化:每支卷烟的烟丝填充量减少,由此导致烟草燃烧产生的烟气总量减少;烟气在烟柱内的流速加快,进而使烟柱和滤嘴对烟气粒相物的过滤效率降低^[28];烟气流速的

加快还会导致烟气气相物在传递过程中的扩散损失量减少^[26];第一口抽吸时,由烟支导致的“死体积”减小^[26]。以上因素均会对卷烟主流、侧流烟气的释放量造成影响。

3.2.1 主流烟气

卷烟圆周的变化以及所伴随的烟丝填充量减少是卷烟主流烟气成分发生变化的重要原因。DeBardeleben 等^[70]的研究表明,随着卷烟圆周的减小,烟气中主要成分的总释放量和单口释放量均降低,认为卷烟圆周的减小所导致的燃烧过程中氧气利用率的改变以及燃烧区到热解蒸馏区热量传递效率的降低可能是其主要影响因素。Massey^[71]的研究也表明,在标准抽吸条件下,卷烟烟气冷凝物随圆周的减小而降低。

(1) 卷烟烟气焦油、烟碱和 CO 释放量变化。Lugton^[31]的研究表明,当圆周在 19~25 mm 时,随着卷烟圆周的增加,焦油释放量线性增加,随着圆周的进一步增加(25~31 mm),焦油的增幅减小;烟碱释放量随卷烟圆周的变化趋势与焦油类似,但焦油/烟碱比值随卷烟圆周的增加而略有下降;CO 释放量在卷烟圆周为 25 mm 时达到最大值,而后随圆周的增加而降低。1981 年 Yamamoto^[72]的研究表明,CO 单口释放量随着卷烟圆周的减小而降低。Perfetti 等^[52]研究了 3 种不同抽吸容量下卷烟圆周对焦油和烟碱释放量的影响,结果表明,初期焦油和烟碱的逐口释放量相当,但在 35 或 65 mL 抽吸容量下,焦油和烟碱释放量随卷烟圆周的减小而增加;在烟丝填充密度不变的前提下,卷烟圆周下降 15%,可导致烟气中焦油和烟碱的释放量分别下降 15% 和 17%。Yamamoto 等^[53]通过研究卷烟圆周对单口烟丝消耗量及焦油和烟碱释放量的影响,得出了评估焦油和烟碱释放量的经验公式,即在卷烟烟丝填充密度不变时,单口烟丝消耗量及焦油和烟碱释放量均随着卷烟圆周的减小而降低。Irwin^[61]的研究表明,烟碱/焦油比值并不随圆周的减小而呈下降趋势,CO/焦油比值在圆周 13~29 mm 范围内的变化不敏感。Ashley 等^[73]的研究表明,在 ISO、HCI 或 Massachusetts 抽吸模式下,细支卷烟的 CO 释放量低于常规卷烟。Siu 等^[74]研究了 ISO 和 HCI 两种抽吸模式下降低卷烟圆周对主流烟气有害成分释放量的影响,结果表明,在 ISO 模式下,尽管细支卷烟烟丝量为常规卷烟的一半,但滤嘴截留效率也仅为常规卷烟的一半,因此细支卷烟的烟碱释放量与常规卷烟相当,但在 HCI 模式下,烟碱的释放量明显增加。Sweeney 等^[75]的研究表明,滤嘴通风对超

低焦油 (5 mg) 和低焦油 (8 mg) 烤烟型细支卷烟的 CO 释放量无显著影响。

尽管卷烟圆周的减小可使卷烟主流烟气成分释放量降低, 但 Arany-Fuzessery 等^[58]的研究表明, 若以单位质量烟丝计, 有害成分的释放量反而有所增加。Izac^[51]的研究表明, 烟碱释放量取决于烟丝量, 不受圆周变化的影响; 主流烟气中单位质量烟丝的 CO 释放量随圆周的减小而增加。Irwin^[61]的研究表明, 随着卷烟圆周的减小, 以单位质量烟丝计, 烟气成分的释放量整体上呈增加趋势, 尤其是在圆周 24.75~29.00 mm 区间。

关于卷烟圆周对烟气成分释放量的影响, 研究者分别从扩散作用和卷烟烟丝的燃烧特性方面进行了分析。在扩散作用方面, Rostami 等^[76]通过理论模拟研究发现, 卷烟圆周的减小会缩短主流烟气中 CO 的扩散路径, 进而增加 CO 的扩散量, 当卷烟的直径由 8 mm 降至 4 mm 时, CO 的扩散量增加为原来的 2 倍。在燃烧特性方面, Irwin^[77]的研究表明, 随着卷烟圆周的减小 (13~39 mm), 单位质量烟丝与空气的接触面积增大, 烟草燃烧更加剧烈 (CO 与 CO₂ 生成量的比值增大), 进而导致甲醛、丙烯醛及其他羰基化合物等热解产物释放量的增加。Irwin^[55]的研究表明, 随着卷烟圆周的减小 (13~29 mm), 卷烟燃吸温度升高, 主流烟气中 CO/CO₂ 比值也随之增加。Yamamoto 等^[78]研究认为, 卷烟圆周的减小所伴随的燃烧温度的升高会导致烟气成分生成速率的变化, CO 的生成速率增加, 而 CO₂ 的生成速率变化不明显。Irwin^[61]认为, 烟气随圆周的变化主要是由于抽吸期间烟丝的消耗量减少所致, 并且圆周为 13 mm 的卷烟在抽吸过程中烟丝消耗量最低, 这可能与标准抽吸模式下较快的气流速率有关。

(2) 卷烟烟气中主要有害成分释放量变化。Lugton^[31]的研究表明, 挥发性酚类化合物释放量随卷烟圆周的变化趋势与焦油和烟碱类似, 在圆周 19~25 mm 范围内, 挥发性酚类化合物随卷烟圆周的增加而线性增加, 随后增幅变缓。Siu 等^[74]的研究表明, 相比于 ISO 模式, HCl 模式下细支卷烟的苯酚释放量明显增加。对此, 研究者认为滤嘴截留效率的降低及细支卷烟燃吸温度的升高是主流烟气中酚类物质释放量升高的主要原因。

Lugton^[31]的研究表明, 在圆周 19~28 mm 范围内, 苯并 [a] 芘释放量随卷烟圆周的增大而增加; 在圆周 28~31 mm 范围内, 随着卷烟圆周的增大而略有下降。Kalaitoglou 等^[79]的研究表明, PAHs 主要存在于主

流烟气的总粒相物中, 且释放量随总粒相物的增加呈线性增加趋势, 但以单位总粒相物或单位烟碱计, 各类卷烟烟气中 PAHs 的释放量水平相当, 说明在消费者追求等量烟碱的情况下, 各类卷烟 (包括细支卷烟) 消费者的 PAHs 暴露量并无明显差异。

Yamazaki 等^[80]的研究表明, 随着卷烟圆周的减小, 以单位质量烟丝计, 主流烟气气相物中 3 种羰基化合物 (甲醛、乙醛、丙酮) 的总释放量及单口释放量均呈增加趋势, 其中, 乙醛和丙酮对卷烟圆周的变化较为敏感。Irwin^[55]对圆周为 13~29 mm 的无滤嘴卷烟进行了研究, 结果表明, 甲醛或甲醛 / 焦油比值随卷烟圆周的减小而增加, 丙烯醛和 2- 甲基呋喃羰基物随圆周的减小略有增加。Izac^[51]的研究表明, 主流烟气中单位质量烟丝醛类化合物的释放量随卷烟圆周的减小而增加, 与 Yamamoto 等^[78]的报道不同, 这可能是由于选择的卷烟圆周范围不同所致 (圆周范围分别为 17~27 mm 和 21~26 mm)。Ashley 等^[73]的研究表明, 在 ISO、HCl 或 Massachusetts 抽吸模式下, 细支卷烟的乙醛释放量低于常规卷烟, 但甲醛释放量高于常规卷烟。Siu 等^[74]和 Baker^[81]的研究表明, 在 ISO 和 HCl 两种抽吸模式下, 相比于常规卷烟, 由于单支烟丝量的降低, 细支卷烟主流烟气中羰基化合物的释放量均显著降低, 但甲醛的释放量在 HCl 模式下明显增加, 原因可能是随着卷烟圆周的减小, 圆周 / 横截面积比值增加 (0.74 vs 0.54), 烟丝的氧化反应加剧, 进而导致烟气中甲醛的释放量升高。

Matkin^[82]对圆周为 13~29 mm 卷烟烟气中自由基的含量进行了测试, 结果显示, 随着卷烟圆周的减小, 自由基 / 焦油比值 (从第 3 口算起) 总体上呈线性降低趋势。Parrish 等^[83]的研究表明, 随着卷烟圆周的减小 (17.0~24.8 mm), 单支卷烟主流或侧流烟气氨、苯、甲苯及丙烯酸的释放量呈下降趋势, 但以单位质量烟丝计, 苯、甲苯、丙烯醛释放量随圆周的减小显著升高, 而氨的释放量略有降低。

Izac^[51]的研究表明, 主流烟气中单位质量烟丝的 NO 和 HCN 释放量随卷烟圆周的减小而增加, 但 NO 增幅较小, 仅增加 0.08 mg/g 烟丝 (17 mm vs 27 mm); NNN 和 NNK 的释放量不受圆周影响, 但 NAT 随卷烟圆周的减小先增加后降低。Coggins 等^[56]的研究表明, 与圆周 27.1 mm 卷烟相比, 随圆周的减小烟气成分的释放量降低趋势并不显著; HCN 的释放量与圆周不相关, 但与抽吸口数相关, 其结果与 Yamamoto 等^[78]的研究结果不同。Irwin^[61]的研究表明, 在圆周 17.00~24.75 mm 范围内, NO、HCN 和苯酚

释放量与焦油释放量的比值对圆周不敏感，但在圆周较小 (13 mm) 时增加，在圆周较大 (29 mm) 时减小。Ashley 等^[73]在 ISO、HCI 或 Massachusetts 抽吸模式下的烟气成分测试数据表明，细支卷烟的 NO、丙烯腈、苯、1,3- 丁二烯和 TSNAs 释放量低于常规卷烟。Siu 等^[74]的研究表明，在 ISO 和 HCI 两种抽吸模式下细支卷烟在两种抽吸模式下主流烟气中芳香胺的释放量显著降低 (归因于单支卷烟烟丝量的降低)，但 HCI 模式下氨的释放量明显增加。Dittrich 等^[84]研究表明，主流烟气中芳香胺、苯并 [a] 芘和挥发性有毒化合物随圆周的减小而降低。

综上可知，卷烟烟气常规烟气成分 (焦油、烟碱和 CO) 和其他主要有害成分 (挥发性酚、苯并 [a] 芘、羟基化合物、氨、苯、甲苯、NO、丙烯腈、1,3- 丁二烯和 TSNAs 等) 释放量随圆周的减小呈降低趋势，但单口释放量受抽吸容量或抽吸模式的影响。HCN 释放量变化仅与抽吸口数相关。以单位烟丝或单位总粒相物或单位烟碱计，有害成分的释放量随圆周减小变化不大或有所增加。

3.2.2 侧流烟气

Perfetti 等^[52]的研究表明，卷烟圆周由 24.72 mm 降至 21.46 mm 时，侧流烟气的释放量下降了 25%。Chao^[85]的研究表明，卷烟侧流烟气粒相物和烟碱释放量随圆周的减小 (13~22 mm) 而线性降低。

Randolph 等^[86]的研究表明圆周分别为 17 和 20 mm 的卷烟侧流烟气中苯和甲苯的释放量水平平均高于圆周为 24.8 mm 的卷烟，甲苯的增幅在 15% 左右，苯的增幅低于 10%。Parrish 等^[83]的研究表明，随着卷烟圆周的减小 (17.0~24.8 mm)，单支卷烟主流或侧流烟气氨、苯、甲苯及丙烯醛的释放量呈下降趋势；以单位质量烟丝计，苯、甲苯、丙烯醛释放量随圆周的减小而显著升高，而氨释放量略有降低。Dittrich 等^[84]的研究表明，减小卷烟圆周能够降低侧流烟气中有害成分的释放量。可见，降低卷烟圆周是减少侧流烟气释放量的有效技术手段之一。

3.2.3 PM 对环境气氛的影响

2016 年，Kant 等^[87]采用自动环境烟气产生装置 (Automatic environmental tobacco smoke emitter) 研究了超细烟支卷烟 Vogue BLEUE、Vogue MENTHE 和 Vogue LILAS(长度 100 mm，圆周 18.85 mm) 主流烟气和侧流烟气粒相物 (particulate matter, PM) 对环境气氛的影响，结果如表 1 所示。由表 1 可以看出，细支卷烟主侧流烟气释放的粒相物量比常规卷烟高 26%~32%，且添加薄荷醇的超细烟支所释放的 PM10、PM2.5 和 PM1 的量最高，分别比 3R4F 参比卷烟高出 17%、16% 和 10%，而不加添加剂的常规卷烟的三者释放水平均较 3R4F 参比卷烟降低 30% 左右。可见，薄荷醇等添加剂可能有助于 PM 的形成。

表 1 KSC 3R4F、KSC Vogue La 卷烟和 3 种细支卷烟 (Vogue BLEUE、Vogue MENTHE、Vogue LILAS) 烟支参数及颗粒物释放量
Tab.1 Physical and cheimical indexes and release of particulate matter (PM) of KSC 3R4F, KSC Vogue La cigarettes, and three slim cigarettes (Vogue BLEUE, Vogue MENTHE, and Vogue LILAS)

项目		3R4F	Vogue La	Vogue BLEUE	Vogue MENTHE	Vogue LILAS
烟支参数	焦油 /(mg·支 ⁻¹)	9.50	6.00	6.00	6.00	4.00
	烟碱 /(mg·支 ⁻¹)	0.73	0.50	0.60	0.60	0.40
	CO/(mg·支 ⁻¹)	12	7	4	4	3
	卷烟长度 /mm	84.00	83.00	100.00	100.00	100.00
	圆周 /mm	24.80	24.82	18.85	18.85	18.85
	烟柱长度 /mm	57.00	57.00	70.00	70.00	70.00
	滤嘴长度 /mm	27.00	25.00	30.00	30.00	30.00
	填充体积 /cm ³	2.79	2.79	1.98	1.98	1.98
	卷烟质量 /g	1.05	0.78	0.60	0.58	0.56
	烟丝质量 /g	0.78	0.55	0.43	0.42	0.40
	滤嘴质量 /g	0.28	0.19	0.12	0.12	0.12
	填充密度 /(g·cm ⁻³)	0.28	0.20	0.30	0.29	0.28
	PM10/(μg·m ⁻³)	1926±69	1349±83	1559±51	2224±85	1974±71
PM 平均浓度	PM2.5/(μg·m ⁻³)	1920±68	1344±82	1555±50	2233±84	1965±69
	PM1/(μg·m ⁻³)	1721±49	1229±64	1350±33	1892±67	1666±48

注：KSC 为 King Size Cigarette 的缩写。

根据本文综述,国外研究结论总体上是一致的。可能主要因为扩散路径减小和气流速度增加,在单位质量燃烧烟丝下,CO、甲醛等易挥发成分的释放量呈增加趋势;可能主要因为燃烧温度升高和气流增加,在单位质量燃烧烟丝下,多环芳烃、芳香胺的释放量呈增加趋势。目前,在基于圆周变化的众多伴随参数中,主要因素或参数的甄别及对烟气影响的机理机制、感官品质和烟气香味成分等方面的研究仍然较少,这将是本领域亟需解决的基础性课题。

4 安全性评估

4.1 体外实验

Massey 等^[88]的研究表明,与圆周 29 mm 的卷烟相比,圆周 13 mm 卷烟烟气冷凝物的埃姆斯(Ames)比活性(specific activity)降低 50%以上,以单位烟支计,Ames 比活性下降了 90%。Massey^[71]的研究表明,在标准抽吸条件下(抽吸间隔 60 s,抽吸容量 35 mL,抽吸持续时间 2 s),相同圆周的美式混合型卷烟的 Ames 活性高于烤烟混合型;以相同的线速度抽吸卷烟,在圆周 13~22 mm 范围内,随圆周的减小 Ames 活性线性下降,但在 22~29 mm 范围内,Ames 活性变化不明显;在 21%和 25%两种氧气浓度下,常规卷烟烟气冷凝物的 Ames 活性相当,但均低于氧气浓度为 17%条件下的烟气冷凝物活性,表明随着卷烟圆周的减小,圆周/横截面积比值升高,使抽吸过程中的氧气供应量相对增加,而氧气利用率是影响 Ames 活性的一个重要因素。Irwin^[77]的研究表明,在标准抽吸模式下,卷烟烟气 Ames 活性随着圆周的减小(13~39 mm)而降低,可能是由于烟气中较多的氧化性物质将 Ames 活性物质氧化成低活性或非活性物质所致。Smith^[89]的综述表明,在圆周 13~29 mm 范围内,无论是烤烟型卷烟还是美式混合型卷烟,烟气冷凝物的 Ames 活性均随着圆周的减小而降低。Massey^[90]的研究表明,圆周 13 mm 卷烟烟气冷凝物对淋巴细胞染色体的损伤能力及其 Ames 活性均低于圆周 24.75 mm 的卷烟。Izac^[51]采用 TA98 和 TA100 菌株进行了回复突变试验,结果表明,单位质量烟丝的烟气活性随卷烟圆周的减小而降低。Coggins 等^[56]的研究表明,全烟气的 Ames 活性(TA98+TA100)和细胞毒性均随着圆周的减小而降低。Mladjenovic 等^[91]采用沙门氏菌回复突变试验(TA98、YG1401 和 YG5185)研究了 11 种市售加拿大品牌卷烟烟气浓缩物的毒理学性质,结果表明,与 3R4F 参比卷烟相比,细支卷烟的 Ames 活性有中等程度的降低。

除卷烟圆周外,细支卷烟的叶组配方、抽吸模式以及添加剂的使用等也会影响烟气致突变活性。叶组配方对 TA98 和 YG1041 的回复突变试验影响较大,与 CM8 监测卷烟相比,烤烟型细支卷烟的致突变活性显著降低,而混合型细支卷烟的致突变活性与 CM8 相当或高于 CM8;但在 YG5185 的回复突变试验中,细支卷烟叶组配方的影响差异不显著;在 ISO 抽吸模式下,混合型细支卷烟的致突变活性低于 CM8 卷烟;在 HCI 抽吸模式下,对于添加活性炭的细支卷烟,其烟气浓缩物的 TA98 和 YG5185 致突变活性显著升高^[91]。Massey 等^[92]对两种细支卷烟(圆周 19 mm)和 6 种瑞士市售卷烟在燃吸过程中侧流烟气冷凝物的 TA98 致突变活性进行了研究,结果表明,在所有测试卷烟中,用常规卷烟纸卷制的细支卷烟的比活性处于中等水平;卷烟纸中含有 5%醋酸钠的细支卷烟的比活性最高,比常规细支卷烟约高出 32%;以单位烟支计,细支卷烟的致突变活性均低于常规卷烟。

4.2 体内实验

大多数卷烟主流烟气成分的释放量随卷烟圆周的减小而降低,但这并不意味着消费这些卷烟能够降低消费者的烟气暴露风险。Lugton 等^[31]利用草履虫、四膜虫等对烟气粒相物的毒性进行检测,结果表明,其生物学活性随卷烟圆周的减小而降低。Clapp 等^[93]进行了小鼠皮肤涂抹实验,发现圆周 23.0 mm 卷烟烟气冷凝物的致癌性比圆周 25.4 mm 卷烟降低了 11.8%。Dontenwill 等^[94]的小鼠皮肤涂抹实验结果表明,卷烟圆周对烟气冷凝物的致癌性有一定影响,圆周较小的卷烟的生物学效应相对较低。Smith^[89]的综述表明,在圆周 13~29 mm 范围内,小鼠皮肤涂抹实验表明,圆周 19 mm 卷烟的烟气活性低于圆周分别为 25.3 和 31.5 mm 的卷烟,圆周 21.7 mm 卷烟的烟气活性低于圆周分别为 25.5 和 28.6 mm 的卷烟;急性吸入实验表明,P448 酶的激活与卷烟圆周呈正相关关系,但小鼠吸入实验处理组间的规律并不一致。

Ashley 等^[95]在罗马尼亚对比研究了细支卷烟(17 mm)和常规卷烟(25 mm)焦油和烟碱对消费者口腔水平的暴露风险,结果表明,在相应的 ISO 焦油释放系列中,卷烟圆周对口腔暴露水平并无影响。Ashley 等^[73]在俄罗斯也进行了同样的研究,结果表明,在 1 mg ISO 焦油系列中两种卷烟的焦油-口腔暴露水平相似,但当焦油量为 4 和 7 mg 时,细支卷烟的暴露水平低于常规卷烟;对于烟碱-口腔暴露水平,4 mg 时,细支卷烟低于常规卷烟,但其余焦油水平下圆周的影响并无显著差异。

此外, Matsunaga 等^[96]研究了卷烟长度/圆周对消费者血液中镉水平的影响, 结果表明, 血液中镉含量受卷烟圆周的影响较小, 而受卷烟长度的影响较大, 与抽吸常规卷烟相比, 抽吸长的或超长的卷烟的消费者血液中镉含量分别高出 20% 和 27%。

综上所述, 卷烟烟气冷凝物或全烟气的 Ames 试验、细胞毒性试验以及对淋巴细胞染色体的损伤能力等体外实验均表明细支卷烟的安全性高于常规卷烟, 但受叶组配方的影响较大。草履虫、四膜虫和小鼠皮肤涂抹等活体实验显示卷烟烟气的生物学活性随圆周的减小而降低, 但人体暴露实验中, 细支卷烟和常规卷烟效果差异不明显, 血液中重金属含量甚至高于常规卷烟。

5 小结与展望

整体来看, 国外在细支卷烟产品开发和基础研究方面的研究开展较早, 覆盖面涉及物理指标、烟气指标及安全性评估等方面, 且在这些方面的研究颇多, 但关于细支卷烟对环境气氛的影响的研究开展较少。国内在细支卷烟领域的研究尽管起步较晚, 但势头强劲, 近些年在细支卷烟相关的制丝、烟用材料、烟气成分以及卷烟设计等方面取得了一定进展, 但研究的深度有待强化。国内烟草行业在细支卷烟燃吸机理以及烟气的安全性评估方面的研究有所欠缺。

国内烟草行业在实施“细支卷烟升级创新”重大专项过程中, 各参与单位应充分把握国外在细支卷烟基础研究领域的相关进展, 实时跟踪行业前沿, 积极参与前沿技术的研究与学术交流, 赢得国际话语权。在具体研发环节, 善于利用已有研究结果, 对未达成一致结论的, 如部分参数(燃吸温度、自熄实验、CO 释放水平, 以及一些生物学效应等)随圆周的变化可能存在平台期, 加大投入力度。另外, 细支卷烟相关的临床评估研究相对偏少, 目前主要集中于口腔暴露水平评估, 尽管风险差异随圆周变化不大或在特定焦油水平下有所降低, 但研究并不系统, 其深度以及其他临床评估实验有待进一步拓展。

此外, 与国外细支卷烟的规格相比, 国内细支卷烟的规格偏窄, 不利于烟支圆周等物理参数的连续性和深入性探究。随着国内“中支卷烟”(国外属于细支卷烟)的开发和未来相关研究的开展, 国内烟草行业在标准制定方面, 是只制定细支卷烟标准, 还是将中支、细支卷烟标准分开制定, 应根据行业的实际情况而定。但本着便于国际交流的目的, 在基础研究方面, 建议将中支卷烟纳入细支卷烟研究的规格分类范

围。国内烟草行业单位间联系比较紧密, 具有良好的合作基础和条件, 因此, 在细支卷烟亟需解决的基础性课题方面可进行协同攻关, 从而构建以中式烤烟风格为前提的技术保障平台。

参考文献

- [1] 杨鸿光. 打造中式卷烟发展新亮点——聚焦行业细支卷烟升级创新重大专项[EB/OL]. (2018-01-03) [2018-03-05]. http://www.eastobacco.com/zxbk/dyxxzx/xyxw/201801/t20180103_471676.html. YANG Hongguang. Creating a new highlight for development of Chinese-style cigarettes—Focusing on major project of upgradation and innovation of industrial slim cigarette[EB/OL]. (2018-01-03) [2018-03-05]. http://www.eastobacco.com/zxbk/dyxxzx/xyxw/201801/t20180103_471676.html.
- [2] 周振罗. 聚焦细支烟培育 为行业创新发展添动力[EB/OL]. (2018-01-16) [2018-03-05]. http://www.eastobacco.com/zxbk/wzzt/2018qgh/hyjsdj/201801/t20180116_473631.html. ZHOU Zhenluo. Focusing on brand cultivation of slim cigarette to promote innovation and development of tobacco industry[EB/OL]. (2018-01-16) [2018-03-05]. http://www.eastobacco.com/zxbk/wzzt/2018qgh/hyjsdj/201801/t20180116_473631.html.
- [3] 2017 年烟草工作基本情况[EB/OL]. (2018-01-16) [2018-03-05]. http://www.eastobacco.com/zxbk/wzzt/2018qgh/tjbg/201801/t20180116_473743.html. Basic situation of tobacco work in 2017[EB/OL]. (2018-01-16) [2018-03-05]. http://www.eastobacco.com/zxbk/wzzt/2018qgh/tjbg/201801/t20180116_473743.html.
- [4] 廖晓祥, 赵云川, 邹泉, 等. 梗丝形态对细支卷烟品质稳定性的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(10): 74-80. LIAO Xiaoxiang, ZHAO Yunchuan, ZOU Quan, et al. Influences of cut stem morphology on quality consistency of super-slim cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(10): 74-80.
- [5] 陈丞. 综合测试台检测细支卷烟的技术改造[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(6): 309-312. CHEN Cheng. Technological transformation of fine cigarettes detected by integrated test stand[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(6): 309-312.
- [6] 李钊. 提高细支烟在 PSSIM 机型改造后的可靠性[J]. 机械工程师, 2014(9): 222-223. LI Zhao. Improve the reliability of slim cigarette after the transformation of PSSIM model[J]. Mechanical Engineer, 2014(9): 222-223.
- [7] 殷树强. PASSIM8K 机组生产超细支(φ5.4)卷烟[J]. 科技与企业, 2013(18): 304. YIN Shuqiang. Production of ultra-fine branch (φ5.4) cigarettes in PASSIM8K cigarette making machine[J]. Technology and Business, 2013(18): 304.
- [8] 闫俊科. ZJ114 型超细烟支卷接机组的改进设计与研制[D]. 郑州: 郑州大学, 2012. YAN Junke. The improved design and development of ZJ114 superfine cigarette rolling and connecting machine[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2012.
- [9] 任珂. ZJ114 卷接机组烟丝通道堵丝现象的分析[J]. 中国新技术新产品, 2012(1): 4. REN Ke. Analysis on the phenomenon of blocking of tobacco in ZJ114 cigarette making machine[J]. China New Technologies and Products, 2012(1): 4.
- [10] 汤治国. ZJ114 卷接机组卷制超细烟支时风室部件的改进[J]. 烟草科技, 2009(11): 28-30. TANG Zhiguo. Modification of suction chamber assembly in ZJ114 cigarette making machine for making super slim cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2009(11): 28-30.
- [11] 王道基. “综合式”卷烟机生产细支烟[J]. 烟草科技, 1983(1):

- 23-25.
WANG Daoji. Comprehensive cigarette making machine for the production of slim cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 1983(1): 23-25.
- [12] 骆斌, 郑方. 综合式卷烟机生产 80 毫米细支烟 [J]. 烟草科技, 1983(4): 40-41.
LUO Bin, ZHENG Fang. Comprehensive cigarette making machine for the production of slim cigarettes with diameter of 80 mm[J]. Tobacco Science & Technology, 1983(4): 40-41.
- [13] 田忠, 陈闯, 许宗保, 等. 制丝关键工序对细支卷烟燃烧温度及主流烟气成分的影响 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21(6): 19-26.
TIAN Zhong, CHEN Chuang, XU Zongbao, et al. Effects of key process steps on burning temperature and chemical components in mainstream smoke of slim cigarettes[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(6): 19-26.
- [14] 丁美宙, 刘欢, 刘强, 等. 梗丝形态对细支卷烟加工及综合质量的影响 [J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 197-202.
DING Meizhou, LIU Huan, LIU Qiang, et al. Effects of stem morphology on processing and comprehensive quality of slim cigarettes[J]. Food & Machinery, 2017, 33(9): 197-202.
- [15] 张亚平, 张晓宇, 周顺, 等. 卷烟纸组分对常规和细支卷烟烟气释放量及感官质量的影响 [J]. 烟草科技, 2017, 50(11): 48-57.
ZHANG Yaping, ZHANG Xiaoyu, ZHOU Shun, et al. Effects of cigarette paper components on smoke release and sensory quality of normal and slim cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(11): 48-57.
- [16] 李海锋, 杨皓, 宣润泉, 等. 卷烟纸特性对细支烟主流烟气指标的影响 [J]. 中国造纸, 2017, 36(6): 38-42.
LI Haifeng, YANG Hao, XUAN Runquan, et al. Influence of cigarette paper characteristics on the mainstream smoke of slim cigarettes[J]. China Pulp & Paper, 2017, 36(6): 38-42.
- [17] 余耀, 詹建波, 王浩, 等. 致密包灰全麻卷烟纸制备技术及应用 [J]. 新型工业化, 2017, 7(3): 44-48.
YU Yao, ZHAN Jianbo, WANG Hao, et al. Manufacturing technology and application of hemp cigarette paper with dense ash integration[J]. The Journal of New Industrialization, 2017, 7(3): 44-48.
- [18] 高明奇, 马宇平, 顾亮, 等. 细支卷烟用二醋酸纤维素束束的应用性能 [J]. 烟草科技, 2017, 50(11): 75-80.
GAO Mingqi, MA Yuping, GU Liang, et al. Application performance of cellulose acetate tow for slim cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(11): 75-80.
- [19] 高明奇, 顾亮, 李明哲, 等. 不同规格中细支卷烟醋酸纤维束性能研究 [J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 196-200.
GAO Mingqi, GU Liang, LI Mingzhe, et al. Study on performance of different specifications of acetate tow for medium fine cigarette[J]. Food & Machinery, 2017, 33(6): 196-200.
- [20] 甘学文, 冯茜, 胡启秀, 等. HCl 模式对超细卷烟常规烟气成分测试结果的影响 [J]. 烟草科技, 2014(7): 40-44.
GAN Xuewen, FENG Qian, HU Qixiu, et al. Influences of HCl regime on determination results of routine smoke components of super slim cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2014(7): 40-44.
- [21] 边照阳, 王颖, 李中皓, 等. 细支卷烟主流烟气有害成分释放量的分析 [J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 33-40.
BIAN Zhaoyang, WANG Ying, LI Zhonghao, et al. Analysis of harmful constituents in mainstream smoke of slim cigarettes[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2016, 22(5): 33-40.
- [22] 葛畅, 赵明月, 胡有持, 等. 细支与常规卷烟主流烟气常规指标及中性致香成分对比分析 [J]. 烟草科技, 2017, 50(4): 43-50.
GE Chang, ZHAO Mingyue, HU Youchi, et al. Analysis of routine indexes and neutral aroma components in mainstream smoke of slim and normal cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(4): 43-50.
- [23] 林婉欣, 招美娟, 石晓江, 等. 细支卷烟的吸阻与物理指标相关性分析 [J]. 工程技术研究, 2017(5): 115-116.
LIN Wanxin, ZHAO Meijuan, SHI Xiaojiang, et al. Correlation analysis of physical indexes and draw resistance of slim cigarettes[J]. Engineering Technology Research, 2017(5): 115-116.
- [24] 章平泉, 徐光忠, 陆斌, 等. 细支卷烟主要物理特性的因子分析 [J]. 安徽农学通报, 2017, 23(4): 76-77.
ZHANG Pingquan, XU Guangzhong, LU Bin, et al. Analysis of the main physical properties of slim cigarettes based on factor analysis[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(4): 76-77.
- [25] 孙东亮, 赵华民. 基于消费者感知的细支卷烟轻松感、满足感设计思路 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23(2): 42-49.
SUN Dongliang, ZHAO Huamin. Design concept of slim cigarette based on consumer's feeling of relaxation and satisfaction[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(2): 42-49.
- [26] McAdam K, Eldridge A, Fearon I M, et al. Influence of cigarette circumference on smoke chemistry, biological activity, and smoking behaviour[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2016, 82: 111-126.
- [27] Moodie C, Ford A, Mackintosh A, et al. Are all cigarettes just the same? Female's perceptions of slim, coloured, aromatized and capsule cigarettes[J]. Health Education Research, 2015, 30(1): 1-12.
- [28] Davis D, Nielsen M T. Tobacco: production, chemistry and technology[M]. Malden: Blackwell Science Inc. 1999: 353-387.
- [29] Iranian Tobacco Company. Specifications of plan (round) HOMA cigarette manufactured in 1951[EB/OL]. [2017-11-15]. <https://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/#id=ypgd0197>.
- [30] Samfield M M. Declaration of Max M Samfield in the matter of opposition to Japanese patent application No. 110432/1986 in the name of British-American Tobacco Company Limited[EB/OL]. [2017-11-15]. <https://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/#id=zspp0212>.
- [31] Lugton W G D. Cigarette design: the smoke analysis of some commercial brands[EB/OL]. (1973-03-28) [2017-11-15]. <https://www.Industrydocumentslibrary.Ucsf.Edu/tobacco/docs/#id=rhkj0189>.
- [32] Martineau P. Papers from the 1969 A.A.A.A. region conventions: how an agency builds a brand-the Virginia slims story[EB/OL]. (1970-10-28) [2017-11-15]. <http://legacy.Library.Ucsf.Edu/tid/efc64e00>.
- [33] Unknown. Silva thins, filter and menthol research and copy presentation[EB/OL]. 1968 [2017-11-15]. <http://legacy.Library.Ucsf.Edu/tid/cih05f00>.
- [34] Unknown. A consumer survey of Silva thins and Virginia slims smokers[EB/OL]. 1968 [2017-11-15]. <http://legacy.Library.Ucsf.Edu/tid/epb70a00>.
- [35] Ernster V L. Women, smoking, cigarette advertising and cancer[J]. Women & health, 1986, 11(3/4): 217-235.
- [36] O'Keefe A M, Pollay R W. Deadly targeting of women in promoting cigarettes[J]. Journal of the American Medical Women's Association (1972), 1996, 51(1/2): 67-69.
- [37] Boyd C J, Boyd T C, Cash J L. Why is Virginia slim? Women and cigarette advertising[J]. The International Quarterly of Community Health Education, 1999, 19(1): 19-31.
- [38] Boyd T C, Boyd C J, Greenlee T B. A means to an end: slim hopes and cigarette advertising[J]. Health Promotion Practice, 2003, 4(3): 266-277.
- [39] Pawlińska-Chmara R, Wronka I, Suliga E, et al. Socio-economic factors and prevalence of underweight and overweight among female students in Poland[J]. HOMO-Journal of Comparative Human Biology, 2007, 58(4): 309-318.
- [40] Manaf R A, Shamsuddin K. Smoking among young urban Malaysian women and its risk factors[J]. Asia Pacific Journal of Public Health, 2008, 20(3): 204-213.
- [41] Lee K, Carpenter C, Challa C, et al. The strategic targeting of females by transnational tobacco companies in south Korea following trade liberalisation[J]. Globalization and Health, 2009, 5: 2.
- [42] Mutti S, Hammond D, Borland R, et al. Beyond light and mild: cigarette brand descriptors and perceptions of risk in the International Tobacco Control (ITC) four country survey[J].

- Addiction, 2011, 106(6): 1166-1175.
- [43] Tatham E R. Brand equity exploration Capri superslims. Escape from the ordinary[EB/OL]. (1995-02-16) [2017-11-15]. <http://legacy.Library.Ucsf.Edu/tid/yhd90f00/pdf>.
- [44] Park S. Preference evolution in the south Korean cigarette market[EB/OL]. 2009 [2017-11-15]. <http://www.doc88.com/p-9935248663942.html>.
- [45] European Commission. European Commission document 2013[EB/OL]. [2017-11-15]. https://datacollection.jrc.ec.europa.eu/np/2013/-/document_library_display/2h9Q/view/web/def/contacts.
- [46] 骆晨. 2016年世界烟草发展报告(上)[N/OL]. 东方烟草报, 2017-04-12 [2018-03-05]. <http://www.etmoc.com/global/looklist.asp?id=30536>.
LUO Chen. World tobacco development report 2016 (part one) [N/OL]. East Tobacco News, 2017-04-12 [2018-03-05]. <http://www.etmoc.com/global/looklist.asp?id=30536>.
- [47] Kmietowicz Z. Teenagers say slim cigarettes are "cool" and "classy"[J]. BMJ, 2013, 347: f6759.
- [48] Ford A, Moodie C, MacKintosh A M, et al. Adolescent perceptions of cigarette appearance[J]. European Journal of Public Health, 2014, 24(3): 464-468.
- [49] Kaleta D, Polanska K, Bak-Romaniszyn L, et al. Perceived relative harm of selected cigarettes and non-cigarette tobacco products-a study of young people from a socio-economically disadvantaged rural area in Poland[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016, 13(9): 885.
- [50] Schneider W, Schluter A. A semi-empirical model for simulating the effect of design components on smoke deliveries[EB/OL]. [2017-11-15]. <https://www.Industrydocumentslibrary.Ucsf.Edu/tobacco/docs/#id=msfl0138>.
- [51] Izac R R. Project wide. Philip Morris report[EB/OL]. (1993-02-05) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/jlhx0108>.
- [52] Perfetti P F, Townsend D E, Taylor J N. The effect of circumference on cigarette burn rates and deliveries[EB/OL]. (1983-12-15) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/qjhg0082>.
- [53] Yamamoto T, Anzai U, Okada T. Effect of cigarette circumference on weight loss during puffs and total delivery of tar and nicotine[J]. Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 1984, 12(5): 259-269.
- [54] Baker R R. A review of methods of altering the burning characteristics of cigarettes[EB/OL]. (1973-06-04) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/npdp0205>.
- [55] Irwin W D E. The effects of circumference on mainstream deliveries and composition[R]. London: British American Tobacco, 1989.
- [56] Coggins C R E, McKinney W J Jr, Oldham M J. A comprehensive evaluation of the toxicology of experimental, non-filtered cigarettes manufactured with different circumferences[J]. Inhalation Toxicology, 2013, 25(S2): 69-72.
- [57] Guban K. Natural smoulder in cigarettes[J]. Combustion and Flame, 1966, 10(2): 161-164.
- [58] Arany-Fuzessery K, Hamza-Nagy I, Nagy-Buday I. Effect of physical characteristics of cigarettes on their burning properties and on the major components of the main stream smoke[J]. Acta Alimentaria, 1982, 11: 143-155.
- [59] Resnik F E, Houck W G, Geiszler W A, et al. Factors affecting static burning rate[J]. Tobacco Science, 1977, 21: 103-107.
- [60] Yi S C, Song E S, Oh S G, et al. Theoretical analysis of the effects of cigarette design parameters on the smoldering rates, heat flux, and total heat released during smoldering of a cigarette[J]. Journal of Fire Sciences, 2001, 19(1): 18-30.
- [61] Irwin W D E. The effects of circumference on mainstream deliveries and composition: progress report[EB/OL]. (1988-03-30) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/qhng0207>.
- [62] Robinson D P. Preliminary application of infra-red thermography to the measurement of cigarette coal temperatures[EB/OL]. (1985-11-21) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/zndg0214>.
- [63] Krasny J F, Harris R H Jr, Levine R S, et al. Cigarettes with low propensity to ignite soft furnishings[J]. Journal of Fire Science, 1989, 7(4): 251-288.
- [64] Case P, Coburn S, Cotte V, et al. Low ignition propensity regulation: the role of cigarette papers, tobacco and circumference[C]//63rd Tobacco Science Research Conference. Amelia Island, Florida: British American Tobacco, 2009.
- [65] Coburn S. Low ignition propensity: effect of tobacco type, stem inclusion level and cigarette circumference on the performance in the ASTM e2187-04 test method[R]. BAT Report No. P.487. London: British American Tobacco, 2010.
- [66] 吴君章, 沈光林, 孔浩辉, 等. 卷烟烟气气溶胶粒度的研究进展[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(2): 108-113.
WU Junzhang, SHEN Guanglin, KONG Haohui, et al. Research developments in cigarette smoke aerosol particle size distribution[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(2): 108-113.
- [67] Jones R T, Richardson R B. The effect of cigarette circumference and puff flow rate on smoke particle size[EB/OL]. (1971-06-03) [2017-11-15]. <https://www.industrydocumentslibrary.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=qtdd0195>.
- [68] Fiebelkorn R T, Robinson D P. The influence of cigarette circumstance on mainstream smoke particle characteristics[EB/OL]. (1988-04-21) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/rfbh0135>.
- [69] Egilmez N. Smoke aerosol characterisation of some slim and low-tar cigarettes from the US market[EB/OL]. (1987-06-08) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/hpbf0207>.
- [70] DeBardeleben M A, Chaffin W E, Gannon W F. Role of cigarette physical characteristics on smoke composition[J]. Recent Advances in Tobacco Science, 1978, 4: 85-111.
- [71] Massey E D. The effect of cigarette circumference and tobacco blend on Ames mutagenicity[EB/OL]. (1989-03-28) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/pnvv0205>.
- [72] Yamamoto T. The effect of packing density, circumference, and the kind of shreds on the weight loss during a puff and carbon oxide delivery in the mainstream smoke[J]. Sembai Kosha Chuo Kenkyusho Kenkyo Hokoku, 1981, 123: 1-8.
- [73] Ashley M, Dixon M, Prasad K. Relationship between cigarette format and mouth-level exposure to tar and nicotine in smokers of Russian king-size cigarettes[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2014, 70(1): 430-437.
- [74] Siu M, Mladjenovic N, Soo E. The analysis of mainstream smoke emissions of Canadian 'super slim' cigarettes[J]. Tobacco Control, 2013, 22(6): e10.
- [75] Sweeney C T, Kozlowski L T, Parsa P. Effect of filter vent blocking on carbon monoxide exposure from selected lower tar cigarette brands[J]. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 1999, 63(1): 167-173.
- [76] Rostami A A, Hajaligol M R. Modeling the diffusion of carbon monoxide and other gases from the paper wrapper of a cigarette during puffing[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2003, 66(1/2): 263-280.
- [77] Irwin W D E. The effects of circumference on mainstream deliveries and composition: progress report 2[EB/OL]. (1989-02-22) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/lnvv0205>.
- [78] Yamamoto T, Suga Y, Tokura C, et al. Effect of cigarette circumference on formation rates of various components in mainstream smoke[J]. Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 1985, 13(2): 81-87.
- [79] Kalaitzoglou M, Samara C. Gas/particle partitioning and yield levels of polycyclic aromatic hydrocarbons and *n*-alkanes in the

- mainstream cigarette smoke of commercial cigarette brands[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(8): 1432-1442.
- [80] Yamazaki M, Saito S. The effect of physical properties of cigarettes on the content of carbonyl compounds in the mainstream smoke: effect of moisture content and circumference[J]. Japan Monopoly Corp, 1978, 120: 15-21.
- [81] Baker R R. The generation of formaldehyde in cigarettes-overview and recent experiments[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(11): 1799-1822.
- [82] Matkin D A. A study of free radicals in cigarette smoke[EB/OL]. (1988-03-03) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/hsfj0195>.
- [83] Parrish M E, Randolph H R, Thomas C E. Determination of MS/SS deliveries of ammonia, benzene, toluene, formaldehyde, acetaldehyde, acrolein, and butyraldehyde for cigarette models with and without Mg(OH)₂ paper at 17, 20 and 24.8 mm circumference[EB/OL]. (1989-06) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/#id=fxmb0145>.
- [84] Dittrich D J, Fieblekorn R T, Bevan M J, et al. Approaches for the design of reduced toxicant emission cigarettes[J]. SpringerPlus, 2014, 3: 374.
- [85] Chao L C. The effect of cigarette circumference on the sidestream emissions[EB/OL]. (1985-03-25) [2017-11-15]. <http://legacy.Library.Ucsf.Edu/tid/lwp21j00>.
- [86] Randolph H P, Parrish M E. MS and SS benzene and toluene deliveries for cigarette models with and without Mg(OH)₂ paper at 17, 20 and 24.8 mm circumference[EB/OL]. (1988-07-15) [2017-11-15]. <http://legacy.Library.Ucsf.Edu/tid/xac90b00>.
- [87] Kant N, Müller R, Braun M, et al. Particulate matter in second-hand smoke emitted from different cigarette sizes and types of the brand Vogue mainly smoked by women[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016, 13(8): 799.
- [88] Massey E D, Godden P M M. The effect of cigarette circumstance on Ames mutagenicity[EB/OL]. (1987-01-09) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/ssfb0140>.
- [89] Smith G. A review of the biological activity of smoke[EB/OL]. (1990-11-01) [2017-11-15]. <http://www.industrydocumentslibrary.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=tsjf0062>.
- [90] Massey E D. *In vitro* clastogenic activity of tobacco smoke condensate in human lymphocytes[EB/OL]. (1991-01-07) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/fkkm0178>.
- [91] Mladjenovic N, Maertens R M, White P A, et al. Mutagenicity of smoke condensates from Canadian cigarettes with different design features[J]. Mutagenesis, 2014, 29(1): 7-15.
- [92] Massey E, Barnes A G. Ames mutagenic activity of sidestream condensate. Comparison of prototype slim cigarettes and six commercial cigarettes from the Swiss market[EB/OL]. (1987-01-26) [2017-11-15]. <http://industrydocuments.Library.Ucsf.Edu/tobacco/docs/lfdc0140>.
- [93] Clapp M J, Conning D M, Wilson J. Studies on the local and systemic carcinogenicity of topically applied smoke condensate from a substitute smoking material[J]. British Journal of Cancer, 1977, 35(3): 329-341.
- [94] Dontenwill W, Chevalier H J, Harke H P, et al. Experimental investigations on the tumorigenic activity of cigarette smoke condensate on mouse skin. VII. Comparative studies of condensates from different modified cigarettes (author's transl) [J]. Zeitschrift für Krebsforschung Und Klinische Onkologie/Cancer Research and Clinical Oncology, 1977, 89(2): 145-151.
- [95] Ashley M, Sisodiya A, McEwan M, et al. Comparison of mouth level exposure to 'tar' and nicotine in smokers of normal and superslim king size cigarettes in Romania[J]. Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 2011, 24(6): 277-288.
- [96] Matsunaga Y, Agaku I T, Vardavas C I. The association between cigarette rod length, slim design, and blood cadmium levels among U.S. smokers: NHANES 1999–2010[J]. Preventive Medicine, 2014, 65: 87-91.

Brief review of research on slim cigarettes

WANG Jinbang¹, HONG Guangfeng¹, GAO Jian², QIU Jiqing¹, ZHENG Lu¹, HONG Qunye¹, ZHANG Qidong¹

¹ Zhengzhou Tobacco Research Institute, China National Tobacco Corporation, Zhengzhou, 450001, China ;

² School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China

Abstract: In order to better understand current research progress in slim cigarette such aspects as combustion mechanism, formation and delivery of smoke and safety assessment of slim cigarettes were reviewed. Results showed that compared with conventional cigarette, slim cigarette presented a more pleasant and less harmful image of smoking in smokers. With respect to basic research on combustion mechanism, the formation and delivery of smoke and safety assessment in related field, considerable research works had been done by international tobacco companies since 1951. Such research started late in China however but enjoyed rapid development with focus on manufacture of cut tobacco, analysis of smoke components, and cigarette design, et al. Attention need to be paid to combustion mechanism and safety assessment of slim cigarette in domestic tobacco industry.

Keywords: slim cigarette; physical property; cigarette smoke index; chemical component; safety assessment

Citation: WANG Jinbang, HONG Guangfeng, GAO Jian, et al. Brief review of research on slim cigarettes [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(5)

*Corresponding author. Email: hgf@ztri.com.cn