

不同单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异

吴君章¹, 沈光林¹, 孔浩辉¹, 毕新慧²

1 广东中烟工业有限责任公司, 广州市荔湾区东沙环翠南路 88 号 510385;

2 中国科学院广州地球化学研究所, 广州市天河区科华街 511 号 510640

摘要: 为考察不同产地单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异以及 16 种多环芳烃的粒径分布规律, 制备了 20 种不同产地单料烟叶的卷烟和 3 种不同膨胀梗丝掺配比例的卷烟, 利用单孔道吸烟机和测量范围在 0.007 ~ 9.970 μm 的电子低压撞击器对样品主流烟气的溶胶粒子质量和数量进行了测量。结果表明: 1 不仅不同国家单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布有差异, 而且国内不同产地单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布也存在显著差异; 国内烟叶的粒子质量和数量总体比国外的偏大; 烟叶的化学成分和物理结构等因素导致其燃烧特性不一致可能产生了溶胶粒度分布差异; 2 同一产地不同品种烟叶主流烟气的溶胶粒度分布是有差异的。在选取的三个品种中红大品种的粒子质量和数量均最大, 云 85/87 品种的粒子质量和数量均最小; 3 不同部位烟叶主流烟气的溶胶粒度分布是有差异的, 不同产地烟叶部位的溶胶粒度分布规律并不完全一致; 4 烟丝中掺配膨胀梗丝的比例对主流烟气的溶胶粒度分布产生一定的影响。当膨胀梗丝的比例增加时, 溶胶粒子的质量降低; 粒子数量呈先增加后降低的趋势; 5 不同产地的单料烟叶主流烟气的 PAHs 质量的粒径分布规律相似, 粒径分布呈现单峰分布, 在 0.4829 μm 粒径段含量最高; 分子量较低的 3 ~ 4 环化合物占 PAHs 总量比例超过 80%。

关键词: 单料烟叶; 主流烟气的溶胶; 粒度分布; 多环芳烃

引用本文: 吴君章, 沈光林, 孔浩辉, 等. 不同单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21 (2)

单料烟叶是卷烟生产的主要原料, 其质量好坏直接影响卷烟产品的吸品质。将各种不同产地、不同品种以及不同等级的烟叶按一定的比例加以合理的混合可以形成具有特殊吸味风格的卷烟产品。不同品牌卷烟产品的配方不同, 其抽吸品质和口感也各不相同, 体现在微观上, 则是其主流烟气的溶胶的粒度分布和化学成分各不相同。胡旺云^[1]认为在理想情况下, 卷烟烟气的溶胶粒子在口腔(粘膜)上的沉淀和吸收, 受烟气粒子大小等诸多因素的影响, 随着烟气溶胶粒子的减小, 颗粒物在口腔黏膜上的扩散沉淀效率变大, 含有较多小粒子的卷烟烟气在口腔残留较大, 影响口感; 且卷烟的质量与烟气溶胶粒子大小的关系是当烟气溶胶粒子平均粒径为某值时卷烟质量最好。因此可以通过溶胶研究来选择合适的烟叶配比从而达到理想的抽吸品质。目前国内对单料烟叶的研究主要集中在不同产地、不同品种烟叶的物理特性差异^[2-3]和化学物质含量^[4-6]差异等方面。而在主流烟气的溶胶研究方面, 仅沈光林等^[7]、贾伟萍等^[8]

和吴君章等^[9]研究了不同类型的卷烟产品主流烟气的溶胶的粒度分布情况、“三纸一棒”对卷烟烟气的溶胶粒度分布的影响, 未见不同产地单料烟叶的主流烟气的溶胶粒度分布差异性的研究报道。

多环芳烃是卷烟烟气中最重要、数量较多的一类致癌物, 在吸烟可能致癌中起着主要作用。Hoffmann 在 2001 年公布的 69 种有害成分清单中多环芳烃占据了其中 10 种。多环芳烃中最重要的一类致癌物苯并[a]芘是卷烟主流烟气中七种有害成分之一^[10]。通过对卷烟主流烟气中多环芳烃含量的分析可以为评估吸烟对人们健康的危害提供直接的依据。目前行业内研究主要关注卷烟烟气中毒性最大的苯并[a]芘^[11-13], 而对多环芳烃的研究较少^[14-16], 且未见多环芳烃在主流烟气中不同粒径分布的研究。

因此本文通过研究不同产地、不同品种、不同部位的单料烟叶和不同膨胀梗丝掺配比例对主流烟气的溶胶粒度分布的影响以及 16 种多环芳烃含量在主流烟气中的粒径分布规律, 从卷烟主流烟气的溶胶角度

基金项目: 中国烟草总公司科技重点项目: 烟气溶胶分析及影响因素研究(合同号: 110200902055)

作者简介: 吴君章(1983—), 硕士, 工程师, 主要从事烟草化学的研究, Tel: 020-81233845, Email: wujunzhang@gdzygy.com

通讯作者: 沈光林(1964—), 博士, 研究员, 主要从事烟草工程及烟草化学方面的研究, Tel: 020-81233712, Email: shengl@gdzygy.com

收稿日期: 2014-05-23

为如何搭配和设计理想的卷烟配方以及降低卷烟烟气的危害提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 仪器

(1) 电子低压撞击器 (Electrical low pressure impactor, ELPI) (芬兰 DEKATI 公司) (详见参考文献 7)

(2) 吸烟机: LM1 单孔道吸烟机 (德国 Borgwaldt KC 公司)

(3) 超声波发生器 (美国 BRANSON 公司)

(4) 气相色谱-质谱联用仪 (7890A+5975C, 美国 Agilent 公司)

1.2 试剂和耗材

(1) 二氯甲烷 (色谱纯, CNW)

(2) 正己烷 (色谱纯, CNW)

(3) DB17-MS 色谱柱 (60 m × 0.25 mm, 0.25 μm, 美国 Agilent 公司)

(4) 16 种多环芳烃混标 (上海安谱科学仪器有限公司)

(5) 六甲基苯 (上海安谱科学仪器有限公司)

1.3 试验样品

本文选取了 20 个产地的烟叶作为研究对象, 试制了 20 种不同单料烟叶的卷烟 (卷烟规格 84 (20+64) mm, 烟丝只加保润剂, 其它卷烟辅助材料相同, 在相同条件下卷制) 和 3 种膨胀梗丝不同掺配比例 (烟丝和其它卷烟辅助材料相同) 的卷烟, 具体设计参数见表 1 和表 2。由于本文选择的烟叶样本量有限, 不足以涵盖国内外不同产地的烟叶, 因此本文的结论只适用于文中所研究的烟叶样品。

表 1 单料烟叶卷烟实验样品的设计参数
Tab.1 Design parameter of leaf tobacco samples

样品分类	样品编号	单料烟叶	备注
	A1	四川凉山 / C3F/ 复烤片烟	
	A2	湖南郴州 / C3F/ 复烤片烟	
	A3	山东临沂 / C3F/ 复烤片烟	
	A4	黑龙江 / C3F/ 复烤片烟	
	A5	津巴布韦进口烤烟	
	A6	巴西进口烤烟	
	A7	美国进口烤烟	
产地	A8	云南玉溪 / C3F/ 复烤片烟	K326 品种
	A9	云南红河 / C3F/ 复烤片烟	
	A10	福建三明 / C3F/ 复烤片烟	
	A11	湖北襄樊 / C3F/ 复烤片烟	
	A12	贵州铜仁 / C3F/ 复烤片烟	
	A13	河南许昌 / C3F/ 复烤片烟	
	A14	广东始兴 / C3F/ 复烤片烟	
	A15	云南玉溪 / B2F/ 复烤片烟	K326 品种
部位	A16	云南玉溪 / X2F/ 复烤片烟	K326 品种
	A17	河南许昌 / B2F/ 复烤片烟	
	A18	河南许昌 / X2F/ 复烤片烟	
	A19	云南玉溪 / C3F/ 复烤片烟	红大品种
品种	A20	云南玉溪 / C3F/ 复烤片烟	云 85/87 品种

表 2 不同膨胀梗丝掺配比例的卷烟实验样品的设计参数

Tab.2 Design parameter of cigarette samples with different blending ratio of expanded cut stem

样品编号	卷烟纸材质	卷烟纸透气度设计值 (CU)	接装纸透气度设计值 (CU)	成形纸透气度设计值 (CU)	滤棒长 / 压降	滤棒材质	膨胀梗丝掺配比例
B1	混合浆 -0.7% 柠檬酸盐	40	150	12000	30 mm/800 Pa	单一	6.9%
B2	混合浆 -0.7% 柠檬酸盐	40	150	12000	30 mm/800 Pa	单一	12.6%
B3	混合浆 -0.7% 柠檬酸盐	40	150	12000	30 mm/800 Pa	单一	16.7%

1.4 试验方法

气溶胶粒度分布检测方法详见参考文献 [7]；多环芳烃化学分析方法详见参考文献 [17]。文中所论述的粒径是几何平均粒径 D_i ， D_i 为两相邻冲击器的标识尺寸 D_p （为切割直径 $D_{50\%}$ ）的几何平均值。

2 结果与讨论

2.1 国内外不同产地单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异

选取四个国家（表 1 中的 A5、A6、A7 和 A8 号样品）有代表性的烟叶研究不同国家的单料烟叶的气溶胶粒度分布差异。图 1 所示为四个样品气溶胶粒子质量的粒度分布。从图 1 中可以看出，不同国家的烤

烟主流烟气的溶胶粒子质量分布有一定的差异性。其中气溶胶粒子质量由高到低是美国烤烟 > 云南玉溪烤烟 > 津巴布韦烤烟 > 巴西烤烟。四种烤烟粒子质量主要集中在 $0.4829 \sim 0.7613 \mu\text{m}$ 处。津巴布韦烤烟粒子质量的最大值在 $0.4829 \mu\text{m}$ 处，而云南玉溪和美国烤烟粒子质量的最大值在 $0.7613 \mu\text{m}$ 处；巴西烤烟在这两级则相差不大。四种烤烟在这两级粒径上的粒子质量约占总质量的 73% ~ 80%，津巴布韦烤烟的比例最高。

津巴布韦烤烟的粒子质量平均粒径最低，而其它三种烤烟的粒子质量平均粒径差别不大，从质量分布可以证明这一点：津巴布韦烤烟的大部分粒子分布在 $0.4829 \mu\text{m}$ 以下。

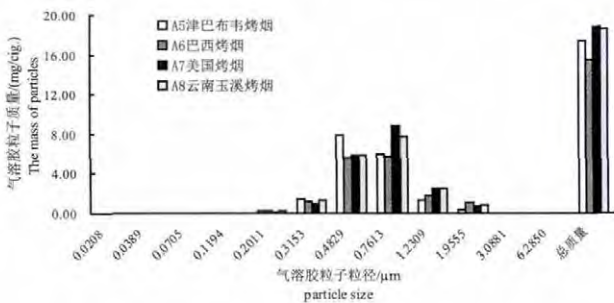


图 1 不同国家烟叶主流烟气的溶胶粒子质量的粒度分布

Fig.1 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of leaf tobacco from different countries

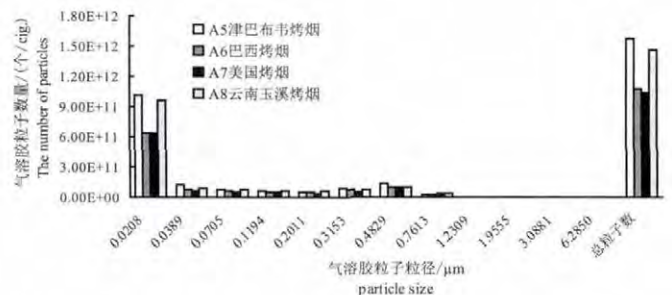


图 2 不同国家烟叶主流烟气的溶胶粒子数量的粒度分布

Fig.2 Particle size distribution of aerosol number in mainstream smoke of leaf tobacco from different countries

图 2 所示为四个样品气溶胶粒子数量的粒度分布。四种烤烟气溶胶粒子数量大部分集中在 $0.0208 \mu\text{m}$ 处，该级的粒子数量约占粒子总数的 59 ~ 66%，其中津巴布韦和云南玉溪在该级的粒子数量明显偏多，这也使得两者的粒数平均粒径偏小。虽然美国烤烟气溶胶粒子总数比津巴布韦少约 34.0%，但是粒子质量却比津巴布韦大，原因是美国烤烟气溶胶中大粒

径粒子的数量较多。

结合四种烤烟的气溶胶粒子质量分布和数量分布来看，津巴布韦和云南玉溪烤烟的气溶胶粒子质量和数量均处于前列，美国烤烟的气溶胶粒子质量虽然较大，但是粒子数量偏小。

2.2 国内不同产地单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异

表 3 国内不同产地烟叶主流烟气的溶胶粒子质量的粒度分布

Tab.3 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of domestic leaf tobacco from different tobacco growing areas

样品	不同粒径 / (μm) 的粒子质量 / (mg/cig.)												
	0.0208	0.0389	0.0705	0.1194	0.2011	0.3153	0.4829	0.7613	1.2309	1.9555	3.0881	6.285	总质量
A1 四川凉山	0.0126	0.0067	0.0262	0.1238	0.4825	2.6420	8.0162	4.6423	1.1388	0.5623	0	0	17.65
A2 湖南郴州	0.0030	0.0019	0.0065	0.0346	0.1644	0.8290	4.2410	6.9823	2.7375	0.5236	0	0	15.52
A3 山东临沂	0.0066	0.0038	0.0137	0.0647	0.2654	1.3103	7.6101	6.5910	1.3710	0.6367	0	0	17.87

续表 3

A4 黑龙江	0.0056	0.0040	0.0178	0.0684	0.2932	1.4126	7.2797	7.6639	1.7586	0.8342	0	0	19.34
A8 云南玉溪	0.0046	0.0028	0.0130	0.0540	0.2402	1.2546	5.8853	7.7792	2.4720	0.8252	0	0	18.53
A9 云南红河	0.0043	0.0026	0.0117	0.0548	0.2147	1.3450	6.7916	6.9408	1.8938	0.7362	0	0	18
A10 福建三明	0.0030	0.0019	0.0087	0.0420	0.1748	1.1417	5.5940	8.1097	2.9405	0.7809	0	0	18.8
A11 湖北襄樊	0.0061	0.0032	0.0113	0.0543	0.2287	1.4238	7.2912	5.8120	1.6223	1.4865	0	0	17.94
A12 贵州铜仁	0.0112	0.0068	0.0233	0.1248	0.5003	2.0797	7.2858	6.3608	1.3056	0.3698	0	0	18.07
A13 河南许昌	0.0108	0.0068	0.0214	0.1171	0.4367	2.3654	7.4486	5.5200	0.9336	0.4708	0	0	17.33
A14 广东始兴	0.0055	0.0041	0.0154	0.0746	0.3055	1.7579	6.9140	5.5976	1.2510	0.8435	0	0	16.77

表 4 国内不同产地烟叶主流烟气的溶胶颗粒度分布

Tab.4 Particle size distribution of aerosol number in mainstream smoke of domestic leaf tobacco from different tobacco growing areas

样品	不同粒径 / (μm) 的粒子数量 / (× 10 ¹¹ 个 / cig.)												
	0.0208	0.0389	0.0705	0.1194	0.2011	0.3153	0.4829	0.7613	1.2309	1.9555	3.0881	6.285	总数量
A1 四川凉山	26.6	2.18	1.43	1.39	1.13	1.61	1.36	0.20	0.012	0.00144	0	0	35.9
A2 湖南郴州	6.22	0.63	0.35	0.39	0.39	0.51	0.72	0.30	0.028	0.00134	0	0	9.5
A3 山东临沂	14	1.24	0.75	0.73	0.62	0.80	1.29	0.29	0.014	0.00163	0	0	19.7
A4 黑龙江	11.8	1.28	0.97	0.77	0.69	0.86	1.23	0.33	0.018	0.00213	0	0	18.0
A8 云南玉溪	9.67	0.92	0.71	0.61	0.56	0.76	1.00	0.34	0.025	0.00211	0	0	14.6
A9 云南红河	9.07	0.86	0.64	0.62	0.50	0.82	1.15	0.30	0.019	0.00188	0	0	14.0
A10 福建三明	6.33	0.62	0.48	0.47	0.41	0.70	0.95	0.35	0.030	0.00200	0	0	10.3
A11 湖北襄樊	12.9	1.04	0.62	0.61	0.54	0.87	1.23	0.25	0.017	0.00380	0	0	18.1
A12 贵州铜仁	23.6	2.19	1.27	1.40	1.17	1.27	1.24	0.28	0.013	0.00094	0	0	32.5
A13 河南许昌	22.8	2.23	1.16	1.31	1.02	1.44	1.26	0.24	0.010	0.00120	0	0	31.5
A14 广东始兴	11.6	1.32	0.84	0.84	0.72	1.07	1.17	0.24	0.013	0.00216	0	0	17.8

选取国内(表 1 中的 A1 ~ A4、A8 ~ A14 号样品) 11 个不同产地同等级的单料烟叶研究国内不同产地单料烟叶的气溶胶颗粒度分布差异。表 3 和表 4 分别为其主流烟气的溶胶颗粒质量和数量的颗粒度分布。从表 3-4 中可以看出粒子数量分布的差异比质量分布大。11 个产地单料烟叶的气溶胶颗粒质量主要集中在 0.4829 μm 和 0.7613 μm 处, 其中在这两级粒径上粒子质量约占总质量的 71% ~ 82%, 与国外烟叶的气溶胶颗粒质量分布情况一致。四川凉山、贵州铜仁、山东临沂、湖北襄樊、河南许昌和广东始兴烟叶的粒子质量在 0.4829 μm 处最大, 其余产地烟叶的粒子质量则在

0.7613 μm 处最大。气溶胶颗粒质量由高到低是黑龙江 > 福建三明 > 云南玉溪 > 贵州铜仁 > 云南红河 > 湖北襄樊 > 山东临沂 > 四川凉山 > 河南许昌 > 广东始兴 > 湖南郴州。

从气溶胶颗粒数量分布情况看, 不同产地的烟叶的气溶胶颗粒数量分布差异很大。虽然 11 个产地单料烟叶的气溶胶颗粒数量大部分集中在 0.0208 μm 处, 比例约为 61% ~ 74%, 在该级的粒子数占粒子总数的比例比国外的大; 在这级上粒子数量最大的是四川凉山, 粒子数量最小的是湖南郴州, 前者的数量是后者的 4 倍多。气溶胶颗粒数量由高到低是四川凉山 >

贵州铜仁 > 河南许昌 > 山东临沂 > 湖北襄樊 > 黑龙江 > 广东始兴 > 云南玉溪 > 云南红河 > 福建三明 > 湖南郴州。从粒子数量大小排序看, 11 个产地可以分为四个区域: 四川凉山、贵州铜仁和河南许昌的粒子数量相差不大, 这三个产地归为同一区域; 山东临沂、湖北襄樊、黑龙江和广东始兴的粒子数量相差不大, 这四个产地属于同一区域; 云南玉溪和云南红河归为同一区域; 福建三明和湖南郴州属于一个区域。

从以上分析可以看出不同产地烟叶主流烟气的溶胶粒度分布有差异, 造成此差异的原因可能是烟叶的化学成分和物理结构^[18-19] 等因素造成其燃烧特性不一致有关。

2.3 不同品种单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异

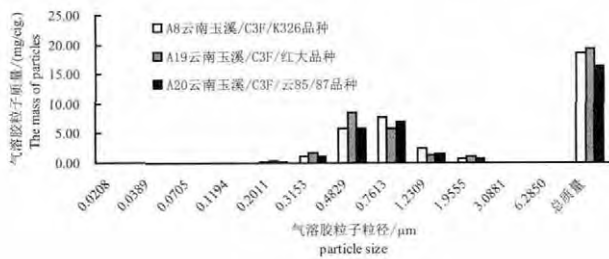


图3 云南玉溪不同品种烟叶主流烟气的溶胶粒子质量的粒度分布

Fig.3 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of different tobacco varieties from Yuxi, Yunnan province

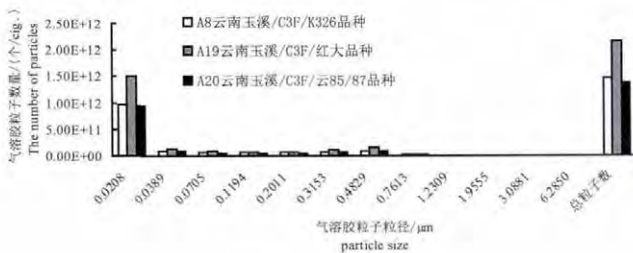


图4 云南玉溪不同品种烟叶主流烟气的溶胶粒子数量的粒度分布

Fig.4 Particle size distribution of aerosol number in mainstream smoke of different tobacco varieties from Yuxi, Yunnan province

选取了云南玉溪的 K326 品种、红大品种和云 85/87 品种 (表 1 中的 A8、A19 和 A20 号样品) 作为研究对象, 研究同一产地不同品种单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布的差异。图 3 和图 4 分别是这三个样品的主流烟气的溶胶粒子质量和数量的粒度分布。从图中可以看出, 不同品种间的差异还是比较明显的, 尤其是粒子数量分布。三个品种的粒子质量大部分集中在 0.4829 μm 和 0.7613 μm 处, 这两级的质量约占总质量的 74% ~ 78% 之间, 其中红大品种的粒子质量最大值在 0.4829 μm 处, 而另外两个样品的粒子质

量最大值在 0.7613 μm 处。气溶胶粒子质量由高到低是红大品种 > K326 品种 > 云 85/87 品种。

三个样品的粒子数大部分集中在 0.0208 μm 处, 这级的粒子数约占总粒子数的 66% ~ 70% 之间, 在 0.7613 μm 之前红大品种的粒子数量在每一级粒径均比其它两个样品多, 说明红大品种不仅粒子总数多, 而且小粒径的粒子所占的比例很高。气溶胶粒子数量排序与质量排序一致。

在三个品种中红大品种的粒子质量和数量均最大, 云 85/87 品种的粒子质量和数量均最小。

2.4 不同部位单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布差异

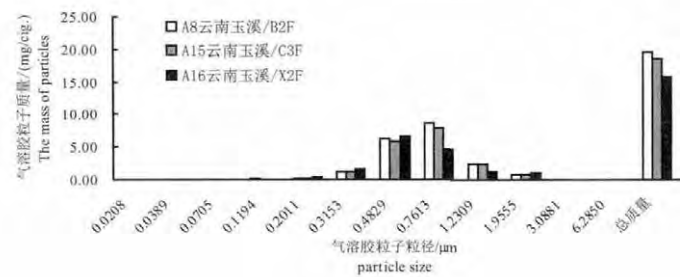


图5 云南玉溪不同部位烟叶主流烟气的溶胶粒子质量的粒度分布

Fig.5 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of Yuxi tobacco leaves at different stalk position

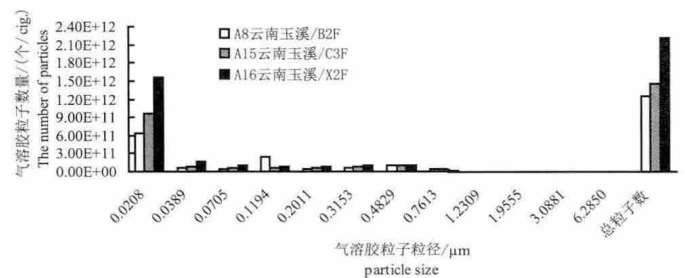


图6 云南玉溪不同部位烟叶主流烟气的溶胶粒子数量的粒度分布

Fig.6 Particle size distribution of aerosol number in mainstream smoke of Yuxi tobacco leaves at different stalk position

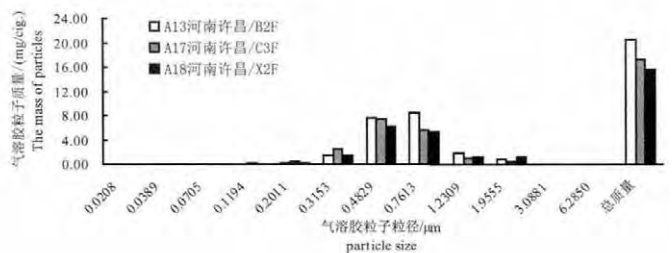


图7 河南许昌不同部位烟叶主流烟气的溶胶粒子质量的粒度分布

Fig.7 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of tobacco leaves at different stalk position from Xuchang, Henan province

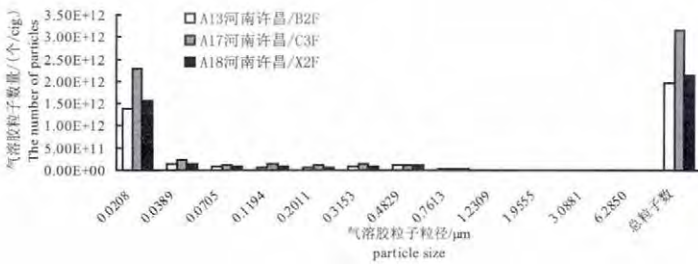


图 8 河南许昌不同部位烟叶主流烟气气溶胶粒子数量的粒度分布

Fig.8 Particle size distribution of aerosol number in mainstream smoke of tobacco leaves at different stalk position from Xuchang, Henan province

不同部位的烟叶，其化学成分和吸食质量有较大的差异。选取了云南玉溪 K326 品种和河南许昌的上中下烟叶部分研究不同烟叶部位的主流烟气气溶胶的粒度分布的差异（表 1 中的 A8、A13 和 A15 ~ A18 号样品）。分布情况见图 5 ~ 图 8。从气溶胶粒子质量分布看，云南玉溪 K326 品种的 B2F > C3F > X2F，河南许昌的情况与 K326 一致。在 0.4829 μm 处，云南玉溪 X2F 的粒子质量最大，C3F 的粒子质量最小；而河南许昌的 B2F 的粒子质量最大，X2F 的粒子质量最小。

从气溶胶粒子数量看，云南玉溪 K326 品种的 X2F > C3F > B2F，且三个部位绝大部分的粒子数集中在小粒径（0.0208 μm ）上，约占总粒子数的 50% ~ 70%。在 0.0208 μm 处，粒子数的排序与粒子总数的大小排序情况一致。X2F 在 0.0208 μm 处的粒子数占粒子总数的比例为 70.2%，C3F 为 66.3%，B2F 为 50.4%，依次递减。河南许昌的粒子数分布情况与云南玉溪稍微有所不同。总粒子数：C3F > X2F > B2F，三个部位绝大部分的粒子数也集中在小粒径（0.0208 μm ）上，约占总粒子数的 69% ~ 74% 之间，比例比云南玉溪的偏大。在 0.0208 μm 处，粒子数的大小排序也与粒子总数的大小排序一致，X2F 在 0.0208 μm 处的粒子数占粒子总数的比例为 73.4%，C3F 为 72.4%，B2F 为 69.7%，比例依次递减的次序与云南玉溪的情况相同。

从以上讨论可以看出云南玉溪和河南许昌不同部位烟叶主流烟气气溶胶粒度分布是有差异的，且云南玉溪和河南许昌烟叶部位的气溶胶粒度分布规律并不完全一致。

2.5 不同膨胀梗丝掺配量主流烟气气溶胶粒度分布差异

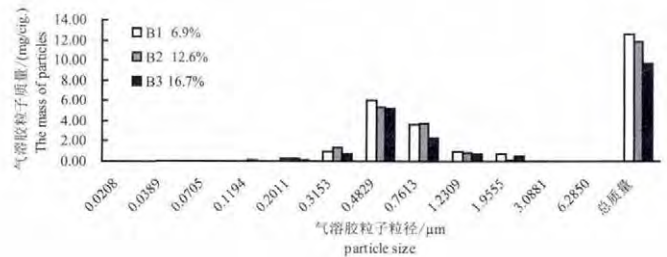


图 9 不同膨胀梗丝掺配量主流烟气气溶胶粒子质量的粒度分布
Fig. 9 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of expanded cut stems with different blending ratio

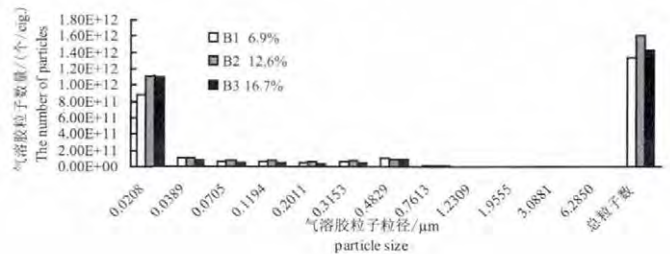


图 10 不同膨胀梗丝掺配量主流烟气气溶胶粒子数量的粒度分布
Fig. 10 Particle size distribution of aerosol mass in mainstream smoke of expanded cut stems with different blending ratio

膨胀梗丝作为卷烟叶组配方中的重要组成部分，其燃烧特性对于烟支整体燃烧性能具有重要的影响。为了研究添加不同比例膨胀梗丝后对卷烟主流烟气气溶胶粒度分布的影响，选取 3 种添加不同比例膨胀梗丝（6.9%、12.6% 和 16.7%），在烟丝和其它卷烟辅助材料不变的条件下，制成不同的卷烟样品，测定卷烟样品主流烟气气溶胶粒度分布，测试样品为表 2 中的 B1 ~ B3 样品。

图 9 为不同比例膨胀梗丝添加量对气溶胶粒子质量的影响图。随着膨胀梗丝的比例从 6.9% 增加到 16.7%，气溶胶粒子质量逐渐降低，从 6.9% 增加到 12.6% 时，粒子质量降低的幅度比从 12.6% 增加到 16.7% 大。气溶胶粒子质量的降低主要是烟支中的有机物质燃烧的比较充分：梗丝经过各种膨胀工艺处理后，体积增大，单位重量的梗丝与空气的接触面积相应增加，燃烧速率加快，烟气中的粒子质量大幅度降低。所以说膨胀梗丝的比例增加，气溶胶粒子的质量可以相应降低。

图 10 为不同比例膨胀梗丝添加量对气溶胶粒子数量的影响图。气溶胶粒子数量分布与质量不同，随着添加膨胀梗丝的比例从 6.9% 添加到 16.7%，气溶

胶粒子数呈先增加后降低的趋势。卷烟配方中随着膨胀梗丝掺配比例的增加,可以提高烟丝的填充能力和燃烧性,这样可以生成较多的小粒径颗粒,但是随着比例的进一步增加,梗丝中的木质素在燃烧过程中会增加大粒径颗粒^[20],这两方面的协同作用导致粒子数呈先增加后降低的趋势。

2.6 多环芳烃在不同粒径主流烟气的分布

选取表 1 中的 A14 和 A19 样品作为研究对象,研究主流烟气中 16 种多环芳烃 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 含量在不同粒径的分布,包括萘、芘、芘、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、茚[cd]芘、二苯并[ah]蒽和苯并[ghi]花。利用单孔道吸烟机和电子低压撞击器分粒径捕集每个样品累计 10 支烟的主流烟气总粒相物。电子低压撞击器有 12 个不同粒径的撞击器,每级撞击器上有捕集粒相物的铝箔。实验完成后取出每一级粒径的铝箔进行化学分析。

A19 样品主流烟气 PAHs 总量为 391.5 ng/cig,与 A14 样品的 392.6ng/cig 相近。16 种 PAHs 在 A14 和 A19 样品主流烟气中的含量如图 11 所示。其中,分子量较低的 3 ~ 4 环化合物占的比例较大,分别占了 A19 样品和 A14 样品中 PAHs 总含量的 86.2% 和 87.4%。A19 样品中以菲和芴含量最高,分别占 PAHs 总量的 20.7% 和 16.5%。而 A14 样品中,以菲和芘浓度最高,分别占 PAHs 总量的 22.7% 和 18.7%。A19 样品苯并[a]芘含量为 14.6 ng/cig, A14 样品的苯并[a]芘的含量为 12.7 ng/cig。

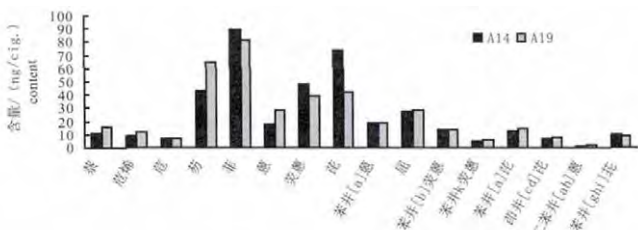


图 11 A14 和 A19 样品主流烟气中 16 种多环芳烃的含量
Fig. 11 Content of PAHs in mainstream smoke of A14 and A19

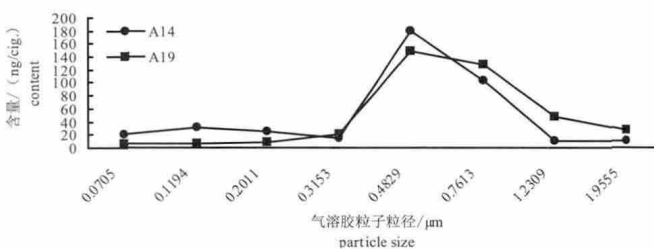


图 12 A14 和 A19 样品主流烟气中多环芳烃在不同粒径的分布
Fig. 12 Particles size distribution of PAHs content in mainstream smoke of A14 and A19

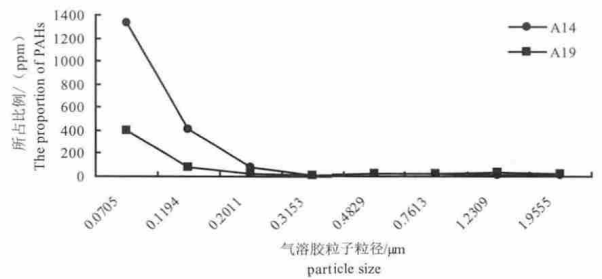


图 13 A14 和 A19 样品主流烟气中多环芳烃不同粒径质量占该粒径气溶胶总质量比例

Fig. 13 Proportion of PAHs in total aerosol particle size mass in mainstream smoke of A14 and A19

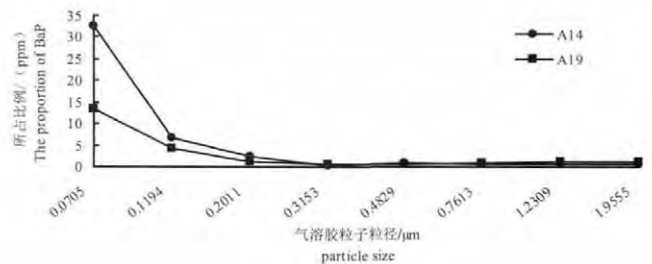


图 14 A14 和 A19 样品主流烟气中 BaP 在不同粒径质量占该粒径气溶胶总质量比例

Fig. 14 Proportion of BaP in total aerosol particle size mass in mainstream smoke of A14 and A19

图 12 显示出 A14 和 A19 样品的 PAHs 总量的粒径分布。可以看到, A14 样品和 A19 样品中 PAHs 含量的粒径分布都呈现单峰分布,且都在粒径 0.4829 μm 处有峰值出现,含量比例分别达到了 45.6% 和 38.0%。图 13 和图 14 分别是 PAHs 和 BaP 在不同粒径的质量占该粒径气溶胶总质量的比例图。从图中看出,无论是 A14 样品还是 A19 样品,PAHs 在小粒径颗粒中所占的质量比例远远大于在中等粒径颗粒中所占的质量比例, BaP 也呈现出同样的规律。说明在所测定粒径范围内小粒径颗粒中含有更高质量比例的 PAHs 和 BaP。这与大气气溶胶研究中 PAHs 更多的富集于小颗粒中的结论^[21]是一致的。对于 PAHs 的质量粒径分布与气溶胶粒子质量粒径分布类似,可能是由于在 0.4829 μm 处粒子的质量远远高于其它的粒径的质量,虽然小粒径颗粒的 PAHs 的质量比例高,但是由于本身粒子的质量太小,所以造成 PAHs 的质量粒径分布与气溶胶粒子质量粒径分布类似。

3 结论

本研究利用单孔道吸烟机和电子低压撞击器研究了不同产地单料烟叶主流烟气气溶胶粒度的分布差异以及 16 种多环芳烃含量的粒径分布规律,结论可归

纳为以下 5 点。

(1) 不仅不同国家单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布有差异,而且国内 11 个产地单料烟叶主流烟气的溶胶粒度分布也存在显著差异。美国等国家单料烟叶的粒子数量在 1.04×10^{12} 个 ~ 1.57×10^{12} 个,粒子质量在 15.49 ~ 18.86 mg;国内 11 个产地单料烟叶的粒子数量在 9.54×10^{11} 个 ~ 3.60×10^{12} 个,粒子质量在 15.52 ~ 20.45 mg。在所研究的样品中,国内烟叶的粒子数量和质量总体比国外的偏大;国内烟叶在 0.0208 μm 处的粒子数比例比国外烟叶大。烟叶的化学成分和物理结构等因素导致其燃烧特性不一致可能产生了溶胶粒度分布差异,对此我们将在后续的研究中对造成此差异的原因进行探讨。

(2) 同一产地不同品种烟叶主流烟气的溶胶粒度分布有差异。在选取的三个品种中红大品种的粒子质量和数量均最大,云 85/87 品种的粒子质量和数量均最小。

(3) 云南玉溪和河南许昌不同部位烟叶主流烟气的溶胶粒度分布是有差异的,且云南玉溪和河南许昌烟叶部位的气溶胶粒度分布规律并不完全一致。

(4) 烟丝中掺配膨胀梗丝的比例会对主流烟气的溶胶粒度分布产生一定的影响。当梗丝的比例增加时,溶胶粒子的质量降低;粒子数量呈先增加后降低的趋势。

(5) 不同产地单料烟叶主流烟气中 PAHs 质量的粒径分布规律相似,呈现单峰分布,在 0.4829 μm 粒径段含量最高;分子量较低的 3 ~ 4 环化合物占 PAHs 总量比例超过 80%。

参考文献

- [1] 胡旺云. 烟气的溶胶与滤嘴的过滤 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2000.
- [2] 尹启生, 张艳玲, 薛超群, 等. 中国烤烟主要物理特性及其产区差异 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15 (4): 33-38.
- [3] 彭新辉, 邓小华, 易建华, 等. 气候和土壤及其互作对烟叶物理性状的影响 [J]. 烟草科技, 2010 (2): 48-54.
- [4] 周晓, 王维刚, 孟冬玲, 等. 我国烤烟主产区不同种类烤烟有机酸含量分析 [J]. 广东农业科学, 2012 (2): 26-27, 30.
- [5] 史宏志, 徐发华, 杨兴有, 等. 不同产地和品种白肋烟烟草特有亚硝胺与前体物关系 [J]. 中国烟草学报, 2012, 18 (5): 9-15.
- [6] 李庆华, 杨叶昆, 王保兴, 等. 卷烟纸、接装纸和滤嘴丝束对卷烟烟气水分和焦油的影响 [J]. 烟草科技, 2008 (2): 42-44.
- [7] 沈光林, 孔浩辉, 李峰, 等. 卷烟主流烟气的溶胶分布研究. 中国烟草学报, 2009, 15 (5): 14-19.
- [8] 贾伟萍, 鲁端峰, 常纪恒, 等. 基于在线冲击的烟气的溶胶浓度检测方法 [J]. 烟草科技, 2010, (12): 5-7, 20.
- [9] 吴君章, 孔浩辉, 沈光林, 等. “三纸一棒”对卷烟烟气的溶胶粒度分布的影响 [J]. 烟草科技, 2013 (9): 58-62, 67.
- [10] 谢剑平, 刘惠民, 朱茂祥, 等. 卷烟烟气危害性指数研究 [J]. 烟草科技, 2009 (2): 5-15.
- [11] 全国烟草标准化技术委员会. GB/T 21130—2007 卷烟烟气总粒相物中苯并 [a] 芘的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 张霞, 刘志华, 孔维松, 等. 凝胶净化-超高效液相色谱法测定卷烟主流烟气中的苯并 [a] 芘 [J]. 分析测试室, 2013, 32 (10): 99-102.
- [13] 程倩, 张洪非, 侯宏卫, 等. 高效液相色谱法测定卷烟主流烟气中的苯并 [a] 芘 [J]. 烟草科技, 2012 (2): 29-32.
- [14] 张国安, 王复, 李桂贞, 等. 卷烟烟气中多环芳烃的分析方法 [J]. 华东理工大学学报, 2001, 27 (2): 186-190.
- [15] 王祎, 赵明月, 赵晓东, 等. 卷烟主流烟气中多环芳烃的全二维气相色谱/飞行时间质谱分析 [J]. 烟草科技, 2007 (10): 26-30.
- [16] 边照阳, 唐纲岭, 陈再根, 等. 全自动固相萃取-气相色谱-串联质谱法测定卷烟主流烟气中的 3 种多环芳烃 [J]. 色谱, 2011, 29 (10): 1031-1035.
- [17] 毕新慧, 盛国英, 谭吉华, 等. 多环芳烃 (PAHs) 在大气中的相分布 [J]. 环境科学学报, 2004, 24 (1): 101-106.
- [18] 葛巍巍, 张宏宇, 顾坚. 烟叶化学成分与燃烧特性的相关性 [J]. 消防科学与技术, 2012, 31 (10): 1032-1035.
- [19] 付秋娟, 张忠锋, 窦家宇, 等. 烤烟物理特性与常规化学成分及外观质量的关系 [J]. 中国烟草科学, 2014, 35(1): 117-122.
- [20] 戴立. 纤维素/木质素对混燃特性及颗粒物排放的影响 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [21] 周家斌, 王铁冠, 黄云碧, 等. 不同粒径大气颗粒物中多环芳烃的含量及分布特征 [J]. 环境科学, 2005, 26(2): 40-44.

Differences of aerosol particle size distribution in cigarette mainstream smoke of unblended leaf tobacco

WU Junzhang¹, SHEN Guanglin¹, KONG Haohui¹, BI Xinhui²

¹ China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd, Guangzhou 510385, China ;

² State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Abstract: 20 cigarette samples of different leaf tobacco and 3 cigarette samples of expanded cut stems with different blending ratios were used to investigate differences of aerosol particle size distribution in cigarette mainstream smoke and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs). The diameter, number and mass of the particles in aerosol were directly determined by using smoking machine LM1 and electrical low pressure impactor (ELPI) with a measurement range from 7 - 9970 nm. Results showed that: 1) Differences of aerosol particle size distribution not only existed in leaf tobacco from different countries, but also existed in leaf tobacco from different regions of China. The mass and number of aerosol particles of domestic leaf tobacco were larger than those from abroad. Chemical composition and physical structure of tobacco leaves lead to different combustion characteristics, which might incur differences in aerosol particle size distribution. 2) Differences of aerosol particle size distribution existed in different tobacco varieties in the same region. The mass and number of particles of Honghuadajinyuan were the largest among all tested tobacco varieties, while those of Yunyan85/87 were the smallest. 3) Differences of aerosol particle size distribution existed in tobacco leaves from various stalk positions, and particle size distribution was not consistent in tobacco leaves from different regions. 4) Expanded cut stems with different blending ratios would affect particle size distribution. The mass of particles in aerosol decreased with the increase of the proportion of expanded cut stems, while the number of the particles decreased at first and then increased. 5) Particle size distribution of PAHs was similar among different tobacco growing regions, and displayed unimodal distribution. The highest content was in 0.4829 μm , and 3 ~ 4 ring compounds accounted for more than 80% of total PAHs.

Keywords: tobacco leaf; mainstream smoke aerosol; particle size distribution; polycyclic aromatic hydrocarbons

Citation: WU Junzhang, SHEN Guanglin, KONG Haohui, et al. Differences of aerosol particle size distribution in cigarette mainstream smoke of unblended leaf tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015,21 (2)

相关论文推荐

单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪分析香烟烟气气溶胶

【作者】李梅；董俊国；黄正旭；李磊；高伟；粘慧青；傅忠；程平；周振

【机构】上海大学环境与化学工程学院；广州禾信分析仪器有限公司

【摘要】单颗粒气溶胶飞行时间质谱可同时对气溶胶单颗粒的粒径大小、化学成分进行实时、在线检测。本研究介绍了新近研制的单颗粒质谱仪的原理、结构、主要技术指标及对香烟烟气气溶胶的应用研究。仪器采用空气动力学透镜聚焦，双光束粒径测量系统确定颗粒物的空气动力学直径，激光电离系统实现颗粒物精确电离，通过双极有网反射飞行时间质量分析器实现正负离子同时检测。香烟检测结果表明，在颗粒物粒径分布上，新鲜香烟烟气颗粒范围较老化烟气宽。在气溶胶化学成分上，老化烟气颗粒物与新鲜烟气相比，尼古丁，氰酸盐，硝酸盐，硫酸盐及铵盐5种成分的数量百分比都有所增加，而含Cl⁻的数量百分比减少。原因可能是由于烟气由气相到粒相之间的转化，及颗粒物与空气中的气体发生了非均相反应；Cl⁻老化之后的减少是因为HNO₃与Cl⁻之间的非均相反应。

摘自《分析化学》2012年06期