



国内外烤烟烟气焦油、7种代表性有害成分及烟碱释放量对比分析研究

杨松, 孙培健, 孙学辉, 王宜鹏, 贾云祯, 聂聪, 张晓兵, 刘惠民

中国烟草总公司郑州烟草研究院, 烟草行业烟草化学重点实验室, 河南省郑州市高新技术产业开发区枫杨街2号 450001

摘要: 选取国内代表性烟叶产区的 C3F 等级烟叶样品, 以及国内卷烟工业企业用量较多的、与 C3F 等级接近的巴西、美国、津巴布韦、赞比亚和马拉维等 5 个我国主要烤烟进口国烟叶样品, 卷制成单料烟。考察选取的进口烟叶与国产烟叶样品烟气焦油、卷烟危害性评价指数、7 种代表性有害成分和烟碱释放量差异, 分析了 5 个进口国家烤烟烟叶有害成分释放量特点。结果表明: 国产 C3F 等级烟叶烟气的单位燃烧烟丝重量 NNK 和苯酚释放量均值为最低, 卷烟危害性评价指数最低。

关键词: 烤烟; 烟气; 焦油; 危害性评价指数; 7 种代表性有害成分; 烟碱

引用本文: 杨松, 孙培健, 孙学辉, 等. 国内外烤烟烟气焦油、7 种代表性有害成分及烟碱释放量对比分析研究 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23 (3)

“卷烟危害性指标体系研究”项目^[1]确定了卷烟主流烟气代表性有害成分为: 一氧化碳(CO)、氢氰酸(HCN)、4-(甲基亚硝胺基)-1-(3-吡啶基)-1-丁酮(NNK)、氨(NH₃)、苯并[a]芘(B[a]P)、苯酚、巴豆醛。如何控制和降低这 7 种代表性有害成分(7 种成分)释放量, 降低卷烟烟气危害性, 是我国烟草行业持续关注的问题之一。配方设计是整个卷烟设计的核心部分, 针对烟叶原料和叶组配方设计对烟气 7 种成分释放量的影响开展了较多研究。在烟叶原料方面, 张霞等^[2]考察了烟叶原料对卷烟主流烟气中 7 项有害成分的影响, 结果表明, 对 7 项烟气有害成分释放量指标有显著性影响的重要因素依次是产地、烟叶部位和品种。吴清辉^[3]、蔡国华等^[4]分别对国产烟叶和进口烟叶苯酚、巴豆醛释放量进行了比较。彭斌等^[5]比较了 2007 年不同部位 K326 烟叶 7 种成分的释放量差异。陈敏等^[6]分析了国内 5 个产地的烤烟型单料烟上、中、下部烟叶 7 种成分的释放量差异。但目前尚无国内外烤烟烟叶烟气焦油、卷烟危害性评价指数、7 种成分及烟碱释放量的系统对比分析研究。因此, 本文通过系统研究国内外烟叶焦油、卷烟危害性评价指数、7 种成分及烟碱释放量, 旨在为低焦低害卷烟产品配方设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 国内烟叶

根据“特色优质烟叶开发重大专项”, 从典型香型、亚型、一般、低害和新增产区, 共 5 类取样点进行取样, 其中 32 个典型香型产区有 1 个主取样点和 4 个辅助取样点, 其余 259 个产区有 1 个取样点, 取样数量共 403 个, 具体见表 1。分布在云南、贵州、四川、湖南、河南、福建、重庆、湖北、黑龙江、山东、陕西、广东、江西、广西、辽宁、安徽、吉林、内蒙古、甘肃等 19 个省(直辖市)、85 个市及 291 个县(区), 涉及省份烟叶总产量占 2013 年国产烤烟产量 99.5%, 取样等级均为 C3F。

1.1.2 国外烟叶

我国主要从津巴布韦、巴西、美国、赞比亚和马拉维等 5 个国家进口烤烟, 全部为混打的中部或上部商业等级。根据 2012 年进口烤烟实际, 考虑与上述国产烤烟 C3F 等级近似的商业等级以便于比较, 同时考虑商业等级的进口量和国内中烟公司用户数量, 进行取样。共抽取国外烟叶样品 35 个, 其中巴西烟叶样品 10 个, 美国烟叶样品 10 个, 津巴布韦烟叶样

基金项目: 卷烟减害技术重大专项项目“原辅材料降低卷烟危害性指数规律研究”(合同号: 110201301020 (JH-01))

作者简介: 杨松(1980—), 博士, 高级工程师, 主要从事降焦减害及烟草化学研究工作, Tel: 0371-67672577, Email: ztriyangs@hotmail.com.cn

通讯作者: 刘惠民(1963—), Tel: 0371-67672698, Email: liuhuimin63@x263.net

收稿日期: 2016-07-14; **网络出版日期:** 2017-02-27

品9个,赞比亚烟叶样品4个,马拉维烟叶样品2个。所取进口烟叶样品均为片烟。

表 1 国内烟叶样品

Tab. 1 Samples of domestic flue-cured tobacco

香型	取样点类型	取样数量
浓香型	A	46
	B	13
	C	30
	D	5
	E	14
清香型	A	43
	B	17
	C	55
	D	2
	E	37
中间香型	A	55
	B	13
	C	66
	D	7
	E	/

注: A 类点为典型香型点, B 类点为亚型点, C 类点为一般点, D 类点为低害烟叶取样点, E 类点为新增取样点。

表 2 国外烟叶样品

Tab. 2 Samples of foreign flue-cured tobacco

国别	样品数量	取样等级
巴西	10	BO1/S, C1L/C, L1O-C, MBO1, BOA/S, BOB/S, HGBOA/S, L2OM, MBOC, MO1/S
美国	10	A-BO2-C, FCA1, L2F, RCO1-C, FCA2, FCB1-C, FCB3, L2M, LAF, LAO
津巴布韦	9	B1OAT, L1FL, L1OA, L1OFT, LMFA, CJOT, FOA, L1MKA, L2OT
赞比亚	4	L1LO, ZL1LFT, ZL1OFT-HN, ZM-BMT
马拉维	2	MFLOT, ML-F1O/T

1.2 卷烟样品制备

国产烟叶样品为把烟,制丝前需先进行回潮补水、人工去梗和人工切片,切片时控制片烟宽度为3 cm;处理好的国产片烟在切丝前水分控制在18%~20%(wt),不足时人工补水,切丝宽度1 mm;为了避免较高的烘丝强度破坏烟丝的物理结构和化学成分的变化,烘丝机筒壁温度和热风温度控制在60℃,排潮风门开度50%,烘丝后水分控制在12%~13%。最终烟丝整丝率(中长丝)80%左右,长丝40%~50%,中丝30%~40%。制好的烟丝密封保存。进口烟叶样品为片烟,与国产烟叶样品处理参数一致,在控制合适的水分后切丝和烘丝。

所有的烟丝样品在同一台卷烟机进行卷烟制备。控制各卷烟样品硬度与正常卷烟相当。卷烟制备用辅材规格为,丝束:3.0Y/32000,滤棒:100 mm×24.1 mm,吸阻2700 Pa,卷烟纸:26.5 mm×29 g/m²,透气度60 CU,接装纸:宽度60 mm,透气度0 CU。

1.3 卷烟烟气成分分析

对进行分析的所有卷烟样品进行分选,分选标准为:平均质量±20 mg,平均吸阻±49 Pa,平均质量和平均吸阻分别为各个卷烟样品自身的平均值。参考标准^[7-14]方法测定卷烟焦油、CO、HCN、氨、苯酚、巴豆醛、B[a]P、NNK及烟碱释放量。

2 结果与分析

2.1 卷烟物理参数分析

不同国家烟叶样品卷烟物理指标的统计见表3。由表3可知,不同国家烟叶样品卷烟烟丝重量、燃烧烟丝重量、吸阻和硬度变异系数较小,烟支圆周、烟支长度、滤嘴长度和接装纸长度基本保持一致,说明所有样品卷烟物理指标差异不大,样品一致性好,可比性强。

据报道,在辅材相同情况下,卷烟主流烟气焦油和7种成分释放量与填充的叶丝重量呈简单线性相关关系,且抽吸消耗叶丝与阴燃消耗叶丝的比例较为恒定^[15],采用单位燃烧烟丝重量释放量可更好的比较不同烟丝之间有害成分释放量的差异。因此,本文中采用单位燃烧烟丝重量焦油、7种成分、烟碱释放量及H*(即卷烟危害性评价指数/燃烧烟丝重量)进行对比分析,燃烧烟丝重量占填充烟丝重量的86.5%。

表 3 不同国家烟叶样品卷烟物理指标
Tab. 3 Physical index of cigarette samples of different countries' tobacco

国家	烟丝重量 (mg. 支 ⁻¹)	燃烧烟丝重量 (mg. 支 ⁻¹)	吸阻 /Pa	硬度 /%	圆周 /mm	烟支长度 /mm	滤嘴长度 /mm	接装纸长度 /mm
中国	812	702	1141	68	24.4	84	25	32
巴西	773	668	1085	75	24.4	84	25	32
津巴布韦	771	667	1111	74	24.4	84	25	32
美国	752	650	1063	76	24.4	84	25	32
赞比亚	800	691	1112	70	24.4	84	25	32
马拉维	742	642	1099	71	24.4	84	25	32
变异系数	3.5%	3.4%	2.4%	4.3%	0%	0%	0%	0%

注：燃烧烟丝重量 = 烟丝重量 × (烟支长度 - 接装纸长度 - 3mm) / (烟支长度 - 滤嘴长度)。

2.2 焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数

全国 403 个 C3F 等级烟叶焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数描述统计结果见表 4。国内烟叶 NNK 释放量差异最大（变异系数：40%），口数变

异系数小于 10%，表明不同产地烟叶燃烧性差异较小。全国浓、清、中间香型烟叶焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数统计方差分析结果见表 5。

表 4 全国 403 个取样点 C3F 等级烟叶焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数统计
Tab. 4 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Chinese C3F grade tobacco from 403 sampling points nationwide

统计项	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
均值	23.1	16.9	20.9	142.1	6.4	15.0	25.4	37.2	35.3	2.5	15.1
最小值	17.6	12.8	14.2	81.5	2.4	7.7	16.8	23.2	19.4	1.2	11.7
最大值	33.6	25.3	30.9	266.3	17.5	33.9	38.2	60.6	53.0	4.1	21.3
变异系数	10.8%	13.4%	12.1%	24.2%	40.0%	30.5%	14.0%	20.2%	13.5%	19.6%	9.1%

表 5 浓、清、中间香型烟叶焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数统计
Tab. 5 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of strong, light and middle-flavor tobacco

烟叶香型	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
浓香型	24.3 ^a	18.1 ^a	22.1 ^a	152.6 ^a	7.6 ^a	16.8 ^a	26.8 ^a	39.7 ^a	34.7 ^a	2.6 ^a	15.4 ^a
清香型	23.1 ^b	17.2 ^b	20.7 ^b	154.8 ^a	6.1 ^b	15.8 ^a	25.4 ^b	38.5 ^a	35.5 ^a	2.5 ^b	15.0 ^b
中间香型	22.2 ^c	15.7 ^c	20.2 ^b	120.1 ^b	5.8 ^b	12.7 ^b	24.5 ^c	33.7 ^b	35.6 ^a	2.4 ^b	14.8 ^c

注：同列未标有相同小写字母表示两者间差异有统计学意义（P<0.05）。

2.3 不同国家样品卷烟焦油、H*、7种成分、烟碱释放量及口数对比

不同国家烟叶主流烟气焦油、H*、7种成分及烟碱释放量方差分析结果见表6。

2.3.1 巴西

将国产所有C3F等级烟叶烟气焦油、H*、7种成分、烟碱释放量及口数均值作为1，巴西所有近似C3F等级商业等级烟叶烟气焦油、H*、7种成分、烟碱释放量及口数均值进行归一化处理，结果如图1所示。

巴西烟叶烟气焦油、H*、烟碱及7种成分中除CO和巴豆醛外的5种成分均高于国产烤烟均值，尤其是NNK、苯酚、烟碱、H*、HCN和氨等6项指标高出国产烤烟均值的114%、75%、44%、30%、21%和20%，CO、巴豆醛略低于国产烤烟均值，口数基本持平。

方差分析的结果（见表6）表明，巴西烟叶烟气的焦油、H*、HCN、NNK、氨、B[a]P、苯酚和烟碱

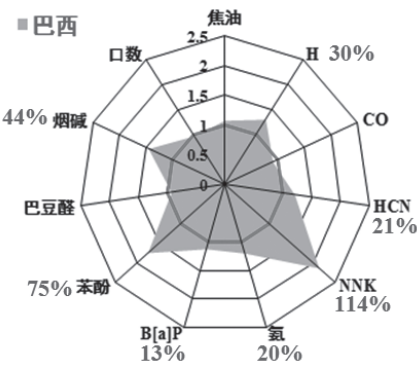


图1 巴西烟叶烟气焦油、H*、7种成分、烟碱释放量及口数蛛网图（图中红色线为国产烤烟均值）

Fig. 1 The spider diagram of the deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Brazil tobacco

释放量与国产烟叶差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），两国烟叶的巴豆醛和口数差异无统计学意义。

巴西近似C3F等级商业等级共10个，各商业等级烟叶烟气焦油、H*、7种成分、烟碱释放量及口数见表7。

表6 不同国家烟叶样品焦油、H*、7种成分、烟碱释放量及抽吸口数均值
Tab. 6 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of six countries' tobacco

国家	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
中国	23.1 ^c	16.9 ^b	20.9 ^{ab}	142.1 ^c	6.4 ^c	15.0 ^b	25.4 ^b	37.1 ^c	35.3 ^{ab}	2.5 ^{cd}	15.1 ^a
巴西	24.8 ^b	21.9 ^a	19.0 ^b	172.4 ^b	13.7 ^b	18.0 ^a	28.6 ^a	64.9 ^a	32.7 ^b	3.6 ^a	14.6 ^a
津巴布韦	22.9 ^c	21.4 ^a	20.3 ^{ab}	148.9 ^c	19.9 ^a	13.1 ^b	26.4 ^{ab}	50.1 ^b	36.7 ^{ab}	2.7 ^c	13.5 ^b
美国	26.7 ^a	21.4 ^a	20.9 ^a	189.8 ^a	14.4 ^{ab}	20.5 ^a	24.6 ^b	50.4 ^b	34.9 ^b	3.2 ^b	14.2 ^a
赞比亚	21.4 ^c	18.5 ^b	18.7 ^b	132.8 ^c	12.0 ^b	10.5 ^b	29.4 ^a	44.8 ^b	36.8 ^{ab}	2.3 ^d	13.2 ^b
马拉维	23.3 ^{bc}	20.7 ^a	20.3 ^{ab}	154.2 ^{bc}	15.5 ^{ab}	11.8 ^b	27.7 ^{ab}	51.6 ^{ab}	41.3 ^a	2.7 ^{bc}	13.9 ^{ab}

注：表中数字为各国烟叶烟气成分释放量均值，同列未标有相同小写字母表示两者间差异有统计学意义（ $P<0.05$ ）。

表7 巴西各商业等级烟叶焦油、H*、7种成分及烟碱释放量
Tab. 7 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Brazil' s commercial grade tobacco

商业 等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
MBO1	22.1	22.4	15.9	153.0	13.7	18.8	30.4	72.4	32.2	3.3	14.9
C1L/C	22.2	18.8	19.0	159.7	12.4	11.6	27.5	49.3	31.8	3.1	13.9
L2OM	22.9	24.5	15.9	170.3	21.4	18.5	29.3	78.5	27.9	3.7	14.8
MBOC	24.1	22.7	19.5	189.5	12.8	20.1	30.8	64.1	35.2	3.2	14.9

续表 7

商业等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
MO1/S	24.5	20.7	20.2	179.8	13.1	17.1	26.1	51.4	35.8	3.0	14.3
L10-C	25.3	18.1	19.3	156.5	8.9	11.4	25.0	59.6	28.4	3.7	14.7
BO1/S	26.0	22.5	19.2	185.2	10.9	22.9	28.9	70.5	30.1	3.8	15.1
HGBOA/S	26.7	24.5	19.2	170.4	16.8	21.2	29.9	74.2	36.0	4.0	14.5
BOA/S	26.8	20.7	21.0	178.6	11.5	15.7	25.7	62.4	33.5	4.0	14.5
BOB/S	27.0	24.3	20.4	180.9	15.5	22.5	32.4	66.4	36.4	3.9	14.4
平均值	24.8	21.9	19.0	172.4	13.7	18.0	28.6	64.9	32.7	3.6	14.6
变异系数	7.7%	10.5%	9.1%	7.3%	25.6%	22.7%	8.5%	14.7%	9.7%	10.7%	2.4%

2.3.2 津巴布韦

津巴布韦所有近似 C3F 等级商业等级烟叶和国产所有 C3F 等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值蛛网图见图 2。

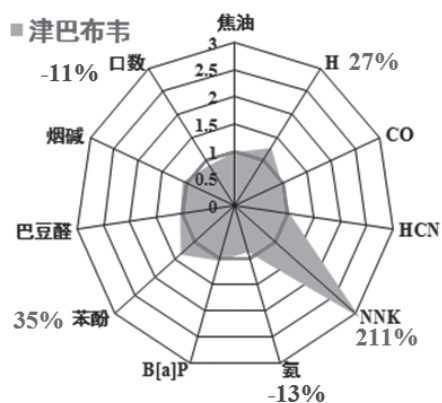


图 2 津巴布韦烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数蛛网图

Fig. 2 The spider diagram of the deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Zimbabwe tobacco

将津巴布韦所有商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值与国产烤烟均值进行比较, 可以看出津巴布韦烟叶烟气 H*、烟碱及 7 种成分除 CO、氨和巴豆醛外的 5 种成分均高于国产烤烟均值, 尤其是 NNK、苯酚和 H* 等 3 项指标显著高于国产烤烟均值 211%、35% 和 27%, 氨和口数低于国产烤烟均值 13% 和 11%, 焦油和 CO 与国产烤

烟均值基本持平。

方差分析的结果表明 (见表 6), 津巴布韦烟叶烟气的 H*、NNK、苯酚释放量和口数与国产烟叶差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 两国烟叶烟气的焦油、CO、HCN、氨、B[a]P、巴豆醛和烟碱释放量差异无统计学意义。

津巴布韦近似 C3F 等级商业等级共 9 个, 各商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数见表 8。

2.3.3 美国

美国所有近似 C3F 等级商业等级烟叶和国产所有 C3F 等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值蛛网图见图 3。

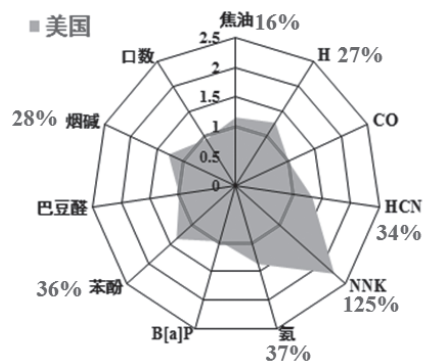


图 3 美国烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数蛛网图

Fig. 3 The spider diagram of the deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of American tobacco

表 8 津巴布韦各商业等级烟叶焦油、H*、7 种成分及烟碱释放量

Tab. 8 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Zimbabwe's commercial grade tobacco

商业等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H*/ (g ⁻¹)	CO/ (mg.g ⁻¹)	HCN/ (μg.g ⁻¹)	NNK/ (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P/ (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口 .g ⁻¹)
CJOT	20.3	17.2	18.4	109.9	11	8.6	24.4	49.2	34.2	2.6	14.0
BIOAT	22.4	24	19.2	167.2	25.5	15.2	28	55.8	36.7	2.7	13.6
L1MKA	22.4	20.5	20.3	143.5	18.8	11.4	26.2	44.7	40.2	2.2	13.3
L1OFT	22.6	21.4	19.9	146.1	23.2	13.5	25.4	47.1	31.6	2.6	12.9
L1FL	23.1	20.4	21.5	146.4	16.2	12.7	25.8	48	38.7	2.7	12.4
L1OA	23.5	20.7	21.8	158.3	15.4	13.8	26	52.3	37.2	2.4	14.4
FOA	23.5	20.3	20.3	148.5	15.9	11.2	28.7	47	39.9	2.9	13.5
LMFA	23.7	24.4	19.5	165.4	28	16.7	27.4	50.9	37.8	2.7	13.2
L2OT	25.0	23.5	21.4	154.9	25.2	14.8	25.9	55.6	34.2	3.3	13.7
平均值	22.9	21.4	20.3	148.9	19.9	13.1	26.4	50.1	36.7	2.7	13.5
变异系数	5.6%	10.6%	5.7%	11.4%	29.0%	18.7%	5.1%	7.8%	7.8%	11.5%	4.4%

将美国所有商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值与国产烤烟均值进行比较，可以看出美国烟叶烟气焦油、H*、烟碱及 HCN、NNK、氨、苯酚等 4 成分均高于国产烤烟均值，其中 NNK 高于国产烤烟均值 125%，氨、HCN、苯酚、烟碱、H* 等 5 项指标高于国产烤烟均值 25% 以上，CO、巴豆醛和口数与国产烤烟均值基本持平。

方差分析的结果表明（见表 6），美国烟叶烟气

的焦油、H*、HCN、NNK、氨、苯酚和烟碱释放量与国产烟叶差异有统计学意义（P<0.05），两国烟叶烟气的 CO、B[a]P、巴豆醛释放量和口数差异无统计学意义。

美国近似 C3F 等级商业等级共 10 个，各商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数见表 9。

表 9 美国各商业等级烟叶焦油、H*、7 种成分及烟碱释放量

Tab. 9 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of American commercial grade tobacco

商业等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H*/ (g ⁻¹)	CO/ (mg.g ⁻¹)	HCN/ (μg.g ⁻¹)	NNK/ (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P/ (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口 .g ⁻¹)
RCO1-C	22.4	17	20.4	149.7	11.8	14.7	16	34.5	37.8	2.5	13.4
A-BO2-C	26.4	20.6	21	184.5	13.2	19.8	24.4	46.7	35.8	3.2	13.5
L2F	26.5	20.2	19.9	173.2	11.6	17.9	28.6	49.6	32.7	3.2	14.6
L2M	26.6	21.8	18.1	180.6	12.4	22.9	25.7	57.4	36.5	3.3	14.4
FCB3	26.8	25.5	19	231.1	23.6	26.9	22.3	64.3	29.5	3.4	14.2
FCA2	26.8	21.6	21.6	191.4	14.7	22.8	24.9	50.5	30.1	3.3	14.1

续表 9

商业等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
FCA1	27.2	19.6	21.2	194.2	8.6	17.8	27.5	47.4	35.5	3	14.9
LAF	27.5	19.1	23.5	194.4	11.2	16.8	20.4	44.9	33.5	3.4	13.6
LAO	28.5	27	22.6	210.3	28.4	22.2	26.9	60.4	38.3	3.5	15.0
FCB1-C	28.5	21.1	21.3	188.5	8.8	22.7	29.5	48.4	39.7	3.2	14.5
变异系数	6.4%	13.8%	7.7%	11.3%	44.8%	18.0%	16.7%	16.9%	9.8%	8.8%	4.0%

2.3.4 赞比亚

赞比亚所有近似 C3F 等级商业等级烟叶和国产所有 C3F 等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值蛛网图见图 4。

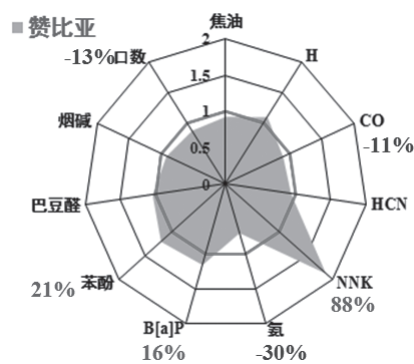


图 4 赞比亚烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数蛛网图

Fig. 4 The spider diagram of the deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Zambia tobacco

将赞比亚所有商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值与国产烤烟均值进行比较，可以看出赞比亚烟叶烟气焦油、烟碱、口数及 CO、HCN、氨等 3 成分低于国产烤烟均值，尤其氨低于国产烤烟均值 30%，H* 及 NNK、B[a]P、苯酚等 3 种成分高于国产烤烟均值，尤其是 NNK 高于国产烤烟均值 88%，巴豆醛与国产烤烟均值基本持平。

方差分析的结果表明（见表 6），赞比亚烟叶烟气的 NNK、B[a]P、苯酚释放量和口数与国产烟叶差异有统计学意义（P<0.05），两国烟叶烟气的焦油、H*、CO、HCN、氨、巴豆醛和烟碱释放量差异无统计学意义。

赞比亚近似 C3F 等级商业等级共 4 个，各商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数见表 10。

表 10 赞比亚各商业等级烟叶焦油、H*、7 种成分及烟碱释放量

Tab. 10 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Zambia's commercial grade tobacco

商业等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H* / (g ⁻¹)	CO / (mg.g ⁻¹)	HCN / (μg.g ⁻¹)	NNK / (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P / (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
ZL1OFT-HN	20.1	18.2	18.2	129.1	12.2	9.7	25.7	49.1	36.2	2.2	13.4
ZL1LFT	20.6	17.7	19.2	132.4	10.9	8.9	33.7	35	35.9	2.1	13.3
L1LO	21.7	19.7	19.2	139.1	17.7	12.4	24.9	42.3	37.7	2.2	13.1
ZM-BMT	23.2	18.5	18	130.5	7.3	11	33.2	52.9	37.3	2.6	13.0
变异系数	6.4%	4.6%	3.4%	3.3%	35.9%	14.6%	16.1%	17.6%	2.3%	9.7%	1.4%

2.3.5 马拉维

马拉维所有近似 C3F 等级商业等级烟叶和国产所有 C3F 等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值蛛网图见图 5。

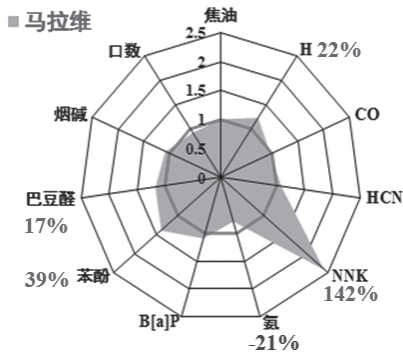


图 5 马拉维烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数蛛网图

Fig. 5 The spider diagram of the deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Malawi tobacco

将马拉维所有商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数均值与国产烤烟均值进行比较，可以看出马拉维烟叶烟气烟碱、H* 及 7 种成分中除 CO 和氨的 5 种成分均高于国产烤烟均值，尤其是 NNK、苯酚、H* 高于国产烤烟均值 142%、39% 和 22%，氨和口数低于国产烤烟均值 21% 和 8%，焦油和 CO 基本持平。

方差分析的结果表明（见表 6），马拉维烟叶烟气的 H*、NNK、苯酚释放量与国产烟叶差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），两国烟叶烟气的焦油、CO、HCN、氨、B[a]P、巴豆醛、烟碱释放量和口数差异无统计学意义。

马拉维近似 C3F 等级商业等级共 2 个，各商业等级烟叶烟气焦油、H*、7 种成分、烟碱释放量及口数见表 11。

表 11 马拉维各商业等级烟叶焦油、H*、7 种成分及烟碱释放量

Tab. 11 Deliveries of tar, seven components, nicotine, H* and puff number of Malawi's commercial grade tobacco

商业等级	焦油 / (mg.g ⁻¹)	H*/ (g ⁻¹)	CO/ (mg.g ⁻¹)	HCN/ (μg.g ⁻¹)	NNK/ (ng.g ⁻¹)	氨 / (μg.g ⁻¹)	B[a]P/ (ng.g ⁻¹)	苯酚 / (μg.g ⁻¹)	巴豆醛 / (μg.g ⁻¹)	烟碱 / (mg.g ⁻¹)	口数 / (口.g ⁻¹)
ML-F10/T	22.2	20.8	20.5	138.4	17.0	11.0	28.3	47.0	45.1	2.4	13.4
MFLOT	24.3	20.5	20.1	170.1	14.1	12.5	27.1	56.1	37.5	3.0	14.3
变异系数	6.4%	1.0%	1.4%	14.5%	13.2%	9.0%	3.1%	12.5%	13.0%	15.7%	4.6%

3 结论

（1）国内烟叶烟气 NNK 释放量差异最大，氨、HCN 和苯酚等 3 种成分释放量差异较大，焦油、H 和 B[a]P、巴豆醛、CO 等 4 种成分释放量有一定差异；

（2）国产 C3F 等级烟叶与巴西、津巴布韦、美国、赞比亚、马拉维等 5 个我国主要烤烟进口国近似等级烟叶相比，烟气 NNK 和苯酚释放量均值为最低，H* 最低；

（3）巴西 10 个近似 C3F 等级烤烟烟气焦油、H*、7 种成分中除 CO 和巴豆醛外的 5 种成分及烟碱释放量均值高于国产 C3F 等级烤烟均值，尤其是 NNK、苯酚、烟气烟碱、H*、HCN 和氨等 6 项指标高出国产烤烟均值的 114%、75%、44%、30%、21% 和 20%，CO、巴豆醛和抽吸口数均值略低于国产烤

烟均值；方差分析的结果表明，巴西烟叶烟气的焦油、H*、HCN、NNK、氨、B[a]P、苯酚和烟碱释放量与国产烟叶差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），其余指标差异无统计学意义；

（4）津巴布韦 9 个近似 C3F 等级烤烟烟气 H*、烟碱及 7 种成分中除 CO 和氨外的 5 种成分释放量均值高于国产 C3F 等级烤烟均值，尤其是 NNK、苯酚和 H* 等 3 项指标高于国产 C3F 等级烤烟均值 211%、35% 和 27%，氨和抽吸口数均值略低于国产 C3F 等级烤烟均值，焦油和 CO 与国产 C3F 等级烤烟均值基本持平；方差分析的结果表明，津巴布韦烟叶烟气的 H*、NNK、苯酚释放量和口数与国产烟叶差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），其余指标差异无统计学意义；

(5) 美国 10 个近似 C3F 等级烤烟烟气焦油、H* 和 HCN、NNK、氨、苯酚等 4 种成分及烟碱释放量均值高于国产 C3F 等级烤烟均值, 尤其是 NNK 高于国产烤烟均值 125%, 氨、HCN、苯酚、H* 和烟碱等 5 项指标高于国产 C3F 等级烤烟均值 25% 以上, CO、巴豆醛和抽吸口数均值与国产 C3F 等级烤烟均值基本持平; 方差分析的结果表明, 美国烟叶烟气的焦油、H*、HCN、NNK、氨、苯酚和烟碱释放量与国产烟叶差异有统计学意义 ($P<0.05$), 其余指标差异无统计学意义;

(6) 赞比亚 4 个近似 C3F 等级烤烟烟气焦油和 CO、HCN、氨等 3 种有害成分及烟碱、抽吸口数均值低于国产 C3F 等级烤烟均值, H* 及 NNK、B[a]P、苯酚等 3 种成分释放量均值高于国产 C3F 等级烤烟均值, 尤其是 NNK 高于国产 C3F 等级烤烟均值 88%, 巴豆醛释放量均值与国产 C3F 等级烤烟均值基本持平; 方差分析的结果表明, 赞比亚烟叶烟气的 NNK、B[a]P、苯酚释放量和口数与国产烟叶差异有统计学意义 ($P<0.05$), 其余指标差异无统计学意义;

(7) 马拉维 2 个近似 C3F 等级烤烟烟气 H* 和 7 种成分中除 CO 和氨之外的 5 种有害成分及烟碱释放量均值高于国产 C3F 等级烤烟均值, 尤其是 NNK、苯酚、H* 高于国产 C3F 等级烤烟均值 142%、39% 和 22%, 焦油和 CO 释放量均值与国产 C3F 等级烤烟均值基本持平。方差分析的结果表明, 马拉维烟叶烟气的 H*、NNK、苯酚释放量与国产烟叶差异有统计学意义 ($P<0.05$), 其余指标差异无统计学意义。

参考文献

- [1] 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.
XIE Jianping, LIU Huimin, ZHU Maoxiang, et al. Development of a novel hazard index of mainstream cigarette smoke and its application on risk evaluation of cigarette products[J]. Tobacco Science & Technology, 2009, (2):5-15.
- [2] 张霞, 刘巍, 张涛, 等. 烟叶原料对卷烟主流烟气 7 项有害成分释放量的影响研究 [J]. 中国烟草学报, 2013, 19(6): 1-8.
ZHANG Xia, LIU Wei, ZHANG Tao et al. Effects of raw tobacco on delivery of seven harmful components in mainstream cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2013, 19(6): 1-8.
- [3] 吴清辉. 不同配方组分对卷烟主流烟气苯酚释放量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 13073-13074,13084.
WU Qinghui. Effects of cigarette blends on phenol of mainstream smoke[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(21): 13073-13074,13084.
- [4] 蔡国华, 白雪平, 张建平, 等. 不同叶组配方对卷烟主流烟气巴豆醛释放量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(3): 1453-1454,1471.
CAI Guohua, BAI Xueping, ZHANG Jianping, et al. Effect of cigarette blend on crotonaldehyde of mainstream smoke[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 1453-1454,1471.
- [5] 彭斌, 赵乐, 孙学辉, 等. 烟叶部位对卷烟主流烟气 7 种有害成分释放量的影响 [J]. 烟草科技, 2012, (11): 42-44.
PENG Bin, ZHAO Le, SUN Xuehui, et al. Relationships between stalk position of tobacco leaves and deliveries of 7 harmful compounds in mainstream cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2012, (11): 42-44.
- [6] 陈敏, 郭吉兆, 郑赛晶, 等. 烟叶部位、产地与卷烟主流烟气 7 种有害成分释放量关系研究 [J]. 中国烟草学报, 2012, 18(5): 16-22.
CHEN Min, GUO Jizhao, ZHENG Saijing, et al. The influence of growing area and tobacco leaf stalk position on seven harmful components in mainstream cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2012, 18(5): 16-22.
- [7] GB/T 19609—2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油 [S].
GB/T 19609—2004 Cigarette—Determination of total and nicotine-free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine[S].
- [8] GB/T 23356—2009 卷烟 烟气气相中一氧化碳的测定 非散射红外法 [S].
GB/T 23356—2009 Cigarettes—Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke—NDIR method[S].
- [9] YC/T 253—2008 卷烟 主流烟气中氰化氢的测定 连续流动法 [S].
YC/T 253—2008 Cigarettes—Determination of hydrogen cyanide in cigarette mainstream smoke—Continuous flow method[S].
- [10] GB/T 23228—2008 卷烟 主流烟气总粒相物中烟草特有 N-亚硝胺的测定 气相色谱-热能分析联用法 [S].
GB/T 23228—2008 Cigarette—Determination of tobacco specific N-Nitrosamines in total particulate matter of

- mainstream cigarette smoke—GC-TEA method[S].
- [11] GB/T 21130—2007 卷烟 烟气总粒相物中苯并[a]芘的测定[S].
- GB/T 21130—2007 Cigarettes—Determination of Benzo[a]pyrene in total particulate matter[S].
- [12] YC/T 255—2008 卷烟 主流烟气中主要酚类化合物的测定 高效液相色谱法[S].
- YC/T 255—2008 Cigarettes—Determination of major phenolic compounds in mainstream cigarette smoke—High chromatographic method[S].
- [13] YC/T 254—2008 卷烟 主流烟气中主要羰基化合物的测定 高效液相色谱法[S].
- YC/T 254—2008 Cigarettes—Determination of major carbonyls in mainstream cigarette smoke—High performance liquid chromatographic method[S].
- [14] YC/T 377—2010 卷烟 主流烟气中氨的测定 离子色谱法[S].
- YC/T 377—2010 Cigarettes—Determination of ammonia in mainstream cigarette smoke—Ion chromatography method[S].
- [15] 王志国, 刘巍, 杜文, 等. 一种检测卷烟抽吸比率的方法 中国, 201210447553.2[P]. 2013-01-30.
- WANG Zhiguo, Liu Wei, DU Wen, et al. A method of detecting cigarette suction ratio: China, 201210447553.2[P]. 2013-01-30.

Comparative analysis of tar, nicotine, and seven representative harmful components deliveries between flue-cured tobacco of domestic and foreign origins

YANG Song, SUN Peijian, SUN Xuehui, WANG Yipeng, JIA Yunzhen, NIE Cong, ZHANG Xiaobing, LIU Huimin*

Key Laboratory of Tobacco Chemistry, Zhengzhou Tobacco Research Institute, China National Tobacco Corporation, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Domestic representative flue-cured tobacco of C3F grade were taken as samples. flue-cured tobacco similar to C3F grade from five major importing countries, namely Brazil, USA, Zimbabwe, Zambia and Malawi, were used to make unblended cigarettes. Differences of tar and nicotine delivery, and 7 harmful representative components per gram of cut tobacco between domestic and foreign flue-cured tobacco were investigated. The characteristics of tar and nicotine delivery, and 7 harmful representative components from 5 major importing countries flue-cured tobacco were determined. Results showed that cut tobacco weight per unit of burning tobacco, and average delivery of NNK and ammonia in mainstream cigarette smoke of domestic C3F grade leaf tobacco were the lowest and hazard index was also at minimum compared with that in foreign flue-cured tobacco.

Keywords: flue-cured tobacco; cigarette smoke; hazard index; seven harmful components; nicotine

Citation: YANG Song, SUN Peijian, SUN Xuehui, et al. Comparative analysis of tar, nicotine, and seven representative harmful components deliveries between flue-cured tobacco of domestic and foreign origins [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017,23(3)

*Corresponding author. Email: liuhuimin63@x263.net