

# 初烤烟叶外观质量与其主流烟气有害成分释放量关系研究

付秋娟<sup>1</sup>, 刘加红<sup>2</sup>, 张怀宝<sup>1</sup>, 张忠锋<sup>1</sup>, 侯小东<sup>1</sup>, 郑成鹏<sup>3</sup>, 杜咏梅<sup>1\*</sup>, 赵友根<sup>4</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2. 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南 曲靖 655000; 3. 山东临沂烟草有限公司, 山东 临沂 276000; 4. 四川省烟草公司凉山州公司, 四川 西昌 615000)

**摘要:** 为明确初烤烟叶主要外观质量与其主流烟气有害成分释放量的关系, 收集我国代表产地初烤烟叶样品 218 份, 应用方差分析, 研究了不同成熟度、颜色、身份、油分、叶片结构、色度特征的初烤烟叶主流烟气烟碱、焦油及 7 项有害成分(一氧化碳、苯并芘、苯酚、氰化氢、NNK、氨、巴豆醛)释放量的差异。结果表明, 烟叶颜色、身份、叶片结构对主流烟气有害成分释放量的影响较大, 成熟度、油分、色度对主流烟气有害成分释放量的影响较小; 橘黄烟叶主流烟气焦油、烟碱、苯酚、氨、氰化氢释放量显著或极显著大于柠檬黄烟叶; 身份较厚的烟叶主流烟气烟碱、苯酚释放量显著较高; 随叶片结构趋于疏松, 其主流烟气焦油、烟碱、苯酚释放量呈显著降低趋势, 巴豆醛释放量呈显著升高趋势。

**关键词:** 初烤烟叶; 外观质量; 主流烟气; 有害成分

中图分类号: TS411

文章编号: 1007-5119(2015)06-0094-05

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.06.017

## Relationship between Appearance Quality and Deliveres of Main Harmful Compounds in Mainstream Smoke from Flue-cured Tobacco Leaves

FU Qiujuan<sup>1</sup>, LIU Jiahong<sup>2</sup>, ZHANG Huaibao<sup>1</sup>, ZHANG Zhongfeng<sup>1</sup>, HOU Xiaodong<sup>1</sup>,  
ZHENG Chengpeng<sup>3</sup>, DU Yongmei<sup>1\*</sup>, ZHAO Yougen<sup>4</sup>

(1. Tobacco Research Institute of CAAS, Qingdao 266101, China; 2. Qujing Company of Tobacco Companies in Yunnan Province, Qujing, Yunnan 655000, China; 3. Linyi Tobacco Company of Shandong Province, Linyi, Shandong 276000, China; 4. Liangshan Tobacco Company of Sichuan, Xichang, Sichuan 615000, China)

**Abstract:** 218 samples of flue-cured tobacco leaves of representative area in China were collected to investigate relationship between major appearance characteristic and deliveries of harmful compounds in mainstream smoke of flue-cured tobacco leaves. Variance analysis was used to study the difference of deliveries of tar, nicotine and seven harmful ingredients (carbon monoxide, benzopyrene, phenol, hydrogen cyanide, NNK, ammonia, crotonaldehyde) in mainstream smoke between different characteristic of maturity, color, body, oil, leaf structure, color intensity of flue-cured tobacco leaves. Results showed that color, body, leaf structure of tobacco leaves had significant influence on deliveries of harmful compounds in mainstream smoke, but that of the maturity, oil and color intensity had a little influence. The deliveries of tar, nicotine, phenol, ammonia, hydrogen cyanide in mainstream smoke of orange tobacco leaves were greater than that of lemon tobacco leaves. In general, the deliveries of nicotine, phenol in mainstream smoke of fleshy tobacco leaves were larger than that of less thin tobacco leaves. With the tobacco leaves structure tending to be loose, The deliveries of tar, nicotine and phenol in mainstream smoke were significant decrease, and the deliveries of crotonaldehyde were significant increase.

**Keywords:** flue-cured tobacco; appearance characteristic; mainstream smoke; harmful compounds

烟草及其制品安全性是烟草工业和农业永远关注的焦点。据资料报道<sup>[1-2]</sup>, 目前已鉴定的烟气有害成分有 150 种, 不同的国家或机构对烟气有害成分名单关注对象或范围不同。谢剑平等<sup>[3]</sup>通

过对国内外 163 个卷烟牌号“Hoffmann 名单”中的 28 项主流烟气有害成分与其生物毒性的关系研究, 确定了以一氧化碳、氰化氢、NNK(4-甲基亚硝胺-1-吡啶-1-丁酮)、氨、苯并芘、苯酚、巴豆

基金项目: 中国烟草总公司项目“烤烟烟叶原料安全性评价体系研究”(110200902063); 云南省烟草公司项目“提高中华品牌曲靖烟叶原料需求匹配度关键技术研究”(2013YN22)

作者简介: 付秋娟(1974-), 硕士, 实验师, 主要从事烟叶原料研究。E-mail: fuqiujuan@sina.com。\*通信作者, E-mail: duyongmei6909@163.com

收稿日期: 2014-08-08

修回日期: 2015-03-30

醛 7 项指标来表征卷烟主流烟气生物危害性。烟叶理化特性是决定其烟气有害成分释放量的基础。目前的相关研究大多关注有害成分前体物<sup>[4-5]</sup>或常规物理、化学指标<sup>[6-11]</sup>对烟气有害成分的影响<sup>[12-14]</sup>。有关烟叶外观质量指标对烟气有害成分释放量影响的研究较少<sup>[15]</sup>。本文拟通过不同外观质量特性的初烤烟叶主流烟气烟碱、焦油及 7 项有害成分释放量的差异分析,明确影响烟叶安全性的主要外观质量指标,为烤烟烟叶原料的安全性评价提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 烟叶样品选择

2012—2013 年分别在我国主要烟草种植区选择 27 个代表产地,分别为:黄淮烟草种植区——河南许昌、三门峡、山东临沂、潍坊、湖北襄阳 5 个代表产地,西南种植区——云南曲靖、文山、宝山、普洱、大理、玉溪、四川凉山、攀枝花、泸州,贵州遵义、毕节、铜仁,广西百色 13 个代表产地,东南烟草种植区——福建龙岩、南平、三明、湖南郴州、永州,江西赣州、抚州,安徽宣城,广西贺州 9 个代表产地,每年每产地选取 B2F、C3F、C3L、X2F 等级代表样品一套,2012、2013 年分别选取样品 109 份,共选取样品 218 份,每份样品 10 kg。

### 1.2 外观质量鉴定

外观质量由外观质量鉴定专家根据 GB2635—1992 规定的主要品级因素及其程度档次进行鉴定,品级因素包括:颜色、成熟度、身份、结构、油分、色度。其中,在对烟叶成熟度判定中,如果样品成熟度比国标要求的“成熟”标准稍差,但其成熟度优于“尚熟”的,判定为“成熟”。在对叶片色度判定中,如果烟叶样品的色度比国标要求的色度“中”的均匀性及饱和度好,但其色度低于国标对色度“强”的要求,则其色度判定为“中<sup>+</sup>”。

### 1.3 卷烟样品制备

外观质量鉴定完成后,将烟叶去筋,切丝(0.9 ± 0.1) mm,卷制成卷烟(烟支长 84 cm,醋酸滤嘴长 24 cm,外包纸长 30 cm,圆周 24 cm)。卷制过程中,根据不同样品烟丝填充值调整其烟支质量。

### 1.4 检测指标及方法

主流烟气焦油、烟碱、一氧化碳、苯并芘、苯酚、巴豆醛、氰化氢、氨气、NNK 分别根据以下标准测定:GB/T 19609—2004、GB/T 23355—2009、GB/T 23356—2009、GB/T 21130—2007、YC/T 255—2008、YC/T 254—2008、YC/T 403—2011、YC/T 377—2010、GB/T 23228—2008。代表样品有害成分释放量以单位质量烟丝主流烟气有害成分释放量计算。

### 1.5 数据分析方法

数据分析用 DPS9.05 统计软件,用方差分析、配对检验进行比较。

## 2 结果

### 2.1 不同成熟度烟叶主流烟气有害成分释放量差异分析

由表 1 看出,3 个种植区成熟度较好(成熟)与稍差(成熟<sup>-</sup>)的烟叶其主流烟气主要有害成分释放量  $t$  检验的  $P$  值均大于 0.05,说明不同成熟度烟叶主要有害成分释放量的差异不显著,即目前生产水平条件下所收购的烟叶其成熟度对主流烟气有害成分释放量的影响较小。

### 2.2 不同颜色烟叶主流烟气有害成分释放量差异分析

以中部叶为例,以同一产地 C3F 和 C3L 等级作为配对数据,通过配对两处理  $t$  检验的统计方法,研究了柠檬黄和橘黄色烟叶主流烟气主要有害成分释放量的差异,结果列于表 2。由表 2 看出,橘黄色烟叶主流烟气焦油、氰化氢释放量显

著大于柠檬黄烟叶 ( $P < 0.05$ ), 烟碱、苯酚、氨的释放量极显著大于柠檬黄烟叶 ( $P < 0.01$ )。而橘黄和柠檬黄烟叶中巴豆醛、苯并芘、NNK、一氧化碳释放量的差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

总体分析, 烟叶颜色对主流烟气有害成分释放量影响较大。颜色浅的叶片, 其主流烟气主要

表1 不同成熟度烟叶主流烟气主要有害成分释放量差异

Table 1 Difference in the deliveries of main harmful compounds in mainstream smoke from tobacco leaves of different maturity

区域	因子	成熟	成熟-	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
西南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	21.63±2.84	20.09±2.05	1.0185	0.3206
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.33±0.55	2.55±1.36	0.5305	0.6016
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	25.66±3.26	25.91±5.55	0.1216	0.9044
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	21.50±5.64	17.61±2.14	1.3344	0.1971
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	42.95±4.76	43.38±5.51	0.16	0.8745
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	29.05±5.59	28.30±2.86	0.2565	0.8002
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	5.81±2.69	4.75±2.16	0.7376	0.4693
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	14.39±2.82	14.73±2.64	0.2225	0.8262
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	141.51±25.87	130.64±26.08	0.7594	0.4565
	东南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	21.95±1.82	23.02±3.24	0.8843
烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )		2.34±0.46	2.37±0.68	0.1098	0.9141
焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )		25.80±3.31	27.12±4.92	0.6618	0.5182
苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )		18.42±1.77	19.77±4.19	0.9435	0.3604
巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )		31.00±1.61	30.70±2.19	0.3241	0.7504
苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )		28.20±6.48	30.80±9.18	0.6842	0.5043
NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )		8.95±5.61	6.48±2.54	1.0091	0.3289
氨/(μg·g <sup>-1</sup> )		6.95±1.39	9.03±3.40	1.8148	0.0896
氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )		119.83±32.44	110.12±23.74	0.6415	0.5309
黄淮烟草种植区		一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	23.38±2.30	21.98±0.98	1.4056
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.14±0.43	2.10±0.62	0.1423	0.8888
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	25.60±3.12	25.67±2.73	0.0439	0.9656
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	22.76±4.75	21.60±5.58	0.4547	0.6558
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	26.26±2.51	29.32±4.10	1.919	0.0742
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	31.19±7.16	41.03±19.88	1.5054	0.153
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	8.70±3.88	9.13±4.05	0.2169	0.8312
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	10.18±2.81	12.20±7.09	0.8475	0.4101
	HCN/(μg·g <sup>-1</sup> )	134.54±30.42	115.20±30.79	1.2475	0.2314

表2 不同颜色烟叶主流烟气主要有害成分释放量差异

Table 2 Difference in the deliveries of main harmful compounds in mainstream smoke from tobacco leaves of different color

指标	橘黄	柠檬黄	<i>t</i> 值	自由度 <i>df</i>	<i>P</i> 值
一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	20.9	21.8	1.5257	31	0.137
烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.2	1.8	3.5852	31	0.001
焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	24.5	23.1	2.3791	31	0.024
苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	18.9	18.7	0.3125	31	0.757
巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	42.1	43.1	1.0463	31	0.304
苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	29.3	24.6	4.3974	31	0.000
NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	6.1	5.1	1.2169	31	0.230
氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	13.7	12.0	4.0132	31	0.000
氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	172.3	154.3	2.2844	31	0.029

有害成分释放量相对较低。

### 2.3 不同身份烟叶主流烟气有害成分释放量差异分析

不同种植区身份不同的烟叶主流烟气主要有害成分的差异分析结果列于表3, 由表3看出, 叶片身份不同的烟叶其主流烟气烟碱、苯酚释放量的差异均达显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平, 较厚的烟叶烟碱、苯酚释放量显著较高。较厚的烟叶其主流烟气焦油、NNK、氨释放量也较高, 而巴豆醛释放量则较低, 但有的种植区差异达不到显著水平。不同种植区叶片身份不同的烟叶一氧化碳、苯并芘、氰化氢释放量差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

总体分析, 叶片身份对其主流烟气有害成分释放量的影响较大。除巴豆醛外, 身份较厚的烟

表3 不同身份烟叶主流烟气主要有害成分释放量差异

Table 3 Difference in the deliveries of main harmful compounds in mainstream smoke from tobacco leaves of different body

区域	因子	稍薄	中等	稍厚	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
西南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	21.89±2.93	21.40±2.41	22.40±3.57	0.35	0.703
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.08±0.74	2.67±0.79	3.20±0.56	9.23	0.000
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	24.44±3.71	26.61±2.84	27.84±2.89	4.44	0.017
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	20.36±5.96	22.14±5.16	20.27±2.69	0.64	0.531
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	43.17±6.08	40.82±5.22	38.11±5.61	2.84	0.068
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	28.16±7.59	34.61±11.56	37.00±11.15	4.05	0.023
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	5.52±2.81	6.93±4.37	9.08±5.47	3.03	0.057
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	14.01±2.47	17.36±4.41	18.53±5.34	7.12	0.002
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	143.43±27.43	147.45±25.81	145.09±35.52	0.10	0.903
	东南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	20.63±2.94	21.94±1.53	22.44±2.78	1.4
烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )		1.59±0.39	2.38±0.58	3.29±1.18	15.1	0.000
焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )		23.03±3.55	28.21±3.29	30.15±5.84	8.8	0.001
苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )		16.87±3.47	17.76±4.93	23.30±11.68	2.4	0.105
巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )		46.02±5.16	49.16±4.49	40.82±7.56	4.4	0.022
苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )		24.04±4.47	32.38±7.75	45.39±13.78	16.4	0.000
NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )		5.81±3.32	7.45±6.49	8.73±5.89	0.9	0.402
氨/(μg·g <sup>-1</sup> )		12.62±1.75	15.99±3.97	20.58±6.41	10.6	0.000
氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )		159.0±34.1	198.4±53.0	223.2±106.4	2.8	0.077
黄淮烟草种植区		一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	22.93±3.28	21.53±1.72	21.18±2.52	0.89
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	1.91±0.44	2.20±0.28	3.12±0.53	13.84	0.000
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	25.83±3.25	25.43±2.54	29.00±3.19	2.37	0.122
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	22.36±5.40	24.23±5.85	27.36±9.13	0.94	0.410
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	44.19±5.13	40.99±5.53	37.08±4.04	3.22	0.064
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	33.14±6.19	42.89±14.70	47.08±4.44	3.91	0.039
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	5.72±2.32	7.17±5.31	9.20±9.88	0.58	0.568
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	19.21±10.28	21.73±9.03	23.78±10.59	0.36	0.705
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	180.1±65.3	191.5±47.8	171.4±54.5	0.18	0.833

叶，主流烟气其他有害成分的释放量相对较高。

### 2.4 不同叶片结构烟叶主流烟气有害成分释放量差异分析

由表 4 看出，不同种植区叶片结构不同的烟叶其主流烟气烟碱、苯酚、巴豆醛释放量的差异均达显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平，随叶片结构趋于疏松，主流烟气中烟碱、苯酚释放量呈显著降低趋势，巴豆醛释放量呈显著升高趋势，各产区规律一致。

表 4 不同叶片结构烟叶主流烟气有害成分释放量差异  
Table 4 Difference in the deliveries of main harmful compounds in mainstream smoke from tobacco leaves of different structure

区域	因子	稍密	尚疏松	疏松	F 值	P 值
西南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	21.15±2.65	22.16±2.77	21.23±3.42	0.52	0.599
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	3.18±0.95	3.26±0.65	1.88±0.59	42.3	0.000
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	26.62±4.78	27.94±3.04	22.74±3.95	13.6	0.000
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	20.65±4.77	21.11±3.99	19.16±5.61	1.06	0.349
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	34.66±5.07	36.82±7.55	40.13±5.77	5.98	0.004
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	41.37±12.24	38.78±11.49	25.93±7.73	24.9	0.000
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	6.64±2.47	9.54±5.63	5.27±2.50	11.5	0.000
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	16.10±4.09	20.25±4.88	12.91±3.90	20.7	0.000
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	157.82±41.77	178.83±33.31	154.55±35.67	2.66	0.075
	东南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	23.84±2.61	21.25±2.67	20.73±2.88	5.34
烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )		3.35±1.23	3.13±0.90	1.89±0.60	19.8	0.000
焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )		29.77±4.57	27.73±3.87	23.25±4.12	12.3	0.000
苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )		22.60±9.93	20.72±3.50	17.03±3.43	5.77	0.005
巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )		40.46±6.79	38.42±8.90	45.86±5.18	6.85	0.002
苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )		45.54±9.81	38.35±7.41	26.71±6.11	35.3	0.000
NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )		11.18±7.40	8.70±5.49	6.41±4.03	4.35	0.017
氨/(μg·g <sup>-1</sup> )		17.75±5.90	15.12±3.44	11.72±3.17	11.9	0.000
氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )		221.45±44.55	183.15±49.06	176.06±42.96	4.73	0.013
黄淮烟草种植区		一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	21.26±3.78	22.03±2.25	23.19±2.54	1.41
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.62±0.82	2.81±0.52	2.07±0.64	4.43	0.019
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	27.83±4.86	27.83±2.84	25.31±3.32	2.09	0.133
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	23.82±3.45	22.87±9.32	22.13±4.97	0.20	0.821
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	36.48±6.42	35.53±6.49	41.71±5.56	4.14	0.024
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	45.32±5.72	44.67±10.58	31.82±11.04	6.48	0.004
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	5.64±2.54	9.07±7.99	6.86±4.54	0.75	0.479
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	18.14±3.02	21.07±9.67	16.99±8.43	0.69	0.510
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	196.3±59.65	188.5±49.29	209.0±55.82	0.43	0.651

随叶片结构趋于疏松，各种植区初烤烟叶主流烟气焦油、苯并芘、氨释放量均呈降低趋势，但黄淮海烟区叶片结构不同的烟叶其主流烟气焦油、氨释放量差异达不到显著水平 ( $P > 0.05$ )，西南烟

区、黄淮烟区叶片结构不同的烟叶其主流烟气苯并芘释放量差异也达不到显著水平。

随叶片结构趋于疏松，东南烟草种植区初烤烟叶主流烟气一氧化碳、氰化氢释放量也呈显著 ( $P < 0.05$ ) 降低趋势，但其他烟草种植区差异达不到显著水平 ( $P > 0.05$ )。

总体分析，叶片结构对其主流烟气主要有害成分释放量的影响较大。叶片结构疏松的烟叶其烟碱、苯酚、焦油、苯并芘、氨释放量相对较低，巴豆醛释放量相对较高。

### 2.5 不同油分烟叶主流烟气有害成分释放量差异分析

以中部叶为例，不同烟草种植区根据其烟叶油分差异进行的主流烟气主要有害成分的差异分析列于表 5。由表 5 看出，西南烟草种植区油分为

表 5 不同油分烟叶主流烟气主要有害成分释放量差异  
Table 5 Difference in the deliveries of main harmful compounds in mainstream smoke from tobacco leaves of different oil

区域	因子	稍有	有	t 值	P 值
西南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	22.59±2.75	21.29±3.61	1.097	0.279
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.23±0.78	2.19±0.72	0.142	0.888
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	25.45±3.90	23.77±4.36	1.140	0.260
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	20.07±6.29	19.43±4.65	0.366	0.716
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	40.65±5.53	40.18±5.21	0.253	0.801
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	29.98±8.47	27.17±7.25	1.077	0.287
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	5.00±3.08	5.46±2.21	0.547	0.587
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	14.65±5.33	13.60±4.69	0.624	0.536
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	178.85±48.06	150.24±33.25	2.229	0.031
	东南烟草种植区	一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	22.44±3.67	21.70±2.07	0.692
烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )		2.13±0.74	2.13±0.46	0.011	0.992
焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )		25.37±4.57	25.19±3.41	0.113	0.911
苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )		18.89±3.13	18.00±3.48	0.599	0.554
巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )		47.53±4.86	47.70±3.72	0.102	0.920
苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )		28.77±6.86	28.12±6.05	0.243	0.810
NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )		5.71±1.05	7.21±4.96	0.783	0.441
氨/(μg·g <sup>-1</sup> )		11.20±2.58	12.33±3.67	0.752	0.458
氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )		193.33±50.82	187.44±42.88	0.305	0.763
黄淮烟草种植区		一氧化碳/(mg·g <sup>-1</sup> )	24.08±1.82	22.34±1.83	1.906
	烟碱/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.32±0.43	2.03±0.48	1.213	0.243
	焦油/(mg·g <sup>-1</sup> )	27.43±2.04	24.81±2.81	2.022	0.060
	苯并芘/(ng·g <sup>-1</sup> )	21.23±1.16	22.68±5.87	0.591	0.563
	巴豆醛/(μg·g <sup>-1</sup> )	40.75±6.92	42.45±4.93	0.604	0.554
	苯酚/(μg·g <sup>-1</sup> )	36.07±9.32	34.21±14.85	0.278	0.785
	NNK/(ng·g <sup>-1</sup> )	5.50±1.68	6.95±4.11	0.821	0.424
	氨/(μg·g <sup>-1</sup> )	15.23±3.13	17.58±8.68	0.635	0.535
	氰化氢/(μg·g <sup>-1</sup> )	226.98±51.67	186.43±41.66	1.801	0.091

“有”的烟叶主流烟气氰化氢释放量显著低于油分为“稍有”的烟叶 ( $P < 0.05$ ), 其他种植区不同油分叶片氰化氢释放量差异达不到显著水平 ( $P > 0.05$ )。主流烟气其他有害成分释放量在不同油分叶片间的差异也达不到显著水平。总体分析, 叶片油分对主流烟气有害成分释放量的影响相对较小。

### 2.6 不同色度烟叶主流烟气有害成分释放量差异分析

以中部叶为例, 不同种植区同等级不同色度烟叶主流烟气有害成分差异分析见表6。由表6看出, 3个种植区同等级不同色度烟叶其主流烟气主要有有害成分释放量  $t$  检验差异均达不到显著水平 ( $P > 0.05$ ), 说明叶片色度对主流烟气有害成分影响较小。

表6 不同色度烟叶主流烟气主要有有害成分释放量差异  
Table 6 Difference in the deliveries of main harmful compounds in mainstream smoke from tobacco leaves of different color intensity

区域	因子	中	中	$t$ 值	$P$ 值
西南	一氧化碳/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	21.66±3.08	21.40±4.09	0.238	0.813
	烟草				
	烟碱/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	2.15±0.67	2.01±0.45	0.805	0.426
	种植				
	焦油/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	24.28±4.13	23.05±3.75	1.023	0.312
	区				
	苯并芘/( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	20.39±5.38	18.21±4.14	1.472	0.149
	巴豆醛/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	40.98±5.35	39.30±4.83	1.073	0.289
	苯酚/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	26.07±7.08	28.43±6.99	1.101	0.277
	NNK/( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	5.15±2.79	5.35±2.06	0.267	0.791
氨/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	12.90±3.48	13.88±5.34	0.722	0.475	
氰化氢/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	147.54±30.81	168.34±45.34	1.780	0.083	
东南	一氧化碳/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	21.93±2.59	21.76±2.43	0.138	0.892
	烟草				
	烟碱/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	2.15±0.57	2.04±0.29	0.431	0.670
	种植				
	焦油/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	25.20±3.88	24.72±2.43	0.264	0.794
	区				
	苯并芘/( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	16.80±2.19	16.00±4.37	0.55	0.601
	巴豆醛/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	47.51±3.62	47.48±5.52	0.015	0.989
	苯酚/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	28.13±6.48	29.26±5.41	0.363	0.719
	NNK/( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	7.03±4.50	6.32±4.75	0.320	0.752
氨/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	12.01±3.78	12.06±1.83	0.030	0.977	
氰化氢/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	184.72±43.19	208.44±52.22	1.081	0.289	
黄淮	一氧化碳/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	22.94±1.99	23.53±1.80	0.53	0.61
	烟草				
	烟碱/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	2.10±0.55	2.22±0.17	0.44	0.67
	种植				
	焦油/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	25.32±2.98	27.53±1.53	1.41	0.18
	区				
	苯并芘/( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	21.56±4.38	21.35±2.50	0.09	0.93
	巴豆醛/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	42.37±6.11	41.55±3.73	0.25	0.81
	苯酚/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	34.03±15.31	37.15±3.23	0.40	0.70
	NNK/( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	5.77±1.90	8.48±6.87	1.35	0.20
氨/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	15.86±8.29	19.30±3.29	0.80	0.44	
氰化氢/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	192.62±50.06	232.52±30.41	1.49	0.16	

## 3 讨论

本研究表明, 不同种植区烟叶成熟度对其主流烟气有害成分释放量的影响较小, 与王勇等<sup>[15]</sup>、邓小华等<sup>[16]</sup>的研究结论不一致。主要原因可能是由选取样品之间的成熟度差异大小造成的, 本研究所选择的代表样品均来自生产收购烟叶, 样品等级均为正组等级, 样品间成熟度差异不大。

橘黄烟叶焦油释放量显著高于柠檬黄烟叶, 随叶片身份增厚, 主流烟气焦油释放量呈升高趋势, 烟叶油分对主流烟气有害成分释放量的影响较小, 这与窦玉青等<sup>[17]</sup>的研究结论基本一致, 与邓小华等<sup>[16]</sup>的研究中关于身份与焦油释放量关系也一致。

初烤烟叶颜色、身份、结构对主流烟气有害成分释放量的影响较大。不同外观品质指标对不同烟气成分影响大小不同, 同一外观品质指标对同一烟气成分的影响大小在不同种植区表现也不一致, 但各外观品质指标对主要烟气成分的影响规律基本一致。一般颜色较深(橘黄), 身份较厚, 结构较紧密的烟叶其主流烟气中除巴豆醛以外的其他有害成分释放量相对较高, 而颜色较浅(柠檬黄), 身份稍薄或适中, 结构疏松的烟叶其烟气巴豆醛释放量相对较高。

## 4 结论

在目前生产水平下, 烟叶外观品质因素中, 叶片颜色、身份、结构对其主流烟气有害成分释放量的影响较大, 成熟度、油分、色度对其主流烟气有害成分释放量的影响相对较小。叶片颜色对主流烟气焦油、氰化氢、苯酚、烟碱、氨的释放量影响显著, 叶片身份对主流烟气烟碱、苯酚释放量影响显著。叶片结构对主流烟气烟碱、苯酚、巴豆醛释放量影响显著。除巴豆醛外, 一般颜色较深、身份较厚、结构较密的烤烟烟叶其主流烟气有害成分释放量较高。

## 参考文献

- [1] Fowles J, Dybing E. Application of toxicological risk assessment principles to the chemical constituents of cigarette smoke [J]. Tobacco Control, 2003, 12: 424-430.
- [2] 尚平平, 李翔, 谢复炜, 等. 烟草烟气中有害成分定量危险评定的研究进展[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(2): 106-114.
- [3] 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.
- [4] 刘国顺, 赵春华, 崔树毅, 等. 烟草特有亚硝胺及其前体物研究进展[J]. 中国烟草学报, 2007, 13(1): 44-47.
- [5] 王娜. 烤烟烟叶中烟草特有亚硝胺(TSNA)及其前体物质积累规律的研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2003.
- [6] 黄朝章, 蔡国华, 赵艺强, 等. 单料烟主流烟气HCN与烟叶常规化学成分的相关性[J]. 烟草科技, 2013(2): 62-64.
- [7] 吴清辉. 烟叶主流烟气中苯酚释放量与常规化学成分的相关分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1246-1247, 1256.
- [8] 厉昌坤, 周显升, 王允白, 等. 烤烟烟叶焦油释放量与部分化学成分的关系研究[J]. 中国烟草科学, 2004(2): 25-27.
- [9] 舒俊生, 姚忠达, 郭东锋. 烤烟常规化学成分与烟气成分关系分析[J]. 安徽农业大学学报, 2013(1): 149-154.
- [10] 朱大恒, 李彩霞, 张爱忠, 等. 烟气有害成分与烟叶化学成分的关系[J]. 烟草科技, 1999(4): 25-27.
- [11] 张强, 王浩雅, 马建雄, 等. 云南烤烟的烟气成分与烟叶化学成分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(1): 75-79.
- [12] 王颖, 何君, 谢涛, 等. 抽吸方式对卷烟主流烟气中主要羰基化合物释放量的影响[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(3): 18-22.
- [13] 于建军, 章新军, 毕庆文, 等. 烤烟烟叶理化特征对烟气烟碱、CO、焦油量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003(3): 5-8.
- [14] 刘志华, 杨松, 王昆森, 等. 烟丝含水率对主流烟气CO等7种有害成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2012(1): 29-33.
- [15] 王勇, 周冀衡, 肖志新, 等. 不同成熟度对烤烟烟叶品质和安全特性指标的影响[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 26-29.
- [16] 邓小华, 周冀衡, 李晓忠. 烤烟质量与焦油量的灰色关联分析[J]. 江西农业大学学报, 2006(6): 850-854.
- [17] 窦玉青, 陈刚, 刘光亮, 等. 初烤烟叶外观质量与其烟气组分的关系[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(3): 54-58.