

# 烟梗主要化学成分特征及其与巴豆醛释放量的关系

程向红<sup>1</sup>, 王培锋<sup>2</sup>, 彭玉富<sup>1</sup>, 陈孟起<sup>1</sup>, 田海英<sup>1\*</sup>

(1.河南中烟工业有限责任公司技术中心, 郑州 450000; 2.江苏中烟工业有限责任公司徐州卷烟厂, 江苏 徐州 221100)

**摘要:**为明确烤烟烟梗化学成分特征及其与梗丝燃吸后巴豆醛释放量之间的关系,测定了国内烤烟主产区上部、中部和下部梗丝样本主要化学成分含量和巴豆醛释放量,分析了化学成分与巴豆醛释放量的相关关系。结果表明,烟梗化学成分中淀粉、总植物碱和总糖含量低于烟叶,纤维素、钾和果胶含量高于烟叶;不同产区间烟梗总糖、淀粉、钾、纤维素和半纤维素含量差异性达极显著水平,蛋白质、总植物碱以及巴豆醛释放量达到显著水平;不同部位间烟梗总植物碱、木质素、果胶含量以及巴豆醛释放量差异达极显著水平,蛋白质含量达到显著水平。烟梗主要化学成分与烟叶差异较大;产区和部位是影响烟梗化学成分和巴豆醛释放量的重要因素;梗丝巴豆醛释放量与烟梗总糖含量极显著正相关,与蛋白质含量显著正相关,与钾和纤维素含量显著负相关。

**关键词:**烟梗;化学成分;巴豆醛;产区;部位

中图分类号:S572.01

文章编号:1007-5119(2018)01-0085-06

DOI:10.13496/j.issn.1007-5119.2018.01.012

## Analysis of Chemical Components in Tobacco Stem and Correlation with Crotonaldehyde

CHENG Xianghong<sup>1</sup>, WANG Peifeng<sup>2</sup>, PENG Yufu<sup>1</sup>, CHEN Menqi<sup>1</sup>, TIAN Haiying<sup>1\*</sup>

(1. Technology Center of Henan Branch of China Tobacco Industry Corporation, Zhengzhou 450000, China; 2. Xuzhou Cigarette Factory of Jiangsu Branch of China Tobacco Industry Corporation, Xuzhou, Jiangsu 221100, China)

**Abstract:** In order to find out the characteristics of chemical composition of tobacco stem and its relationship with the release of crotonaldehyde, the main chemical components in tobacco stem of 3 stalk positions (upper, middle and lower) from Chinese main tobacco growing areas and the release of crotonaldehyde were evaluated with correlation analysis. The results showed that the contents of starch, total alkaloid and total sugar in stem were lower than that in lamina. The contents of cellulose, potassium and pectin in stem were higher. The difference of the content of total sugar, starch, potassium, cellulose and hemicellulose among different growing areas was highly significant. The difference of the contents of the total alkaloid, lignin, pectin and the release of crotonaldehyde among different stalk positions was significant. The main chemical components in tobacco stem were obviously different from those in tobacco lamina. Growing area and stalk position were important factors that affect the chemical composition and release of crotonaldehyde. There was a significant positive correlation between the release of crotonaldehyde and the content of total sugar. The release of crotonaldehyde was negatively correlated with the contents of potassium and cellulose.

**Keywords:** tobacco stem; chemical components; crotonaldehyde; growing area; stalk position

以烟梗为原料生产的梗丝具有较高的填充性、燃烧性,其应用对降低卷烟成本、控制焦油量具有非常重要的意义<sup>[1]</sup>。然而,梗丝感官吸食香气较少、刺激较大,从而影响了其在卷烟配方中的使用。

巴豆醛是卷烟烟气中的一种呼吸道纤毛毒素成分,是挥发性羰基化合物中的重要组成,我国将巴豆醛列为卷烟主流烟气7种危害性指标之一<sup>[2]</sup>。

梗丝燃吸后巴豆醛释放量远高于叶丝<sup>[3-5]</sup>,这也是制约烟梗可用性的一个重要因素。

目前很多文献分析了烟叶化学成分<sup>[6-8]</sup>,研究了烟叶化学成分与烟气有害成分释放量的关系<sup>[9-11]</sup>。

但是,烟梗与烟叶化学成分差异较大,这些研究并不能指导梗丝在卷烟中的使用。关于烟梗化学成分的研究<sup>[12-13]</sup>虽有一定报道,但这些研究时间过早、

基金项目:河南中烟工业有限责任公司项目“产地、部位和处理方式对梗丝巴豆醛释放量的影响”[ZW2014051],“烟梗可用性研究”[YN2015003]

作者简介:程向红(1977-),男,工程师,研究方向为卷烟及烟草原料研究。E-mail:409cheng@sohu.com。\*通信作者,E-mail:tianhy@hatic.com

收稿日期:2017-05-25

修回日期:2017-10-19

样本量较少、代表性不强。有关烟梗化学成分与巴豆醛释放量之间关系的研究还未见报道。

为探明烟梗化学成分特征以及影响梗丝燃吸后巴豆醛释放量的化学成分因素,本研究将烟梗制作成膨胀梗丝,以梗丝为样本,分产区和部位分析了我国烤烟主产区烟梗主要化学成分特征,研究烟梗化学成分与巴豆醛释放量之间的关系,从烟梗化学成分的角度来认识影响梗丝质量的因素,以期为卷烟工业对烟梗原料的分类、加工、选择以及梗丝在卷烟配方中的使用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选取 2015 年度国内烤烟主产区云南(大理、曲靖、文山、昭通、保山)、贵州(毕节、兴义)、四川(凉山、攀枝花)、湖南(郴州、永州)、福建(南平、三明)、河南(平顶山、许昌、三门峡)打叶复烤后上部 14 个、中部 16 个、下部 7 个,共

37 个烟梗样本,具体见表 1。上部为上橘二、上橘三烟梗混合,中部为中橘二、中橘三烟梗混合,下部为下橘二、下橘三烟梗混合。

### 1.2 试验方法

1.2.1 梗丝的制作 梗丝由河南中烟安阳卷烟厂制梗丝线气流干燥法生产,生产时间 2016 年 10 月。

1.2.2 化学成分检测 总糖<sup>[14]</sup>、淀粉<sup>[15]</sup>、蛋白质<sup>[16]</sup>、总植物碱<sup>[17]</sup>、钾<sup>[18]</sup>、纤维素<sup>[19]</sup>、半纤维素<sup>[19]</sup>、木质素<sup>[19]</sup>和果胶<sup>[20]</sup>含量根据现行相关的烟草行业标准进行检测。

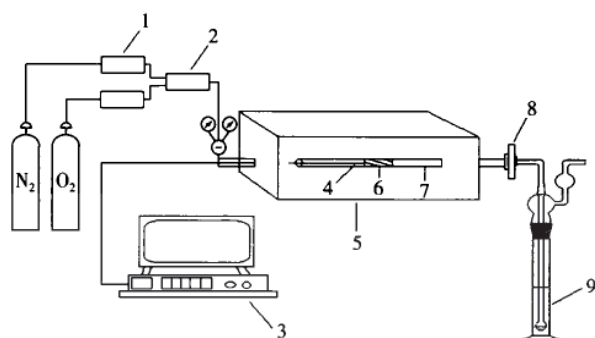
1.2.3 巴豆醛释放量检测 由于梗丝样本烟支燃烧较快,采用传统吸烟机燃吸抽吸口数较小,误差较大,因此,试验采用自行设计的卷烟模拟燃吸装置<sup>[21]</sup>,模拟卷烟实际燃吸条件对梗丝样本进行裂解。模拟装置如图 1 所示。

按照国家标准<sup>[22]</sup>对梗丝样本进行前处理。分别称取 2 份 20 mg 石英棉和 1 份 100 mg 梗丝样本,

表 1 烟梗样本的产区及部位分布

Table 1 Growing areas and stalk positions of tobacco stem

产区 Growing area	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower
福建 Fujian	三明、南平	三明、南平	三明
贵州 Guizhou	兴义、毕节	兴义、毕节	兴义
河南 Henan	三门峡、平顶山、许昌	三门峡、平顶山、许昌	三门峡
湖南 Hunan	郴州、永州	郴州、永州	郴州
四川 Sichuan	攀枝花、凉山	攀枝花、凉山	攀枝花
云南 Yunnan	大理、曲靖、文山	大理、曲靖、文山、保山、昭通	大理、曲靖



注: 1. 气体流量控制器, 2. 混合阀, 3. 温度控制器, 4. 热电偶, 5. 聚焦红外炉, 6. 梗丝样本, 7. 石英管, 8. 捕集器, 9. 吸收瓶。

Note: 1. Gas flow controller, 2. Mixed valve, 3. Temperature controller, 4. Thermocouple, 5. Focus infrared oven, 6. Stem sample, 7. Quartz tube, 8. Trap, 9. Absorption bottle.

图 1 卷烟燃吸模拟装置示意图

Fig. 1 Diagrammatic sketch of smoking analog device

装填至石英管中(样本置于石英棉中间,控制样本长度约为 1 cm)。将装填好样本的石英管接入裂解装置中,并将盛有 50 mL DNPH 溶液的吸收瓶(上海 CNW 公司)与裂解装置连接。参考卷烟燃吸条件,设定裂解条件为:

升温程序:  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \xrightarrow{90\text{ }^{\circ}\text{C/s}} 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ (保持 6 s);  
载气: 9%  $\text{O}_2$ , 91%  $\text{N}_2$ ; 载气流速: 17.5 mL/s。

按照烟草行业标准<sup>[23]</sup>对滤片、吸收液进行处理和液相色谱分析。

1.2.4 数据统计分析 采用 SPSS 22 统计软件进行显著性分析和相关分析,采用 Excel 2007 软件制作表格。

## 2 结果

### 2.1 烟梗主要化学成分及巴豆醛释放量

由表 2 可以看出,与烟叶相比<sup>[6-8]</sup>,烟梗常规化学成分中总糖含量为 17.41%~21.40% 稍低于烟叶,淀粉与总植物碱含量分别为 0.89%~1.12%和 0.48%~0.59%,远远低于烟叶;钾含量为 4.61%~5.74%,明显高于烟叶;蛋白质含量与烟叶相差不多。烟梗细胞壁物质中纤维素含量为 21.87%~23.94%,远高于烟叶,果胶含量为 10.60%~11.24%,也明显高于烟叶,半纤维素与木质素含量与烟叶差异不太明显。

### 2.2 不同产区间主要化学成分及巴豆醛释放量

由表 3 可以看出,不同产区烟梗常规化学成分中总糖、淀粉和钾含量差异性达到极显著水平,蛋白质和总植物碱含量差异性达到显著水平。总糖含

量云南远高于其他产区,而福建远低于其他产区;淀粉含量以四川、贵州最高,河南、福建最低。蛋白质含量福建稍低,其余各产区差异不大;总植物碱含量福建远远高于其他产区;钾含量以福建、湖南较高,河南最低。

不同产区烟梗细胞壁物质成分中纤维素和半纤维素含量差异性达到极显著水平,木质素和果胶含量差异性则不显著。纤维素含量福建远高于其他产区,贵州、云南相比较低;半纤维素含量云南、贵州和四川远高于其他产区,福建和湖南远低于其他产区。不同产区梗丝巴豆醛释放量差异性达到显著水平,以河南和云南较高,湖南和四川较低。

### 2.3 不同部位间主要化学成分及巴豆醛释放量

由表 4 可以看出,不同部位烟梗常规化学成分中蛋白质和总植物碱含量差异性均达到显著水平

表 2 烟梗主要化学成分及巴豆醛释放量

Table 2 Main chemical components and release of crotonaldehyde

指标 Index	均值 Mean value	变异系数 Coefficient of variation/%	峰度 Kurtosis	95%置信区间 95% confidence interval
总糖 Total sugar /%	19.41	30.89	3.11	17.41 ~ 21.40
淀粉 Starch /%	1.01	33.67	-0.168	0.89 ~ 1.12
蛋白质 Protein /%	9.69	12.29	-0.19	9.29 ~ 10.09
总植物碱 Nicotine /%	0.54	30.27	-0.75	0.48 ~ 0.59
钾 Potassium /%	5.18	32.62	-0.61	4.61 ~ 5.74
纤维素 Cellulose /%	22.90	13.52	-0.73	21.87 ~ 23.94
半纤维素 Hemicellulose /%	1.85	53.83	-0.69	1.52 ~ 2.18
木质素 Lignin /%	2.61	22.34	-0.64	2.42 ~ 2.81
果胶 Pectin /%	10.92	8.85	0.36	10.60 ~ 11.24
巴豆醛 Aldehyde aldehyde /( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	381.00	13.51	-0.72	364.00 ~ 399.00

表 3 不同产区烟梗主要化学成分及巴豆醛释放量分析

Table 3 Main chemical components and release of crotonaldehyde of different growing areas

产区 Growing area	福建 Fujian	贵州 Guizhou	河南 Henan	湖南 Hunan	四川 Sichuan	云南 Yunnan	显著性 Saliency
糖 Total sugar/%	13.8±0.4a	18.4±1.5a	18.0±1.0a	17.2±1.6a	16.1±0.5a	26.4±2.1b	0.000
淀粉 Starch/%	0.8±0.01b	1.2±0.07c	0.5±0.13a	1.1±0.07c	1.3±0.04c	1.1±0.07c	0.000
蛋白质 Protein/%	7.9±0.2a	10.2±0.6b	10.3±0.3b	9.5±0.3b	10.3±0.1b	9.8±0.4b	0.016
总植物碱 Nicotine/%	0.79±0.04b	0.49±0.07a	0.51±0.05a	0.55±0.08a	0.54±0.06a	0.44±0.03a	0.017
钾 Potassium/%	8.0±0.2d	4.9±0.6b	3.1±0.3a	6.6±0.1c	5.0±0.02b	4.7±0.3b	0.000
纤维素 Cellulose/%	27.9±0.3d	21.9±0.8b	23.4±0.5c	24.4±0.6c	24.1±0.5c	19.2±0.4a	0.000
半纤维素 Hemicellulose/%	0.9±0.2a	2.4±0.4b	1.2±0.2a	0.9±0.3a	2.4±0.1b	2.7±0.2b	0.000
木质素 Lignin/%	2.5±0.1a	2.8±0.2a	2.7±0.2a	2.6±0.4a	2.2±0.03a	2.7±0.2a	0.300
果胶 Pectin/%	10.9±0.2ab	11.5±0.3b	10.6±0.5ab	10±0.6a	10.9±0.1ab	11.3±0.3b	0.453
巴豆醛 Aldehyde aldehyde /( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	353±26.4a	375±16.6ab	428±13.9b	348±14.8a	346±15.6a	401±16.0ab	0.023

注:同一行不同字母表示在  $p<0.05$  水平上具有显著差异,下同。

Note: The different letters of the same line have significant differences at the level of  $p<0.05$ , the same below.

以上,蛋白质含量表现为上部>下部>中部;总植物碱含量随部位的升高而增加,表现为上部>中部>下部;总糖、淀粉和钾含量则无明显差异。不同部位烟梗细胞壁物质中木质素和果胶含量差异性均达到极显著水平,木质素含量随部位的升高而增加,表现为上部>中部>下部;而果胶含量随部位的升高而降低,表现为上部<中部<下部;纤维素、半纤维素含量则无明显差异。

从对烟梗产区和部位的研究发现,烟梗细胞壁物质中,纤维素、半纤维素含量与产区密切相关,而木质素和果胶含量与部位密切相关。不同部位梗丝巴豆醛释放量差异性达极显著水平,随部位的升高巴豆醛释放量增加,表现为上部>中部>下部。

#### 2.4 烟梗主要化学成分与巴豆醛释放量的相关性

由表5可以看出,梗丝巴豆醛释放量与烟梗总

糖含量极显著正相关,与蛋白质含量显著正相关,与钾和纤维素含量显著负相关。

表4 不同部位烟梗主要化学成分及巴豆醛释放量分析

Table 4 Main chemical components and release of crotonaldehyde of different stalk positions

指标 Index	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	显著性 Saliency
总糖 Total sugar/%	18.7±1.7a	20.9±1.6a	17.3±1.6a	0.148
淀粉 Starch/%	0.97±0.09a	1.08±0.09a	0.92±0.1a	0.240
蛋白质 Protein/%	10.2±0.3b	9.1±0.2a	9.9±0.5ab	0.024
总植物碱 Nicotine/%	0.64±0.03c	0.52±0.03b	0.36±0.05a	0.001
钾 Potassium/%	4.7±0.5a	5.4±0.4a	5.6±0.6a	0.280
纤维素 Cellulose/%	23.5±0.9a	22.4±0.7a	22.8±1.4a	0.516
半纤维素 Hemicellulose/%	2.12±0.3a	1.71±0.2a	1.62±0.3a	0.508
木质素 Lignin/%	3.0±0.14b	2.4±0.12a	2.2±0.14a	0.004
果胶 Pectin/%	10.5±0.2a	10.7±0.2a	12.1±0.2b	0.001
巴豆醛 Aldehyde aldehyde/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	416±12.1b	369±11.8a	342±11.5a	0.003

表5 烟梗主要化学成分与巴豆醛释放量的相关关系

Table 5 Correlation between main chemical components of stems and release of crotonaldehyde

指标 Index	总糖 Total sugar	淀粉 Starch	蛋白质 Protein	总植物碱 Nicotine	钾 Potassium	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	木质素 Lignin	果胶 Pectin
巴豆醛 Aldehyde aldehyde	0.469**	-0.240	0.370*	-0.020	-0.650*	-0.381*	0.270	0.302	-0.027

注:\*和\*\*分别表示相关性达到显著( $p<0.05$ )和极显著( $p<0.01$ )水平。

Note: \*and\*\* respectively indicates that the correlation reached significant ( $p<0.05$ ) and extremely significant ( $p<0.01$ ) levels.

### 3 讨论

烟梗化学成分是影响梗丝燃吸质量的重要因素<sup>[13]</sup>。本研究将烟梗分产区、部位进行分析,明确了烟梗主要化学成分在产区、部位间的差异。产区间,常规化学成分含量的差异均达到显著或极显著水平,细胞壁物质中纤维素和半纤维素含量差异也达到极显著水平。部位间,常规化学成分中碳水化合物(总糖、淀粉)和矿物质(钾)含量没有明显差异,而含氮化合物(蛋白质、总植物碱)含量差异较大,细胞壁物质中木质素和果胶含量差异也较大。这说明产区是影响烟梗化学成分的主要因素,部位也是影响烟梗化学成分的重要因素,这与相关研究<sup>[5,13]</sup>结果相对应。不同部位间化学成分差异,受烟草体内顶端优势和物质再分配影响较大。本研究发现,产区和部位也是影响梗丝巴豆醛释放量的重要因素,河南、云南释放量较高,湖南、四川释

放量较低,而其释放量又随着烟梗部位的升高而升高。云南烟梗燃烧后巴豆醛释放量高可能与该产区烟梗中总糖含量高有关,河南烟梗燃烧后巴豆醛释放量高可能与该产区烟梗中钾含量低有关。随着烟梗着生部位的升高,蛋白质和木质素含量增加,这些可能是造成巴豆醛释放量随着烟梗部位的升高而升高的主要因素。因此,工业企业在烟梗原料使用时,选择合适产区和部位的烟梗是十分必要的。

已经证实,细胞壁物质热解时会产生较多的挥发性羰基化合物,这些化合物产生刺激性的呛咳、引起口腔收缩<sup>[24]</sup>。烟叶中细胞壁物质含量越高,烟叶的品质越差<sup>[25]</sup>。本研究发现,烟梗细胞壁物质中纤维素和果胶含量远高于烟叶,这可能是造成梗丝吸食香气量较少、刺激性较大、余味涩口的主要原因。因此,可以从降低纤维素和果胶含量的角度来改善梗丝吸食品质。

以烟叶为样本的相关研究表明,烟气中的挥发性碳基化合物主要来源于烟草自身成分(纤维素、果胶、糖、蛋白质、氨基酸、蜡质)以及添加剂(甘油三酯)等成分的热裂解<sup>[26]</sup>。本研究表明,梗丝裂解后巴豆醛释放量与梗丝中总糖和蛋白质含量显著正相关,这与以烟叶为样本的研究报道相一致;与钾含量显著负相关,这是因为钾有助于梗丝的裂解燃烧;而与纤维素含量显著负相关,这与以烟叶为样本的研究报道不相一致,其中的原因及机理还待进一步的深入研究。

梗丝燃吸后烟气 7 种危害成分中一氧化碳和巴豆醛释放量远高于烟叶叶丝,而其他 5 种成分却明显低于叶丝<sup>[3]</sup>,找出影响梗丝巴豆醛释放量的因素之后,可以针对性地采取相应措施降低梗丝烟气的危害性,大大提高烟梗可用性。

## 4 结 论

试验结果表明,烟梗化学成分与烟叶化学成分差异较大,产区和部位是影响烟梗化学成分及梗丝巴豆醛释放量的重要因素,梗丝巴豆醛释放量与烟梗总糖含量极显著正相关,与蛋白质含量显著正相关,与钾和纤维素含量显著负相关。梗丝巴豆醛释放量在不同产区间差异性显著,以河南和云南较高,湖南和四川较低;在不同部位间差异性极显著,随部位的升高而增加。在制梗丝过程中,可以根据卷烟对梗丝质量的需求选择合适产区、部位以及化学成分含量的烟梗原料。有关如何降低梗丝巴豆醛释放量还有待做进一步研究。

### 参考文献

- [1] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京:中国农业出版社,2003: 73, 246-247.  
YU J J. Cigarette Technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 73, 246-247.
- [2] 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 J P, LIU H M, ZHU M X, 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.
- [3] 彭斌,李旭华,赵乐,等. “三丝”掺兑量对卷烟主流烟  
气有害成分释放量的影响[J]. 烟草科技,2011(11): 40-43.  
PENG B, LI X H, ZHAO L, et al. Effects of expanded cut stem, expanded cut tobacco and reconstituted tobacco inclusion on deliveries of harmful components in mainstream cigarette smoke [J]. Tobacco Science & Technology, 2011(11): 40-43.
- [4] 张健,叶灵,李娥贤,等. 烟丝结构对主流烟气中巴豆醛逐口释放量的影响[J]. 食品工业,2015,36(7): 190-194.  
ZHANG J, YE L, LI E X, et al. Analysis of the impact of tobacco structure towards release of crotonaldehyde puff by puff in mainstream smoke[J]. The Food Industry, 2015, 36(7): 190-194.
- [5] 程向红,韦凤杰,董顺德,等. 不同部位、产区烤烟梗丝主流烟气有害成分释放量分析[J]. 河南农业大学学报,2015,49(5): 590-594.  
CHENG X H, WEI F J, DONG S D, et al. The influence of stalk position and growing area of stem wire on harmful components in mainstream cigarette smoke[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2015, 49(5): 590-594.
- [6] 李勇,逢涛,师君丽,等. 国内外主产区烤烟化学成分分析[J]. 中国烟草科学,2013,34(1): 12-16.  
LI Y, PANG T, SHI J L et al. Comparison of chemical components in flue-cured tobaccos among Chinese and overseas major planting zones[J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(1): 12-16.
- [7] 逢涛,宋春满,方敦煌,等. 云南烤烟特征化学成分分析[J]. 中国烟草学报,2010,16(1): 20-26.  
PANG T, SONG C M, FANG D H, et al. Research on chemical components characteristics in Yunnan flue-cured tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2010, 16(1): 20-26.
- [8] 程向红,董顺德,王锐,等. 豫中烟区烤烟化学成分分析[J]. 中国烟草科学,2013,34(2): 108-112.  
CHENG X H, DONG S D, WANG R, et al. Analysis of chemical composition in flue-cured tobacco leaves from central Henan[J]. China Tobacco Science, 2013, 34(2): 108-112.
- [9] 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,2012,304(11): 42-44.  
PENG B, ZHAO L, SUN X H, et al. Relationships between stalk position of tobacco leaves and deliveries of 7 harmful compounds in mainstream cigarette smoke[J]. Tobacco Science & technology, 2012, 304(11): 42-44.
- [10] 颜克亮,周博,朱东来,等. 烟叶常规化学成分与 7 项有害成分释放量的相关性分析[J]. 西南农业学报,2015,28(3): 1306-1310.  
YAN K L, ZHOU B, ZHU D L, et al. Correlation analysis

- on routine chemical compositions in flue-cured tobacco leaf with seven harmful components in mainstream smoke[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(3): 1306-1310.
- [11] 景延秋,袁秀秀,刘英杰,等.河南主产烟区烤烟主流烟气巴豆醛释放量差异及聚类分析[J].中国烟草科学, 2016, 37(2): 54-58.
- JING Y Q, YUAN X X, LIU Y J, et al. Variation and cluster analysis of crotonaldehyde content in mainstream smoke of flue-cured tobacco leaf from Henan[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(2): 54-58.
- [12] 王月侠,葛善礼,贾涛,等.烟梗化学组成的分析[J].烟草科技, 1996(3): 16-17.
- WANG Y X, GE S L, JIA T, et al. Analysis of the chemical composition of tobacco stem[J]. Tobacco Science & Technology, 1996(3): 16-17.
- [13] 彭国岗,王磊,白晓莉.烟梗常规化学成分测定及分析研究[J].轻工科技, 2015(11): 38-40.
- PENG G G, WANG L, BAI X L. The determination and analysis of the chemical components of tobacco stem[J]. Light Industry Science and Technology, 2015(11): 38-40.
- [14] 国家烟草专卖局. YC/T 159—2002 烟草及烟草制品水溶性糖的测定连续流动法[S].北京:中国标准出版社, 2002.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 159—2002. Tobacco and tobacco products-determination of water soluble sugars-continuous flow method[S]. Beijing: China Standard Press, 2002.
- [15] 国家烟草专卖局. YC/T 216—2013 烟草及烟草制品淀粉的测定连续流动法[S].北京:中国标准出版社, 2013.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 216—2013. Tobacco and tobacco products-determination of starch-continuous flow method[S]. Beijing: China Standard Press, 2013.
- [16] 国家烟草专卖局. YC/T 166—2003 烟草及烟草制品总蛋白质含量的测定连续流动法[S].北京:中国标准出版社, 2003.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 166—2003. Tobacco and tobacco products-determination of protein-continuous flow method[S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
- [17] 国家烟草专卖局. YC/T 160—2002 烟草及烟草制品总植物碱的测定连续流动法[S].北京:中国标准出版社, 2002.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 160—2002. Tobacco and tobacco products-determination of total alkaloids-continuous flow method[S]. Beijing: China Standard Press, 2002.
- [18] 国家烟草专卖局. YC/T 217—2007 烟草及烟草制品钾的测定连续流动法[S].北京:中国标准出版社, 2007.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 217—2007. Tobacco and tobacco products-determination of potassium-continuous flow method[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [19] 国家烟草专卖局. YC/T 347—2010 烟草及烟草制品中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、酸洗木质素的测定洗涤剂法[S].北京:中国标准出版社, 2010.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 347—2010. Tobacco and tobacco products-Determination of neutral detergent fiber, acid detergent fiber and acid detergent lignin-Van Soest method[S]. Beijing: China Standard Press, 2010.
- [20] 国家烟草专卖局. YC/T 346—2010 烟草及烟草制品果胶的测定离子色谱法[S].北京:中国标准出版社, 2010.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 346—2010. Tobacco and tobacco products-Determination of pectin-Ion chromatographic method[S]. Beijing: China Standard Press, 2010.
- [21] 曹得坡,夏巧玲,郭吉兆,等.卷烟燃吸模拟装置的设计与应用[J].烟草科技, 2013(3): 54-60.
- CAO D P, XIA Q L, GUO J Z, et al. Design and application of cigarette smoking simulator[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(3): 54-60.
- [22] 国家烟草专卖局. GB/T 16447—2004 烟草及烟草制品调节和测试的大气环境[S].北京:中国标准出版社, 2004.
- State Tobacco Monopoly Administration. GB/T 16447—2004. Tobacco and tobacco products-Atmosphere for conditioning and testing[S]. Beijing: China Standard Press, 2004.
- [23] 国家烟草专卖局. 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].北京:中国标准出版社, 2008.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 254—2008. Cigarettes-Determination of major carbonyls in mainstream cigarette smoke-High performance liquid chromatographic method[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [24] 庄亚东,曹毅,朱怀远,等.卷烟烟气中8种羰基化合物对口腔的刺激作用[J].烟草科技, 2014(5): 32-36.
- ZHUANG Y D, CAO Y, ZHU H Y, et al. Oral irritation caused by eight carbonyl compounds in cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2014(5): 32-36.
- [25] 陈红丽,任晓红,杨永锋,等.四川烤烟烟叶细胞壁物质含量与外观质量、感官质量的关系[J].烟草科技, 2011, 282(1): 9-12.
- CHEN H L, REN X H, YANG Y F, et al. Relationship between cell wall matter content in Sichuan flue-cured tobacco and its appearance and sensory quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2011(1): 9-12.
- [26] Richard R Baker, Steven Coburn, Chuan Liu, et al. Pyrolysis of saccharide tobacco ingredients: a TGA-FTIR investigation[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2005, 74: 171-180.