

烤烟常规化学成分与烟气成分关系分析

舒俊生, 姚忠达, 郭东锋*

(安徽中烟工业有限责任公司技术中心, 合肥 230088)

摘要: 为研究烟叶原料常规化学成分与烟气成分之间的相互关系, 运用数理统计方法对两者进行分析。结果表明: (1) 烟气成分的形成与烟叶化学成分间的关系较为复杂, 简单相关分析表明烟气中总颗粒物、烟气烟碱和焦油量与烟叶烟碱、总钾和总氮含量呈显著相关关系, 烟气一氧化碳与烟叶烟碱呈显著正相关, 与钾含量呈极显著负相关。(2) 偏相关分析表明, 烟气中总颗粒物、烟气烟碱和焦油量仅与烟叶烟碱含量呈显著的相关关系, 一氧化碳和抽吸口数主要与总钾含量呈显著的负相关关系。(3) 通径分析表明, 对总颗粒物、烟气烟碱、焦油量的生成起到主要作用的是烟叶烟碱含量, 其次是钾含量, 总氮则主要是通过烟碱的间接作用产生影响; 烟气一氧化碳主要是受总钾含量的影响, 而烟碱本身主要是通过钾的间接作用对一氧化碳起到一定的影响; 抽吸口数受总糖和总钾的影响较大, 还原糖主要是通过总糖的间接作用对抽吸口数造成影响。因此, 对烟气成分影响较大的主要是烟碱、总钾, 其中抽吸口数受总糖的影响较大。

关键词: 烤烟; 化学成分; 烟气成分; 相关分析

中图分类号: TS411

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)01-0149-06

Relationship between chemical components and smoke constituents in flue-cured tobacco leaf

SHU Jun-sheng, YAO Zhong-da, GUO Dong-feng

(Technology Center of Anhui Cigarette Industrial Company Ltd., Hefei 230088)

Abstract: In this paper, we focused on the relationship between chemical components and smoke constituents in flue-cured tobacco leaf. The relationships were studied by statistics method, partial correlation analysis and path analysis. The conclusions were as follows. (1) The relationships were complicated between chemical components and smoke constituents. The correlation analysis indicated significant relationships between total particulate matter, smoking nicotine, tar yield and leaf nicotine, K^+ , total nitrogen; there was a significant positive correlation between carbon monoxide in cigarette smoke and leaf nicotine, while a significant negative correlation between carbon monoxide in tobacco smoke and total K^+ was founded. (2) The results of partial correlation analysis indicated that there were significant relationships between total particulate matter, smoking nicotine, tar yield and leaf nicotine, and a significant negative correlation between carbon monoxide in cigarette smoke, puff number and total K^+ . (3) The path analysis demonstrated that the yield of total particulate matter, smoking nicotine and tar were affected mainly by leaf nicotine, then by total K^+ , and they were affected by total nitrogen from leaf nicotine indirectly; the yield of carbon monoxide in cigarette smoke was influenced by K^+ , and by leaf nicotine through K^+ indirectly; the puff number was affected by total sugar and total K^+ , meanwhile by reducing sugar through total sugar indirectly. The yields of smoke components were affected by leaf nicotine and total K^+ , and puff number was strongly affected by total sugar included.

Key words: flue-cured tobacco; chemical components; smoke constituents; correlation analysis

卷烟是一种嗜好性商品, 其基础组成是烟叶。据报道, 烟叶与烟气中共有 12 699 种化学成分, 其中烟气成分比烟叶中还多 1 000 多种。这些化学成

分中既有提供烟草香气、吃味和生理作用的物质, 也有产生杂气、刺激和不良吃味的物质, 还有微量对人体健康产生危害的物质, 如粒相中的焦油、苯

收稿日期: 2012-11-13

作者简介: 舒俊生, 男, 博士, 高级工程师。E-mail: shujunsheng1975@yahoo.cn

* 通信作者: 郭东锋, 男, 博士。E-mail: gdf0221@163.com

并[a]芘、烟气烟碱、亚硝胺等^[1-7]。焦油是去除烟碱和水分的总颗粒物，烟气中焦油是由于烟支在燃烧过程中有机物燃烧不完全和缺氧（或贫氧）发生裂解和合成的产物，其有害物质主要是稠环芳烃、N-亚硝胺、自由基、某些杂环化合物和放射性物质等^[8-9]。尽管有些物质在烟气中含量很低，但对人体仍存有危害，已经引起世人的关注，随着食品安全和烟草与健康问题的日益凸显，使得烟草“减害降焦”工作更加重要。而烟叶原料与烟气成分间的相互关系被研究和关注的较少^[10-14]，主要是因为烟叶的化学成分相互影响，甚至是互为因果，对烟气与原料间的关系分析造成了很大的难度，同时也给统计分析造成很多不便的处理。因此，对烟叶原料化学成分与烟气成分间的深入研究对提高卷烟香吃味品质和降低有害成分无疑具有重要的意义，对于开拓烟叶原料“减害降焦”也具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为全国不同产烟区域、不同品种、不同等级片烟样品，以及部分进口烟叶，烟叶样品共计44份，品种包含K326, CB-1, 云85, 云87, 云97和红花大金元，进口烟叶不分品种。

1.2 方法

每一个烟叶样品按照标准制备卷烟进行检测，所有烟支辅材（三纸一棒）均使用同一规格。检测

分析项目为总颗粒物、焦油量、烟气烟碱量、烟气水分含量、烟气一氧化碳量、抽吸口数6项烟气指标。样品的制备按GB/T5606.1-2004^[15]进行。

卷烟水分的调节按GB/T16447-2004^[16]进行。总颗粒物、焦油量、抽吸口数的测定按GB/T19069-2004^[17]进行。烟气烟碱量的测定按GB/T23355-2009^[18]进行。烟气水分含量的测定按GB/T23203.1-2008^[19]进行。烟气一氧化碳量的测定按^[20]进行。

判定规则按Q/WY·JS-J·JC03-2010《卷烟成品检验规程》中规定执行。检测设备为RM200A吸烟机、Aglient7890A气相色谱，环境条件为温度：(22.2±0.5)℃，湿度：61.0%±2.0%。

1.3 数据处理方法

数据分析采用SPSS和EXCEL软件进行统计分析^[21-22]。

2 结果与分析

2.1 检测结果统计描述

对6项烟气指标和烟叶中常规化学成分的统计描述见表1。结果表明，烟气指标分布均为平顶峰，左偏态峰；除烟气烟碱存在较为广泛的变异外，其它几项指标变异水平一般。烟叶化学成分样体间存在较为广泛的变异，其中总氯变异最大，且总氯含量数据分布右偏态尖顶峰，离散程度较大其余指标均为平顶峰。

表1 烟叶中化学检测指标统计描述

Table 1 Descriptive statistics of main chemical constituents in flue-cured tobacco leaves

指标 Index	变幅 Range	均值 Average	方差 Variance	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	标偏 SD	变异/% CV
总颗粒物/mg·cig ⁻¹ Total particulate matter	14.93~26.33	21.12	7.82	-0.26	-0.60	2.80	13.25
烟气烟碱/mg·cig ⁻¹ Tobacco-smoke nicotine	0.93~2.62	1.78	0.22	0.06	-1.00	0.47	26.18
烟气水分/mg·cig ⁻¹ Water content in tobacco smoke	1.75~4.03	2.84	0.28	-0.32	-0.29	0.53	18.69
焦油量/mg·cig ⁻¹ Tar yield	11.32~20.57	16.49	4.41	-0.22	-0.39	2.10	12.73
一氧化碳/mg·cig ⁻¹ Carbon monoxide	12.87~19.43	16.15	3.25	-0.09	-0.85	1.80	11.17
抽吸口数/puff·cig ⁻¹ Puff	6.95~10.83	8.77	1.05	-0.01	-1.03	1.03	11.70
烟碱/% Nicotine	1.31~3.84	2.58	0.45	0.06	-0.75	0.67	26.02
总糖/% Total sugar	14.17~38.03	26.04	32.49	-0.04	-0.52	5.70	21.89
还原糖/% Reducing sugar	12.47~33.27	23.18	26.02	-0.04	-0.42	5.10	22.01
总氯/% Total chlorine	0.14~1.23	0.41	0.07	1.90	3.30	0.26	62.40
总钾/% Total potassium	1.23~3.16	1.97	0.24	0.61	-0.21	0.49	24.69
总氮/% Total nitrogen	1.43~2.39	1.88	0.05	0.00	-0.51	0.23	12.37

2.2 烟气指标与化学成分间简单相关分析

通过对烟叶烟气成分与常规化学成分的相关分析, 见表 2。结果表明: 烟气总颗粒物与烟叶烟碱含量呈极显著正相关, 与总糖、还原糖低度相关, 与总氯含量呈低度负相关, 与总钾含量呈极显著负相关, 与总氮含量呈显著正相关。焦油量与烟叶烟碱含量呈极显著正相关, 与总糖、还原糖呈低度相关, 与总氯含量呈低度负相关, 与总钾含量呈极显著负相关, 与总氮含量呈显著的正相关。烟气烟碱量与烟叶烟碱含量呈极显著正相关, 与总糖、还原

糖和总氯呈低度负相关, 与总钾含量呈显著负相关, 与总氮含量呈极显著正相关。一氧化碳释放量与烟叶烟碱含量呈显著正相关, 与总糖、还原糖和总氯含量呈低度相关, 与总钾含量呈极显著负相关, 与总氮含量呈低度相关。单支卷烟抽吸口数与烟叶烟碱含量呈低度相关, 与总糖呈极显著正相关, 与还原糖含量呈极显著正相关, 与总氯含量呈低度相关, 与总钾含量呈显著负相关, 与总氮含量呈低度相关。

烟气水分与烟叶常规 6 项化学指标呈不同程度低度相关关系, 且相关关系均不显著。

表 2 烟气成分与化学成分简单相关分析

Table 2 Correlation analysis between smoke components and chemical constituents in tobacco leaves

指标 Index	总颗粒物 Total particulate matter	烟气烟碱 Tobacco-smoke nicotine	烟气水分 Water content in tobacco smoke	焦油量 Tar yield	一氧化碳 Carbon monoxide	抽吸口数 Puffs
烟碱/% Nicotine	0.589**	0.706**	0.140	0.593**	0.368*	0.188
总糖/% Total sugar	0.054	-0.075	0.143	0.052	0.092	0.421**
还原糖/% Reducing sugar	0.090	-0.054	0.182	0.086	0.118	0.404**
总氯/% Total chlorine	-0.027	-0.037	0.040	-0.039	0.201	-0.039
总钾/% Total potassium	-0.395**	-0.384*	-0.244	-0.380*	-0.484**	-0.340*
总氮/% Total nitrogen	0.349*	0.468**	0.071	0.344*	0.258	-0.063

注: ** 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关。* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。下同。

Note: ** denotes a significant correlation at the 0.01 level, and * denotes significant correlation at the 0.05 level. The same below.

表 3 烟气成分与化学成分偏相关分析

Table 3 Partial correlation analysis between smoke components and chemical constituents in tobacco leaves

控制变量 Controlled variables	指标 Index	总颗粒物 Total particulate matter	烟气烟碱 Tobacco- smoke nicotine	焦油量 Tar yield	一氧化碳 Carbon onoxide	抽吸口数 Puffs
总钾和总氮 Total potassium and total nitrogen	烟碱 Nicotine	0.427**	0.527**	0.442**	0.258	—
还原糖和总钾 Reducing sugar and total potassium	总糖 Total sugar	—	—	—	—	0.142
总糖和总钾 Total sugar and total potassium	还原糖 Reducing sugar	—	—	—	—	-0.051
总氮和烟碱; 总糖和还原糖 Total nitrogen and nicotine; Total sugar and reducing sugar	总钾 Total potassium	-0.256	-0.234	-0.232	-0.417**	-0.323*
烟碱和总钾 Nicotine and total potassium	总氮 Total nitrogen	-0.043	0.011	-0.063	—	—

2.3 烟气指标与化学成分间偏相关分析

对化学成分与烟气指标间的偏相关分析结果表明: 由于烟气水分与常规化学指标相关关系不明显, 在此不作分析。在控制总钾和总氮条件下, 烟碱与总颗粒物、烟气烟碱、焦油量仍然存在极显著正相关关系, 但是与烟气一氧化碳净相关关系变得不显著, 说明总钾或者总氮通过烟碱对烟气一氧化碳的

释放有一定的影响作用; 在控制还原糖和总钾条件下, 总糖与卷烟抽吸口数变得不相关, 可能通过还原糖或者总钾的交互作用, 增强了总糖对抽吸口数的相关性; 控制总糖和总钾条件下, 还原糖对抽吸口数的影响也变得不显著, 原因与总糖对抽吸口数影响相同; 控制总氮和烟碱, 总钾与烟气一氧化碳和抽吸口数仍然存在极显著和显著的负相关关系,

而与总粒相物、烟气烟碱和焦油量净相关关系变得不显著,说明在总钾对总粒相物、烟气烟碱和焦油量的影响,受到了总氮或者烟碱的影响,增加了钾对三者的影响程度;控制烟碱和总钾,总氮与总粒相物、烟气烟碱和焦油量的关系也变得不显著,说明总氮对三者的影响强烈地受到烟碱或者总钾的影响(见表3)。

2.4 烟气指标与常规化学成分回归与通径分析

对常规化学和烟气成分进行回归分析(见表4),结果表明:除烟气水分外,其余5项烟气指标都与常规化学成分有显著地回归关系,且回归方程显著检验达到0.01显著水平;烟气水分与化学成分间回归关系不显著,在此不作分析。

表4 总粒相物与化学成分回归分析

Table 4 Regression analysis between total particulate matter and chemical constituents in tobacco leaves

因变量Dependants	回归方程Regression equation	R ²	P-value
烟气烟碱 Tobacco- smoke nicotine	$Y_{\text{烟气烟碱}} = 0.01 + 0.45X_{\text{烟碱}} - 0.03X_{\text{总糖}} + 0.05X_{\text{还原糖}} + 0.16X_{\text{总氮}} - 0.11X_{\text{总钾}} + 0.23X_{\text{总氮}}$	0.551 9	0.000 1
总粒相物 Total particulate matter	$Y_{\text{总粒相物}} = 8.94 + 2.11X_{\text{烟碱}} - 0.32X_{\text{总糖}} + 0.52X_{\text{还原糖}} + 0.92X_{\text{总氮}} - 0.87X_{\text{总钾}} + 2.23X_{\text{总氮}}$	0.470 5	0.000 4
焦油量 Tar yield	$Y_{\text{焦油量}} = 7.70 + 1.68X_{\text{烟碱}} - 0.22X_{\text{总糖}} + 0.37X_{\text{还原糖}} + 0.69X_{\text{总氮}} - 0.56X_{\text{总钾}} + 1.33X_{\text{总氮}}$	0.460 0	0.000 5
一氧化碳 Carbon monoxide	$Y_{\text{一氧化碳}} = 6.91 + 0.39X_{\text{烟碱}} - 0.07X_{\text{总糖}} + 0.23X_{\text{还原糖}} + 1.64X_{\text{总氮}} - 1.01X_{\text{总钾}} + 3.20X_{\text{总氮}}$	0.395 5	0.003 3
抽吸口数 Puff	$Y_{\text{烟气烟碱}} = 0.01 + 0.45X_{\text{烟碱}} - 0.03X_{\text{总糖}} + 0.05X_{\text{还原糖}} + 0.16X_{\text{总氮}} - 0.11X_{\text{总钾}} + 0.23X_{\text{总氮}}$	0.551 9	0.021 4

表5 总粒相物与化学成分通径分析

Table 5 Path analysis between total particulate matter and chemical constituents in tobacco leaves

作用因子 Variables	简单相关 Pearson correlation	直接作用 Direct effect	间接作用Indirect effect			合计 Total
			通过x ₁ Via x ₁	通过x ₂ Via x ₂	通过x ₃ Via x ₃	
x ₁ 烟碱 Nicotine	0.589 0	0.551 1		0.071 0	-0.033 1	0.037 9
x ₂ 钾 Total potassium	-0.395 5	-0.223 5	-0.175 0		0.003 0	-0.172 0
x ₃ 总氮 Total nitrogen	0.349 3	-0.047 6	0.382 8	0.014 1		0.396 9

表6 烟气烟碱与化学成分通径分析

Table 6 Path analysis between tobacco-smoke nicotine and chemical constituents in tobacco leaves

作用因子 Variables	简单相关 Pearson correlation	直接作用 Direct effect	间接作用Indirect effect			合计 Total
			通过x ₁ Via x ₁	通过x ₂ Via x ₂	通过x ₃ Via x ₃	
x ₁ 烟碱 Nicotine	0.705 9	0.641 3		0.056 9	0.007 7	0.064 6
x ₂ 钾 Total potassium	-0.383 6	-0.179 2	-0.203 7		-0.000 7	-0.204 4
x ₃ 总氮 Total nitrogen	0.467 8	0.011 0	0.445 5	0.011 3		0.456 8

表7 焦油量与化学成分通径分析

Table 7 Path analysis between tar yield and chemical constituents in tobacco leaves

作用因子 Variables	简单相关 Pearson correlation	直接作用 Direct effect	间接作用Indirect effect			合计 Total
			通过x ₁ Via x ₁	通过x ₂ Via x ₂	通过x ₃ Via x ₃	
x ₁ 烟碱 Nicotine	0.592 6	0.577 5		0.063 8	-0.048 7	0.015 1
x ₂ 钾 Total potassium	-0.379 8	-0.200 8	-0.183 4		0.004 4	-0.179 0
x ₃ 总氮 Total nitrogen	0.343 7	-0.070 1	0.401 1	0.012 7		0.413 8

表8 烟气一氧化碳与化学成分通径分析

Table 8 Path analysis between carbon monoxide in cigarette smoke and chemical constituents in tobacco leaves

作用因子 Variable	简单相关 Pearson correlation	直接作用 Direct effect	间接作用Indirect effect		合计 Total
			通过x ₁ Via x ₁	通过x ₂ Via x ₂	
x ₁ 烟碱Nicotine	0.367 9	0.238 1		0.129 8	0.129 8
x ₂ 钾 Potassium	-0.484 4	-0.408 8	-0.075 6		-0.075 6

表 9 抽吸口数与化学成分途径分析
Table 9 Path analysis between puff number and chemical constituents in tobacco leaves

作用因子 Variable	简单相关 Pearson correlation	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			合计 Total
			通过 x_1 Via x_1	通过 x_2 Via x_2	通过 x_3 Via x_3	
x_1 总糖 Total sugar	0.420 7	0.591 4		-0.206 0	0.035 3	-0.170 7
x_2 还原糖 Reducing sugar	0.404 4	-0.210 7	0.578 4		0.036 7	0.615 1
x_3 钾 Potassium	-0.339 6	-0.294 9	-0.070 9	0.026 2		-0.044 7

进一步对烟气成分和化学成分进行途径分析, 结果见表 5、表 6、表 7、表 8 和表 9。结果表明, 对总粒相物、烟气烟碱、焦油量的直接作用表现为烟碱>总钾>总氮; 其中烟碱通过钾、总氮对总粒相物、烟气烟碱、焦油量的间接作用较小, 总钾通过烟碱对总粒相物、烟气烟碱、焦油量的间接作用较大, 总氮对总粒相物、烟气烟碱、焦油量的直接作用较小, 主要是通过烟碱对总粒相物、烟气烟碱、焦油量的生成起作用。对烟气一氧化碳产生直接作用的表现: 总钾>烟碱; 其中烟碱通过钾对一氧化碳起到一定的作用, 而总钾通过烟碱对一氧化碳的生成起到的间接作用较小。对于烟支的抽吸口数直接作用表现为: 总糖>总钾>还原糖; 其中总糖通过还原糖对抽吸口数的间接作用比总钾大, 而还原糖主要是通过总糖对抽吸口数起到较大的间接作用, 总钾通过总糖和还原糖对抽吸口数所起的间接作用较小。

3 结论

烟气指标与烟叶常规化学成分间存在较为复杂的相关关系, 简单相关分析表明总粒相物、烟气烟碱和焦油量 3 项指标与烟叶烟碱、总钾和总氮含量呈显著相关关系, 而偏相关分析结果表明总粒相物、烟气烟碱和焦油量 3 项指标仅与烟叶烟碱含量呈显著的相关关系, 显示出总钾和总氮与总粒相物、烟气烟碱和焦油量的相关关系与烟碱有很大的关联性, 说明总粒相物、烟气烟碱和焦油量的生成受化学成分的影响较为复杂。

烟气一氧化碳与常规化学成分的简单相关分析表明, 一氧化碳与烟叶烟碱呈显著正相关, 与钾含量呈极显著负相关; 但是偏相关分析结果表明一氧化碳的生成主要与总钾含量呈极显著的负相关关系, 而与烟叶烟碱含量相关关系偏相关不显著, 说明影响一氧化碳的主要化学指标是总钾。

抽吸口数与常规化学成分的简单相关分析结果表明, 其与总糖、还原糖和总钾呈显著的相关关系, 但是偏相关分析结果表明, 抽吸口数仅与总钾含量呈显著负相关, 说明影响卷烟抽吸口数的主要化学

指标为总钾。

进一步分析烟气与常规化学关系表明, 对总粒相物、烟气烟碱、焦油量的生成主要是烟叶烟碱含量影响较大, 其次是钾含量, 而总氮则主要是通过烟碱的间接作用影响三者的生成; 烟气一氧化碳主要是受总钾含量影响, 而烟碱本身主要是通过钾的间接作用对一氧化碳起到一定的影响; 抽吸口数主要受总糖和总钾的影响较大, 还原糖主要是通过总糖的间接作用对抽吸口数造成影响。

烟气成分的释放量与烟叶化学成分之间有较强的相关关系, 但是常规化学只是影响烟气成分的重要因素之一, 而烟气成分的形成还受到辅材、环境条件、烟丝物理特性等因素的影响, 对于烟气成分的形成以及与化学成分间的相互关系有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1993: 457-459.
- [2] 李汉超, 王淑娟. 烟草烟气化学及分析[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991.
- [3] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [4] 闫克玉. 烟气化学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2002.
- [5] Caldwell W S, Grenn J M. The nitrosation of nicotine: A kinetic study[J]. Chem Res Tox, 1991, 4: 513-516.
- [6] Chamberlain W J, Bake J L. Studies on the reduction of nitrosamines in tobacco[J]. Tobacco Science, 1986, 30:81-82.
- [7] Djordjevic M V, Gay S L. Tobacco-specific nitrosamines accumulation and distribution in flue-cured tobacco isolines[J]. J Agric Food Chem, 1989, 37: 751-756.
- [8] 肖协忠. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [9] 金闻博, 戴亚, 杨俊. 尼古丁化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.
- [10] 李国栋, 于建军, 董顺德, 等. 河南烤烟化学成分与烟气成分的相关性分析[J]. 烟草科技, 2001(8): 27-30.
- [11] 汤朝起, 窦玉青, 张俊. 烤烟物理特性和化学成分与烟气组分的关系[J]. 四川农业大学学报, 2009, 27(4): 427-432.
- [12] 杨永锋, 陈红丽, 刘国顺, 等. 烤烟烟叶化学成分与烟气烟碱的相关性研究[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(3): 260-263.
- [13] 于建军, 章新军, 毕庆文, 等. 烤烟烟叶理化特性对烟

- 气烟碱、CO、焦油量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(3): 5-8.
- [14] 贺英, 徐海涛, 盛志艺, 等. 综合方法对烤烟化学成分和烟气组分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(4): 1-4.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T5606.1-2004 卷烟第1部分: 抽样[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T16447-2004 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.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T19069-2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23355-2009 卷烟 总粒相物中烟碱的测定 气相色谱法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23203.1-2008 卷烟 总粒相物中水分的测定第1部分: 气相色谱法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [21] 严立坤. 相关系数与偏相关系数在相关分析中的应用[J]. 云南财贸学院学报, 2002, 19(3): 7-80.
- [22] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.