

宋文静,彭耀东,石红雁,等.江西烤烟烟叶化学成分与焦油释放量的关系[J].江苏农业科学,2019,47(8):205-208.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.08.048

# 江西烤烟烟叶化学成分与焦油释放量的关系

宋文静<sup>1</sup>,彭耀东<sup>2</sup>,石红雁<sup>3</sup>,徐庆凯<sup>2</sup>,胡毅翀<sup>2</sup>,王晓婷<sup>3</sup>,梁洪波<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所,山东青岛 266101; 2. 中国烟草总公司江西省公司,江西南昌 330025;

3. 山东中烟工业公司技术中心,山东青岛 266101)

**摘要:**为明确江西烤烟烟叶化学成分与焦油释放量的关系,对江西典型植烟区 2014、2015 年上、中、下不同部位烟叶化学成分与焦油释放量进行统计分析研究。结果表明,江西烤烟烟叶化学成分年度间差异不显著;烤烟烟叶 B2F 和 C3F 的总糖含量与总氮、烟碱含量呈极显著负相关关系,总氮含量与烟碱含量之间呈极显著正相关关系;偏相关和逐步回归分析结果表明,B2F 烟叶焦油释放量与烟叶含钾量呈极显著负相关关系,与烟碱含量呈极显著正相关关系;C3F 和 X2F 烟叶焦油释放量与烟碱含量呈显著正相关关系,与含钾量呈显著负相关关系;通径分析结果表明,烟碱含量通过含钾量对焦油释放量具有正效应作用,含钾量通过烟碱含量间接具有负效应作用,氯含量通过烟碱、钾、纤维素含量具有负效应作用。由此推论,提高江西烤烟烟叶钾含量、降低烟叶烟碱含量和含氯量是农业降焦的重要技术途径。

**关键词:**烤烟;焦油;化学成分;主成分分析;通径分析;农业降焦;技术途径

**中图分类号:** S572.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)08-0205-04

随着吸烟与健康问题的不断深入,低焦油烟草已成为我国烟草发展的必然趋势<sup>[1]</sup>。相关研究表明,烟草本身只含有微量的多环芳烃,而焦油中的大量多环芳烃绝大部分是在吸烟过程中生成的,它的生成、富集、增值量与烟的局部点燃温度有密切关系<sup>[2-5]</sup>。如何在降焦的同时保证香烟有足够的香气浓度,是烟草业走向低焦时代面临的挑战。尽管工业措施降焦效果明显,但降焦的同时会导致烟叶中其他质量指标下降,在应用效果方面存在一定的缺陷<sup>[6]</sup>。研究表明,焦油释放量与烟叶燃烧速率呈极显著负相关关系,与化学成分中的 K<sub>2</sub>O 含量呈显著负相关关系,与烟碱含量呈显著正相关关系<sup>[7]</sup>。因此,烤烟烟叶化学成分与焦油释放量密切相关,烟气中焦油释放量在很大程度上取决于烟叶原料<sup>[8]</sup>。本研究在 2014、2015 年对江西烤烟主产烟区烟叶的焦油释放量及化学成分进行检测,分析焦油释放量与内在化学成分指标的关系,以期降低烟叶原料中的焦油含量提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

根据江西省各县(市)烤烟种植规模,分别于 2014、2015 年取 B2F(上橘二)、C3F(中橘三)和 X2F(下橘二)3 个等级烟叶样品,经鉴定,烟叶外观质量满足等级要求且数量满足卷制样品需要,样品数分别为 2014 年 B2F 38 个、C3F 35 个、

X2F 37 个,2015 年 B2F 56 个、C3F 54 个、X2F 60 个。

### 1.2 烟叶卷制

由山东中烟工业有限责任公司青岛卷烟厂卷制,辅材为泰山华贵。

### 1.3 烟叶化学成分测定

烟叶化学成分的测定由农业部烟草制品检验检测中心完成,焦油释放量的检测由山东中烟工业有限责任公司技术中心完成。根据 YC/T 156—2001《卷烟 总粒相物中烟碱的测定 气相色谱法》、YC/T 157—2001《卷烟 总粒相物中水分的测定 气相色谱法》测定烟气中的烟碱、水分含量,计算焦油释放量;根据 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》测定烟叶化学成分指标中的纤维素含量,采用连续流动分析法测定烟叶化学成分指标中的总糖、还原糖、总氮、K<sub>2</sub>O、氯含量<sup>[9]</sup>。

### 1.4 数据处理与分析

采用 DPS 进行数据整理以及主成分、偏相关分析和回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年份江西主要烟叶化学成分差异分析

从表 1 可以看出,C3F 烟叶中的总糖、还原糖、烟碱、总氮含量以及含钾量、含氯量在 2014 年(35 个样品)和 2015 年(54 个样品)年度间方差分析未达到显著差异水平,在平均值差异检验(*t* 检验)中除总氮含量达到显著差异水平外,其他指标皆未达到显著差异水平,说明 2014、2015 年烟叶主要化学成分年度间变化不大。

通过对烟叶中总糖含量( $X_1$ )、烟碱含量( $X_2$ )、总氮含量( $X_3$ )、含钾量( $X_4$ )、含氯量( $X_5$ )、纤维素含量( $X_6$ )和还原糖含量等 7 个指标与烟叶焦油释放量关系的共线性检验得出,3 个烟叶等级还原糖、总糖的膨胀系数基本大于 10,说明还原糖含量与总糖含量具有高度相关性,不是独立因素。通过删

收稿日期:2017-12-12

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(编号:ASTIP-TRIC03);

中国烟草总公司项目(编号:TS-06-20110038);江西省烟草公司项目(编号:2013.01.010)。

作者简介:宋文静(1983—),男,甘肃白银人,博士,助理研究员,主要从事烟草栽培研究。Tel:(0532)6715918;E-mail:songwenjing@caas.cn。

通信作者:梁洪波,硕士,研究员,主要从事烟草栽培研究。Tel:(0532)6715918;E-mail:lianghongbo@caas.cn。

表 1 不同年份间 C3F 烟叶化学成分差异性分析

烟叶化学成分	样本数 (个)	2 组均数 <i>t</i> 检验		2 处理方差齐性结果		均值差异检验	
		均值 (%)	标准差	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
2014 年还原糖	35	25.188 6	2.597 1	1.138 0	0.661 3	0.861	0.391 6
2015 年还原糖	54	25.655 6	2.434 6				
2014 年总糖	35	26.791 4	2.798 6	1.348 6	0.323 0	1.526 9	0.130 4
2015 年总糖	54	27.642 6	2.409 9				
2014 年烟碱	35	2.774 9	0.576 2	1.621 9	0.111 8	1.477 3	0.143 2
2015 年烟碱	54	2.613 1	0.452 4				
2014 年总氮	35	1.938 9	0.177 1	1.454 9	0.216 7	2.323 9	0.022 5
2015 年总氮	54	1.858 5	0.146 8				
2014 年含钾量	35	3.214 9	0.393 1	1.643 3	0.102 5	1.668 7	0.098 8
2015 年含钾量	54	3.339 1	0.306 6				
2014 年含氯量	35	0.351 7	0.168 2	1.386 7	0.313 0	0.573 9	0.567 5
2015 年含氯量	54	0.375 0	0.198 1				

除还原糖因子再进行共线性检验,膨胀系数皆小于 6,说明这 6 个因子具有独立性。

2.2 6 种烟叶化学成分与焦油释放量的相关分析

由表 1 可知,2014、2015 年年度间烟叶主要化学成分差异不显著,因此只分析 2015 年烟叶化学成分因子与烟叶焦油释放量的相关性,结果见表 2。B2F 和 C3F 等级烟叶的总糖含量与烟碱含量、总氮含量呈极显著负相关关系,总氮含量与烟碱含量呈极显著正相关关系;B2F 烟叶的总糖含量与纤维素含量呈极显著负相关关系;C3F 烟叶的烟碱含量与含钾量呈极显著负相关关系;X2F 烟叶总糖含量与含钾量呈显著负相关关系,与烟碱含量呈负相关关系,与总氮含量呈极显著负相关关系。X2F 烟叶纤维素含量与总糖含量呈极显著负相关关系,与总氮含量、含钾量呈极显著正相关关系。

B2F 烟叶焦油释放量与烟碱含量达极显著正相关水平,与总氮含量达显著正相关水平,与烟叶含钾量呈显著负相关关系;C3F 烟叶焦油释放量与总糖含量、含钾量呈显著负相关关系,与烟碱含量呈极显著正相关关系;X2F 烟叶焦油释放量与烟碱含量呈极显著正相关关系,与含钾量、纤维素含量呈极显著负相关关系。从简单相关系数来看,烟碱含量、总氮含量、纤维素含量、含钾量、总糖含量对焦油释放量均有影响,但不同部位表现不一致。

2.3 不同部位 6 种烟叶化学成分对焦油释放量影响的主成分分析

为探讨烟叶化学成分因子对烟叶焦油释放量的影响差异,进行主成分分析,结果(表 3)显示,B2F 和 C3F 烟叶表现基本一致,前 3 个主成分的累积贡献率已经包含了 6 个变量

表 2 烟叶化学成分与焦油释放量的相关分析

等级	指标	相关系数					
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
B2F	$X_1$	1					
	$X_2$	-0.56 **	1				
	$X_3$	-0.69 **	0.81 **	1			
	$X_4$	-0.06	-0.06	0.06	1		
	$X_5$	0.04	-0.01	-0.06	0	1	
	$X_6$	-0.41 **	0.17	0.03	0.19	-0.09	1
	焦油释放量	-0.19	0.49 **	0.30 *	-0.30 *	0.05	0.21
C3F	$X_1$	1					
	$X_2$	-0.59 **	1				
	$X_3$	-0.56 **	0.77 **	1			
	$X_4$	0.18	-0.369 **	0.02	1		
	$X_5$	0.13	-0.02	-0.05	0.01	1	
	$X_6$	-0.24	0.09	0.16	0.25	-0.07	1
	焦油释放量	-0.32 *	0.40 **	0.20	-0.36 *	-0.06	-0.05
X2F	$X_1$	1					
	$X_2$	-0.11	1				
	$X_3$	-0.61 **	0.55 **	1			
	$X_4$	-0.34 *	-0.39 **	0.29 *	1		
	$X_5$	0.01	-0.32 *	-0.09	0.30 *	1	
	$X_6$	-0.84 **	-0.03	0.52 **	0.47 **	0.12	1
	焦油释放量	0.257	0.40 **	-0.02	-0.55 **	-0.03	-0.36 **

注:相关系数临界值:B2F: $R_{0.05}=0.279, R_{0.01}=0.361$ ;C3F: $R_{0.05}=0.285, R_{0.01}=0.368$ ;X2F: $R_{0.05}=0.268, R_{0.01}=0.348$ ;\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

表 3 烟叶化学成分对焦油释放量的主成分分析

烟叶等级	特征根	特征值	百分率 (%)	累计百分率 (%)	特征向量						因子
					$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	
B2F	$\lambda_1$	2.47	41.10	41.10	-0.55	0.55	0.57	0.06	-0.06	0.24	烟碱因子
	$\lambda_2$	1.20	20.10	61.20	-0.11	-0.24	-0.23	0.63	-0.22	0.66	钾因子
	$\lambda_3$	1.00	16.70	77.90	-0.04	0.02	0.02	0.36	0.93	-0.03	氯因子
C3F	$\lambda_1$	2.40	40.00	40.00	-0.53	0.59	0.55	-0.19	-0.09	0.16	烟碱因子
	$\lambda_2$	1.32	21.90	61.90	-0.07	-0.17	0.12	0.69	-0.17	0.67	钾因子
	$\lambda_3$	1.00	16.60	78.50	0.06	0.10	0.17	0.20	0.96	0.04	氯因子
X2F	$\lambda_1$	2.61	43.50	43.50	-0.56	0.10	0.49	0.36	0.06	0.56	碳素因子
	$\lambda_2$	1.78	29.70	73.20	0.04	-0.66	-0.32	0.45	0.50	0.11	烟碱因子

约 78% 的信息,第 1 主成分因子特征值分别为 2.47 和 2.40,其贡献率分别为 40.10% 和 40.00%,在对应特征向量中,总氮、总糖、烟碱含量较大且绝对值相近。由于 B2F 和 C3F 烟叶的总糖含量与总氮含量、烟碱含量呈极显著负相关关系,总氮含量与烟碱含量呈极显著正相关关系,且受栽培因素影响最大的是烟碱含量,因此 B2F 和 C3F 烟叶第 1 主成分为烟碱因子。B2F 和 C3F 烟叶第 2 主成分因子的特征值分别为 1.20 和 1.32,其贡献率分别为 20.10% 和 21.90%。B2F 烟叶对应特征量以纤维素含量(0.66)最大,含钾量次之;C3F 烟叶以含钾量最大,纤维素含量次之,钾是易受栽培技术影响的因子,因此 B2F 和 C3F 烟叶的第 2 主成分为钾因子,是有益烟叶燃烧的因子。B2F 和 C3F 烟叶第 3 主成分的特征值皆为 1.00,贡献率分别为 16.70% 和 16.60%,对应特征向量中以含氯量为最高,是不利于烟叶燃烧因子,因此第 3 主成分为氯因子。X2F 烟叶前 2 个主成分中包括了 6 个变量 73.20% 的信息,第 1 主成分因子特征值为 2.61,其贡献率为 43.50%,对应特征向量中,总糖含量(-0.559 0)最大,纤维素含量(0.557 0)次之,因此第 1 主成分为碳素因子;第 2 主成分的特征向量以烟碱(-0.660 0)最大,因此第 2 主成分为烟碱因子。X2F、B2F、C3F 烟叶烟碱含量特征向量的正负表现不一致,可能与下部烟碱含量较低有很大关系。X2F 烟叶等级烟碱含量平均仅为 1.60%,远低于 B2F(3.60%) 和 C3F(2.60%),这可能是由于江西烟株生长前期阴雨天气较多、温度偏低,从而导致下部烟叶烟碱含量较低、糖分含量偏高。另外下部烟叶含钾量较高,平均达到 4.20%,钾含量几乎达到烟叶含钾量的极致,统计数据中钾含量对焦油释放量的影响较弱,从而钾含量未能进入主成分。

2.4 不同部位 6 种烟叶化学成分与焦油释放量的相关分析

为了准确确定烟叶化学成分与焦油释放量的关系,进行偏相关和逐步回归分析。从表 4 可以看出,B2F 样品在偏相关分析中,其他因素一定时,烟叶焦油释放量与烟叶含钾量呈极显著负相关关系,与烟碱含量呈极显著显著正相关关系;C3F 样品焦油释放量与烟碱含量呈显著正相关关系,与含钾量呈负相关;X2F 烟叶焦油释放量与烟碱含量呈显著正相关关系,与含钾量呈极显著负相关关系。说明 B2F、C3F、X2F 烟叶化学成分与焦油释放量有着密切关系。

为明确各烟叶化学成分对烟叶焦油释放量线性效应的显著性,准确描述焦油释放量对于烟叶化学成分的依赖关系,经过几次因子的剔除,建立焦油释放量的最优线性回归方程。

$B2F: Y = 11.411 + 1.139X_2 - 1.487X_4 + 0.374X_6$ ,多元相

表 4 烟叶化学成分与焦油释放量的偏相关统计

烟叶等级	相关关系	偏相关系数	$t$ 检验值	$P$ 值
B2F	$r(y, X_2)$	0.467 9	3.818 2	0.000 4
	$r(y, X_4)$	-0.350 6	2.699 9	0.009 3
	$r(y, X_6)$	0.230 2	1.706 0	0.093 9
C3F	$r(y, X_2)$	0.305 5	2.291 5	0.026
	$r(y, X_4)$	-0.244 9	1.803 6	0.077 1
X2F	$r(y, X_2)$	0.325 9	2.556 6	0.013 3
	$r(y, X_4)$	-0.388 0	3.122 0	0.002 8
	$r(y, X_5)$	0.247 7	1.896 2	0.063 1
	$r(y, X_6)$	-0.202 4	1.532 9	0.130 9

关系数为 0.588 9,  $F$  值 = 9.203 \*\* [DF(自由度)(3,52)];  
 $C3F: Y = 13.797 + 1.272X_2 - 1.477X_4$ ,多元相关系数为 0.455 9,  $F$  值 = 6.69 \*\* [DF(2,51)];

$X2F: Y = 14.316 + 0.838X_2 - 0.893X_4 + 0.588X_5 - 0.229X_6$ ,多元相关系数为 0.640 5,  $F$  值 = 9.564 \*\* [DF(4,55)]。

从回归方程来看,B2F 烟叶烟碱含量、含钾量和纤维素含量与烟叶焦油释放量存在极显著线性关系,多元决定系数为 0.347 0,说明 34.70% 烟叶焦油释放量由烟碱、 $K_2O$  和纤维素等 3 个化学成分的含量决定。C3F 烟叶烟碱含量和含钾量与烟叶焦油释放量存在极显著线性关系,多元决定系数为 0.208 0,说明 20.80% 烟叶焦油释放量由烟碱、 $K_2O$  等 2 个化学成分决定。X2F 烟叶烟碱、钾、氯、纤维素含量与焦油释放量存在极显著线性关系,多元决定系数为 0.410 2,说明 41.02% 烟叶焦油释放量由烟叶烟碱、钾、氯、纤维素等 4 个化学成分决定。

从以上分析可知,3 个等级烟叶焦油释放量均与烟叶烟碱、钾含量有关,上部叶、下部叶焦油释放量均与纤维素含量有关,含氯量只与下部烟叶焦油释放量有关。决定系数以下部烟叶最大,上部烟叶次之,中部烟叶最小。

2.5 不同部位 6 种烟叶化学成分对焦油释放量的途径分析

为估量各化学成分对焦油释放量的相对贡献,进行途径分析。从表 5 可以看出,B2F 决定烟叶焦油释放量变异的 3 个构成因素的直接途径系数绝对值的大小依次为烟碱含量 > 含钾量 > 纤维素含量;C3F 决定烟叶焦油释放量变异的 2 个因素直接途径系数绝对值以烟碱含量较大,含钾量较小;X2F 决定烟叶焦油释放量变异的 4 个因素直接途径系数绝对值以含钾量为最大,烟碱含量次之,之后依次为含氯量和纤维素含量。在直接途径系数中,综合 3 个等级各化学成分含量对烟叶焦油释放量的影响,烟碱含量和含氯量皆具有正效应,含钾

表 5 烟叶化学成分对焦油释放量的通经分析

烟叶等级	因子	直接	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_6$	
B2F	$X_2$	0.436 1		0.017 9	0.033 5	
	$X_4$	-0.309 5	-0.025 3		0.037 4	
	$X_6$	0.198 1	0.073 6	-0.058 4		
C3F	因子	直接	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_4$		
	$X_2$	0.307 3		0.089 3		
	$X_4$	-0.241 9	-0.113 5			
X2F	因子	直接	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$
	$X_2$	0.301 6		0.161 9	-0.067 8	0.004 8
	$X_4$	-0.412 7	-0.118 3		0.063 4	-0.087 1
	$X_5$	0.211 6	-0.096 7	-0.123 7		-0.021 2
	$X_6$	-0.183 9	-0.007 9	-0.195 6	0.024 3	

量具有负效应。在各间接通径系数中,烟碱含量通过含钾量对焦油释放量起正效应作用,含钾量通过烟碱含量间接起负效应作用,含氯量通过烟碱、钾、纤维素含量起负效应作用。纤维素含量对上部叶的焦油释放量具有正效应作用,对下部叶具有负效应作用,纤维素含量在不同部位对焦油释放量的作用不一致,通过其他因子的间接作用也复杂,其作用机制还有待进一步研究。通过通经分析可知,提高烟叶钾含量、降低烟叶烟碱含量和含氯量是农业降焦的重要技术途径。表明从烟叶化学成分的角度来看,要降低烟叶焦油释放量必须着重于降低烟叶烟碱、纤维素含量,提高烟叶含钾量。

3 讨论

江西烟叶含钾量是我国较高的省份之一,但提高烟叶含钾量仍能有效降低烟叶焦油释放量,尤其是中部、上部烟叶<sup>[10]</sup>。提高江西烟叶含钾量的措施包括:(1)增加钾肥施用量;(2)适当后移钾肥施用时间,即增加钾肥后期追肥的比例,可有效提高中、上部烟叶的含钾量,进而达到降焦的目的<sup>[11]</sup>。控制烤烟当季及前茬作物肥料中氯离子的施用量,将烟叶氯离子含量控制在 0.20%~0.60% 合理范围内<sup>[12-14]</sup>。

烤烟烟叶的烟碱含量偏高和钾含量偏低,可对燃烧性产生明显的负面效应,导致焦油释放量较高<sup>[15]</sup>。相关研究表明,焦油量与烟碱含量呈显著正相关关系,与还原糖含量呈显著负相关关系;抽吸口数与总钾含量呈显著负相关关系<sup>[16-20]</sup>;汪修奇等采用通径分析等方法分析表明,烟叶烟碱含量与焦油释放量呈极显著正相关关系,与含钾量呈极显著的负相关关系<sup>[21]</sup>;通过本研究得到的直接通径系数可知,烟碱含量和含氯量对烟叶焦油释放量均具有正效应,含钾量具有负效应。本研究结果表明,不同等级烟叶焦油释放量与烟碱含量呈极显著正相关关系,B2F、C3F、X2F 烟叶化学成分与焦油释放量有着密切关系。从回归方程来看,B2F、C3F 烟叶烟碱含量、含钾量与烟叶焦油释放量存在极显著的线性关系,说明烟叶焦油释放量主要由烟碱和钾等 2 个化学成分决定,而 X2F 烟叶焦油释放量主要由烟碱、钾、氯和纤维素决。表明提高烟叶钾含量、降低烟叶烟碱含量和含氯量是农业降焦的重要技术途径。

4 结论

江西烟叶化学成分年度间差异不显著,说明烟叶主要化

学成分年度间变化不大,基本稳定;综合主成分、偏相关和逐步回归 3 种统计分析方法的结果可知,从烟叶化学成分角度来看,要降低烟叶焦油释放量必须着重于提高烟叶含钾量、降低烟叶烟碱含量和氯离子含量。

参考文献:

[1] Marcilla A, Gómez - Siurana A, Berenguer D, et al. Reduction of tobacco smoke components yield in commercial cigarette brands by addition of HUSY, NaY and Al - MCM - 41 to the cigarette rod[J]. Toxicology Reports, 2015, 2: 152 - 164.

[2] 刘洪祥, 王允白, 申国明, 等. 低焦油钾高效型烤烟新品种筛选与评价研究[C]//中国烟草学会第四届理事会第三次会议暨 2002 年学术年会, 2002: 79 - 87.

[3] 郭晓东. 烤烟燃烧性的化学表征及其应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.

[4] 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.

[5] 邓小华, 周冀衡, 周清明, 等. 不同焦油量烤烟化学成分差异[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(2): 1 - 7.

[6] 邓小华, 陈冬林, 周冀衡, 等. 烤烟物理性状与焦油量的相关、通径及回归分析[J]. 烟草科技, 2009(7): 53 - 56.

[7] 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, 40(1): 149 - 154.

[8] 张 强, 王浩雅, 马剑雄, 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.

[9] 刘晓冰, 孟 霖, 梁 盟, 等. 武陵山区烤烟上部叶片纤维素、木质素含量与质量指标间相关性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(7): 235 - 240.

[10] 王唯唯, 赵铭钦, 周伏叶, 等. 河南烟区烤烟焦油量的空间分布及与化学成分的关系[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(6): 604 - 607.

[11] 董高峰, 殷沛沛, 卢 伟, 等. 昭通烤烟烟气成分与烟叶化学成分的关系分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(3): 492 - 497.

[12] 钟家威. 单料烟主流烟气中焦油/抽吸口数比与烟叶常规化学成分的相关分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16812 - 16814.

[13] 郭东锋, 姚忠达, 汪季涛, 等. 烤烟烟叶常规化学成分与主流烟气成分的关系[J]. 烟草科技, 2013(2): 46 - 51, 82.

[14] 陈爱国, 刘光亮, 陶 健, 等. 烤烟焦油释放量与化学成分的关系及其空间分布特征[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(4): 51 - 57.

[15] 蔡长春, 李进平, 李锡宏, 等. 烤烟化学成分与焦油的相关性分析[J]. 浙江农业科学, 2014(12): 1902 - 1905.

[16] 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(4): 1 - 4.

[17] 牛慧伟, 许自成, 李青常, 等. 基于岭回归分析的烤烟焦油含量预测模型构建[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(3): 245 - 250.

[18] 程昌合, 王唯唯, 赵铭钦, 等. 浓香型烤烟烟叶化学成分与烟气化学成分的关联度[J]. 浙江农业科学, 2014(4): 555 - 558.

[19] 李 强, 李章海, 陈 琴, 等. 我国主要烟区、主要烤烟品种烟叶钾含量分析[J]. 湖北农业科学, 2006, 45(4): 441 - 444.

[20] 张 涛, 段沅杏, 陈进雄, 等. 初烤烟叶 25 种化学成分与焦油的相关、逐步回归及通径分析[J]. 烟草科技, 2012(8): 60 - 65.

[21] 汪修奇, 邓小华, 李晓忠, 等. 湖南烟区烤烟焦油释放量区域特征研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(5): 41 - 45.