

# 烤烟种质焦油释放量及其影响因素的相关性分析

柳林青<sup>1,2</sup>, 杜咏梅<sup>1</sup>, 王振娟<sup>3</sup>, 付秋娟<sup>1</sup>, 张洪博<sup>1</sup>, 闫 宁<sup>1</sup>, 刘艳华<sup>1</sup>, 刘 静<sup>1,2</sup>, 鞠馥竹<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; <sup>2</sup> 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; <sup>3</sup> 山东潍坊烟草有限公司临朐分公司, 临朐 262600)

**摘要:** 以种植在山东、四川两个省份的 205 份烤烟种质为研究材料, 通过多年多点精准鉴定, 筛选出窝里黄 0782、P3、黔南七号、82-3041、吉烟 9 号等低焦油烤烟种质 17 份。系统调查了株高、叶数、茎围等农艺性状, 检测了初烤后烟叶中 6 项常规化学成分, 并采用简单相关分析、通径分析和回归分析等方法探讨农艺性状、化学成分与焦油释放量的相关关系。结果表明, 烟叶化学成分对焦油释放量的贡献大于农艺性状, 特别是总糖、还原糖与焦油释放量呈极显著正相关, 而钾与焦油释放量呈极显著负相关。各因子对焦油释放量的直接作用顺序为: 钾 > 总糖 > 烟碱 > 腰叶长 > 叶绿素 > 茎围 > 株高。钾和总糖主要通过直接作用影响焦油释放量, 烟碱对焦油释放量的直接影响作用和间接影响作用相近, 腰叶长、叶绿素以及茎围等农艺性状可间接影响焦油释放量, 其他指标对焦油释放量影响不显著。最后, 建立了农艺性状、化学成分与焦油释放量的回归模型, 可为低焦油烤烟种质的筛选与利用提供技术支持。

**关键词:** 烤烟资源; 化学成分; 农艺性状; 焦油释放量; 相关性分析

## Correlation Analysis of Tar Content in Flue-cured Tobacco Germplasm and Its Influencing Factors

LIU Lin-qing<sup>1,2</sup>, DU Yong-mei<sup>1</sup>, WANG Zhen-juan<sup>3</sup>, FU Qiu-juan<sup>1</sup>, ZHANG Hong-bo<sup>1</sup>,  
YAN Ning<sup>1</sup>, LIU Yan-hua<sup>1</sup>, LIU Jing<sup>1,2</sup>, JU Fu-zhu<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Tobacco Research Institute of Chinese Agricultural Science, Qingdao 266101; <sup>2</sup> Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; <sup>3</sup> Linqu Filiale Corporation of Weifang Tobacco Corporation, Linqu 262600)

**Abstract:** This study investigated tar content of 205 flue-cured tobacco germplasm accessions which were collected from Shandong province and Sichuan province, China. Seventeen low-tar flue-cured tobacco germplasms such as Wolihuang 0782, P3, Qiannan No.7, 82-3041 and Jiyan No.9 were identified by deployment of multiyear and multiple location experiments. Furthermore, the agronomic traits including plant height, leaf number and stem diameter were scored, and six conventional chemical components in the cured tobacco leaves were examined. The correlation between agronomic traits, chemical composition and tar release was investigated by using simple correlation analysis, path analysis and regression analysis. An extremely significant positive correlation was revealed between tar release and any of total sugar and reducing sugar. An extremely significant negative correlation was detected between potassium and tar release. No significant correlation was observed between other factors and tar release. The tar release were contributed by potassium, followed by total sugar, nicotine, middle leaf length, chlorophyll, stem diameter as well as plant height. Potassium and total sugar mainly affect tar content through direct action. The direct and indirect effects of nicotine to tar release are similar. Agronomic traits including waist length, chlorophyll and stem diameter can indirectly affect tar release, and other factors showed

收稿日期: 2019-10-26 修回日期: 2019-12-18 网络出版日期: 2020-01-10

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191026002>

第一作者研究方向为烟草种质资源活性成分鉴定评价与利用, E-mail: 957835270@qq.com

通信作者: 刘艳华, 研究方向为烟草种质资源活性成分鉴定评价与利用, E-mail: liuyanhua@caas.cn

**基金项目:** 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203091); 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-TRIC05); 山东省自然科学基金资助项目 (ZR2019QH004)

**Foundation project:** Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201203091), Agricultural Science and Technology Innovation Program (ASTIP-TRIC05), The Shandong Provincial Natural Science Foundation (ZR2019QH004)

no obvious effect on tar content. Finally, a regression model between agronomic traits, chemical composition and tar release was proposed, which is of importance for the screening and utilization of low-tar flue-cured tobacco germplasm.

**Key words:** flue-cured tobacco resources; chemical composition; agronomic traits; tar content; correlation analysis

焦油是卷烟主流烟气中的主要有害物质,包括各种硫化物、氮化物、稠环芳烃、酚类化合物及其衍生物等,可对人体产生致癌、致畸及细胞毒性等危害<sup>[1-3]</sup>。因此,降低卷烟焦油释放量已成为国际烟草安全性研究的热点。国内外卷烟企业主要通过工业技术降低卷烟焦油释放量,并取得了显著成效,而工业降焦的同时会造成卷烟香味和吃味淡、生理强度降低等问题;农业降焦可在维持香味和吃味、生理强度降低不显著的条件下降低卷烟焦油释放量。当今世界发达国家从 20 世纪后期就开始着力于农业技术降低卷烟焦油释放量的研究,尤其是低焦油品种的筛选与利用。美国、加拿大利用传统育种和生物工程技术培育低焦油烟草品种,并在烟叶原料生产中取得了较好的成效。因此,筛选、培育焦油含量低的烟草品种,是降低卷烟主流烟气中焦油释放量最直接、有效的一种方式,对提高我国卷烟安全性具有重要意义。虽然我国烟草种质资源的研究利用情况发展迅猛,资源利用率也在不断提高<sup>[4]</sup>,但低焦油烟草品种的开发与利用仍有较广阔的前景。

卷烟主流烟气焦油释放量是一个复杂的变量,它受烟草品种、种植条件以及烟叶化学成分等多因素的影响,长期以来受到广泛关注。国内外众多研究者对烟叶化学成分变化对卷烟焦油释放量产生的影响进行了大量研究。Long 等<sup>[5]</sup>研究表明,烟叶中钾含量与焦油释放量呈极显著负相关;厉昌坤等<sup>[6]</sup>通过简单相关分析对烤烟烟叶的部分化学成分与焦油释放量之间的关系进行了分析;汪修奇等<sup>[7]</sup>采用 SPASS 软件,利用相关、通径及回归分析等统计方法分析了湖南烟区初烤烟叶化学成分与焦油释放量间的关系;徐旭光等<sup>[8]</sup>对吉林延边地区填充型烤烟烤后烟叶进行分析,得到了关于氮钾用量对当地烤烟焦油释放量的影响;许美玲<sup>[9]</sup>通过研究发现不同烤烟种质资源间不但化学成分差异显著,农艺性状中如节距、茎围等指标也有较大差异。大多数研究者多集中在烟叶化学成分与焦油释放量的关系研究,且采用的试验材料多为生产上的主栽品种,品种遗传基础比较狭窄,限制了低焦油烟叶的开发与利用。为此,本研究以来源于国家烟草种质资源中

期库(青岛)205 份具有代表性的烤烟种质为试验材料,于 2013-2016 年种植在山东、四川两地,通过多年多点精准鉴定,并采用简单相关分析、通径分析和回归分析等方法,对其农艺性状及初烤后烟叶化学成分对焦油释放量的综合影响进行分析,旨在筛选出可直接应用于生产或低焦油育种亲本的优异资源,并得到较为全面评价焦油释放量的方法,为降低烟叶焦油释放量、提高卷烟安全性提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

205 份烤烟代表性种质(详见 <http://doi.org.10.13430/j.cnki.jpgr.20191026002>,附表 1)来源于中国农业科学院烟草研究所国家烟草种质资源中期库(青岛)。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 试验于 2013-2016 年安排在山东潍坊烟草有限公司诸城分公司试验站、中国农业科学院烟草研究所青岛试验基地、中国农业科学院西南烟草试验基地,采取完全随机区组设计,3 次重复,每个重复种植 2 行,50 株,株距 50 cm,行距 120 cm。

**1.2.2 农艺性状调查** 采用 YC/T344-2010 法<sup>[10]</sup>测定烟草第 1 青果期的农艺性状:株高、叶数、茎围、腰叶长、腰叶宽。

**1.2.3 化学成分的测定** 对初烤烟样品中部叶采用 YC/T 159-2002 法<sup>[11]</sup>测定总糖及还原糖的含量;采用 YC/T 160-2002 法<sup>[12]</sup>测定烟碱含量;采用 YC/T 161-2002 法<sup>[13]</sup>测定总氮的含量;采用 YC/T 162-2002 法<sup>[14]</sup>测定氯的含量;采用 YC/T 217-2007 法<sup>[15]</sup>测定钾含量。采用 SPAD-502 叶绿素仪对叶尖、叶中以及叶基 3 个部位的叶绿素含量进行测定。

**1.2.4 焦油释放量的测定** 对初烤烟样品中部叶采用 YC/T 29-1996 法<sup>[16]</sup>测定焦油释放量。

### 1.3 数据处理方法

利用 Excel 计算农艺性状和化学成分的平均值;利用 DPS14.5 统计软件对试验数据进行简单相关分析、通径分析和回归分析;利用 SPASS 统计软

件对简单相关分析及回归分析结果进行验证。

2 结果与分析

2.1 性状描述性统计分析

烤烟化学成分、农艺性状及焦油释放量数据统计特征见表 1。在化学成分中,烟叶中钾的变异系

数最大,其次是氯和烟碱,表明这些性状除了受基因型影响外,受环境的影响也比较大,品种间变异幅度较大。叶绿素变异系数最小,表明在中部叶成熟期叶绿素含量差异较小。农艺性状中节距和株高变异系数较大,表明株高、节距受环境的影响比较大,而腰叶长受环境影响最小。

表 1 烤烟化学成分、农艺性状及焦油释放量基本数据特征

Table 1 Chemical composition, agronomic traits and tar release of basic data characteristics in flue-cured tobacco

因子 Factor	平均值 Average	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 SD	变异系数 (%) CV
还原糖 (%) Reducing sugar	17.10	25.00	10.48	3.40	20.00
总糖 (%) Total sugar	19.97	29.80	11.60	4.03	20.17
烟碱 (%) Nicotine	3.07	6.11	1.31	0.93	30.17
总氮 (%) Total nitrogen	2.26	3.12	1.60	0.31	14.00
钾 (%) Potassium	1.92	3.34	0.78	0.67	34.90
氯 (%) Chlorine	0.323	0.59	0.13	0.10	30.65
叶绿素 Chlorophyll	38.52	47.91	29.12	3.48	9.03
株高 (cm) Plant height	145.04	234.80	50.00	29.07	20.04
叶数 Number of leaves	22.85	38.20	13.30	3.71	16.24
茎围 (cm) Stem diameter	9.48	18.20	7.80	1.08	11.39
节距 (cm) Pitch	6.20	9.26	3.20	1.31	21.13
腰叶长 (cm) Middle leaf length	63.05	76.80	37.80	6.26	9.93
腰叶宽 (cm) Middle leaf width	31.56	20.30	44.40	4.38	13.88
焦油 (mg/支) Tar	17.46	24.80	13.29	2.07	11.86

不同种质烟叶焦油释放量结果(详见 <http://doi.org.10.13430/j.cnki.jpgr.20191026002>,附表 1)表明,窝里黄 0782、CV78-4 焦油释放量最低,分别为 13.9 mg/支和 13.29 mg/支,其中窝里黄 0782 焦油释放量/烟碱比为 9.9,化学成分协调、外观品质优良,可作为优异资源应用于低焦油烟叶原料生产。黔南七号、大白筋 0551、大白筋 599、岩烟 97、86-3002、P3、84-3117 以及 9201 等 8 份种质焦油释放量在 14~15 mg/支之间,可作为低焦油育种材料进行利用。

2.2 简单相关分析

对农艺性状、初烤后的化学成分与焦油释放量进行简单相关分析,结果见表 2。总糖、还原糖与焦油释放量呈极显著正相关,烟碱、氯与焦油释放量呈显著正相关;钾与焦油释放量呈极显著负相关。其他指标与焦油释放量的相关性不显著。

表 2 各因子与焦油的相关分析

Table 2 Correlation analysis between various factors and tar release

因子 Factor	钾 Potassium	叶绿素 Chlorophyll	焦油释放量 Tar
烟碱 Nicotine	-0.0606	0.1167	0.1542*
总糖 Total sugar	-0.3165**	-0.0460	0.2432**
还原糖 Reducing sugar	-0.3033**	-0.0636	0.2208**
总氮 Total nitrogen	0.3937**	-0.0082	-0.0615
氯 Chlorine	0.2055**	0.0002	0.2580*
株高 Plant height	-0.2041**	0.1599*	0.0061
茎围 Stem diameter	0.0093	-0.0035	0.0362
叶数 Number of leaves	-0.0780	-0.0320	0.0420
节距 Pitch	-0.1222	0.1859*	-0.0298
腰叶长 Middle leaf length	-0.0625	0.0933	0.1495
腰叶宽 Middle leaf width	-0.0598	-0.1315	-0.0138
腰叶长/腰叶宽 Middle leaf length/Middle leaf width	0.0429	0.1987*	0.0583
焦油 Tar	-0.6040**	0.0257	1

\*表示显著水平达到 5%,\*\*表示显著水平达到 1%

\*Indicates a significant level of 5%,\*\*indicates a significant level of 1%

将表 2 中所有农艺性状、化学成分与焦油释放量的相关系数,按照线性相关程度分为 3 个等级。简单相关系数  $|r| \geq 0.3$  为中度相关,  $0.15 \leq |r| < 0.3$  为弱相关,  $|r| < 0.15$  为不相关。对 3 组相关系数进行单因素方差分析,由表 3 可看出,  $P < 0.05$ ,说明划分的 3 个相关程度等级是可取的。通过对相关系数的绝对值进行比较可以看出,钾与焦油释放量中度相关,总糖、还原糖、氯与焦油释放量呈弱相关,其他化学成分及农艺性状与焦油释放量的相关系数绝对值都在 0.15 以下,与焦油释放量不相关。其中,钾与焦油释放量的相关系数绝对值最大,其次是氯。

表 3 相关系数程度分类的方差分析  
Table 3 Analysis of variance of correlation coefficient degree classification

误差来源 Source of error	平方和 Sum of squares	自由度 df	平均值平方 Squares of average	F	P
组间 Inter-group	0.402	2	0.201	11.335	0.002
组内 Intra-group	0.195	11	0.018		
总计 Total	0.597	13			

2.3 通径分析

由表 2 的分析结果可以看出烤烟农艺性状、化

学成分与焦油释放量之间的相关性,而对焦油释放量和农艺性状、化学成分之间的因果关系无法很好的反映。所以在简单相关性分析的基础上通过通径分析进一步剖析相关系数,可以估算出不同因子对焦油释放量的直接效应和间接效应,更好地阐释各指标与焦油释放量之间的关系。由表 4 可以看出,各因子对焦油释放量直接作用不同,它们的直接作用顺序为:钾 > 总糖 > 烟碱 > 腰叶长 > 叶绿素 > 茎围 > 株高,其中,钾的直接效应最大,且为负效应;叶绿素的直接效应也为负效应,其他均为正效应。

对间接效应总和的分析可以看出,各指标对焦油释放量的间接影响差别较大,烟碱对焦油释放量的间接作用最大,其余按绝对值大小依次是总糖、叶绿素、株高、腰叶长、钾和茎围。其中,烟碱和总糖的间接作用较大,其他指标的间接作用较小;烟碱和总糖是负间接作用,其他指标是正间接作用。

综上所述,钾对焦油释放量的影响主要为直接作用;总糖通过直接作用和间接作用对焦油释放量产生影响,直接作用所占比重较大;烟碱对焦油释放量的影响直接作用和间接作用均较大,其中间接作用大于直接作用。株高和叶绿素也可在一定程度上对焦油释放量造成间接影响,但其对焦油释放量的直接、间接作用均小于总糖;腰叶长、茎围对焦油释放量的影响不明显。

表 4 各因子与焦油释放量的通径分析  
Table 4 Path analysis of various factors and tar release

因子 Factor	间接作用 Indirect action								
	直接作用 Direct action	烟碱 Nicotine	总糖 Total sugar	钾 Potassium	株高 Plant height	叶绿素 Chlorophyll	腰叶长 Middle leaf length	茎围 Stem diameter	总和 Total
烟碱 Nicotine	0.5666		-0.4384	-0.2789	-0.0037	0.0006	-0.0281	-0.0104	-0.7589
总糖 Total sugar	0.6066	-0.4407		0.2243	-0.0027	0.0034	0.0258	0.0072	-0.1827
钾 Potassium	-0.7085	0.2230	-0.1920		-0.0130	0.0131	-0.0097	0.0007	0.0221
株高 Plant height	0.0639	-0.0326	-0.0130	0.1446		-0.0119	0.0138	0.0072	0.1081
叶绿素 Chlorophyll	-0.0742	-0.0047	-0.0279	0.1255	0.0102		0.0145	-0.0003	0.1173
腰叶长 Middle leaf length	0.1551	-0.1028	0.1007	0.0443	0.0057	-0.0069		0.0120	0.0530
茎围 Stem diameter	0.0737	-0.0797	0.0594	-0.0066	0.0062	0.0003	0.0253		0.0049



## 2.4 回归模型建立

通过相关分析和通径分析可以看出, 烤烟部分农艺性状和化学成分对焦油释放量的影响存在交互作用, 例如, 钾会极显著地影响总糖、还原糖、总氮、氯以及株高, 进而对焦油释放量产生影响, 另外, 烟碱对总糖的影响也较大。因此, 这些性状之间可能存在多重共线性, 会给多元回归系数的估计带来不合理的解释, 基于此, 为了不影响回归模型的可靠性, 本研究利用 DPS 统计软件采用逐步回归的方法建立了“最优”回归模型, 方程为:

$$Y=11.6971+2.8095X_{\text{烟碱}}+0.2307X_{\text{总糖}}-3.0582X_{\text{钾}}+0.0068X_{\text{株高}}+0.1579X_{\text{茎围}}+0.0807X_{\text{腰叶长}}-0.0271X_{\text{叶绿素}},$$

对上述回归方程进行方差分析表明, 回归方程达极显著水平, 入选性状依次为烟碱、总糖、钾、株高、茎围、腰叶长以及叶中叶绿素含量。本方程对焦油释放量的决定系数  $R^2=82.4$ , 说明此模型能解决 82.4% 的焦油释放量变化, 拟合方程有较高的参考价值。

## 3 讨论

### 3.1 低焦油烟草资源筛选与选育

烟草低焦油育种开始于 20 世纪 60 年代末, 其筛选的基础是种质间基因型和烟叶焦油释放量存在差异, 国内外研究者针对提高烟叶的燃烧性降低焦油释放量进行了大量的研究。Chaplin<sup>[17]</sup>通过增施钾肥提高烟叶中钾含量, 降低烟叶焦油释放量; 丁辉等<sup>[18]</sup>研究发现在卷烟中施加草酸钾可以在增强烟支燃烧性的同时降低烟气焦油释放量。刘洪祥等<sup>[19]</sup>从 22 份烟草资源中、石屹等<sup>[20]</sup>从 24 份烟草品种中鉴定出钾含量大于 2% 的 Delgold、Windel、中烟 98、CF9617 等钾高效基因型。本研究筛选出焦油释放量低于 17 mg/ 支的种质共 17 份, 其中窝里黄 0782, 不但焦油释放量低, 而且其焦油释放量/ 烟碱比为 9.9, 即在焦油释放量较低条件下, 同时可满足对烟碱的需求, 可作为低焦油优异资源直接应用于生产。黔南七号和大白筋 0551 不但初烤烟叶焦油释放量低, 而且其钾含量也较高, 分别是 3.75% 和 3.58%, 但其烟碱含量只有 1.1 mg/ 支, 因此可作为钾高效育种亲本应用于烟草低焦油新品种的培育。

### 3.2 不同化学成分、农艺性状与焦油相关性

本研究结果表明钾与焦油释放量呈极显著负相关关系, 烟碱与焦油释放量呈显著正相关, 氯与焦油释放量呈显著正相关, 总糖及还原糖与焦油释放量呈

极显著正相关, 结论与前人研究结果<sup>[5, 21-25]</sup>基本一致。但是, 本研究结果总糖及还原糖与焦油释放量呈极显著正相关, 与前人研究结果<sup>[6-7, 26-29]</sup>不尽相同。造成以上结果的原因可能是研究所用种质材料、种质数量、取样部位以及生态环境不同造成的。本试验所选材料为具有代表性的烤烟种质, 数量较多, 遗传背景丰富, 且以多年多点对烟草种质的农艺性状、化学成分进行系统鉴定、评价结果为依据, 研究结果具有较广的适用范围和应用价值。

### 3.3 烟叶焦油释放量回归模型的建立

烟叶焦油释放量的检测所需样品量较大、周期较长、检测费用高昂, 限制了低焦油烟草育种的发展。因此, 建立烟叶焦油预测模型对低焦油烟草育种具有重要的现实意义。烤烟化学成分、农艺性状对初烤烟焦油释放量存在直接和间接的交互作用。本研究以农艺性状和常规化学成分为检测指标, 通过相关性分析、通径分析和逐步回归分析表明, 烟叶化学成分烟碱、总糖和钾, 农艺性状株高、叶绿素对烟叶焦油释放量均存在显著的影响。各因子与焦油释放量的关系错综复杂, 采用逐步回归方法建立的回归模型方程显著性达到了极显著水平, 可充分说明烟碱、总糖、钾、株高及叶绿素等因子与焦油释放量间的多元回归关系真实可靠, 并且所得回归模型的拟合度较好, 对进一步明确烟叶化学成分、农艺性状与焦油释放量的关系、低焦油优异种质的筛选以及低焦油品种的培育具有重要的参考价值。

### 参考文献

- [1] Stuttaford T. Tar in tobacco. The Lancet, 1973, 301 ( 7804 ): 680
- [2] Zaridze D G. Effect of the level of "tar" in tobacco smoke on the risk of the occurrence of malignant tumors. Eksperimental'naiâ Onkologiiâ, 1989, 11 ( 1 ): 3
- [3] Greenberg S D, Hallman G L. Changes in respiratory epithelium induced by single large application of tobacco tar: an experimental study in dogs. Southern Medical Journal, 1964, 57 ( 57 ): 417-422
- [4] 张兴伟, 冯全福, 杨爱国, 任民, 佟英, 邢丽敏, 王志德. 中国烟草种质资源分开发利用情况分析. 植物遗传资源学报, 2016, 17 ( 3 ): 507-516
- [5] Zhang X W, Feng Q F, Yang A G, Ren M, Tong Y, Xing L M, Wang Z D. Analysis of tobacco ( *Nicotiana tabacum* L. ) germplasm distribution and utilization in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17 ( 3 ): 507-516
- [6] Long T M, Wilson W L. A method for the prediction of smoke particulate matter yields from ground tobacco analysis. Tobacco Science, 1978, 22: 81-83
- [7] 厉昌坤, 周显升, 王允白, 耿宝峰, 王以慧, 牛鹏, 王英俊. 烤烟烟叶焦油释放量与部分化学成分的关系研究. 中国烟草科

- 学, 2004, 25(2): 25-27
- Li C K, Zhou X S, Wang Y B, Geng B F, Wang Y H, Niu P, Wang Y J. Study on the relationship between tar release and some chemical components in flue-cured tobacco leaves. *Chinese Tobacco Science*, 2004, 25(2): 25-27
- [7] 汪修奇, 邓小华, 李晓忠, 汤层层, 张洁清. 湖南烤烟化学成分与焦油的相关、通径及回归分析. *作物杂志*, 2010(2): 32-35
- Wang X Q, Deng X H, Li X Z, Tang C C, Zhang J Q. Correlation, path and regression analysis of chemical constituents and tar in Hunan flue-cured tobacco. *Crops*, 2010(2): 32-35
- [8] 徐旭光, 王雅妮, 陈爱国, 李哲, 于利, 管恩娜, 钟青, 梁洪波. 氮钾用量对吉林烤烟焦油释放量及重要化学性状的影响. *中国烟草科学*, 2015, 36(2): 55-59
- Xu X G, Wang Y N, Chen A G, Li Z, Yu L, Guan E N, Zhong Q, Liang H B. Effects of nitrogen and potassium fertilization on tar delivery and the important chemical properties of flue-cured tobacco in Jilin. *Chinese Tobacco Science*, 2015, 36(2): 55-59
- [9] 许美玲. 烤烟种质资源差异性分析. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(4): 415-420
- Xu M L. Discrepancy analysis of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(4): 415-420
- [10] 中国烟草总公司青州烟草研究所. YC/T 142-2010 烟草农艺性状调查测量方法. 北京: 国家烟草专卖局, 2010
- Qingzhou Tobacco Research Institute of China Tobacco. YC/T 142-2010 Investigating and measuring methods of agronomical character of tobacco. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration, 2010
- [11] 国家烟草质量监督检验中心. YC/T 159-2002 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定连续流动法. 北京: 国家烟草专卖局, 2002
- National Tobacco Quality Supervision and Inspection Center. YC/T 159-2002 Tobacco and tobacco products-Determination of water soluble sugars-Continuous flow method. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration, 2002
- [12] 国家烟草质量监督检验中心. YC/T 160-2002 烟草及烟草制品 总植物碱的测定连续流动法. 北京: 国家烟草专卖局, 2002
- National Tobacco Quality Supervision and Inspection Center. YC/T 160-2002 Tobacco and tobacco products-Determination of total alkaloids-Continuous flow method. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration, 2002
- [13] 国家烟草质量监督检验中心. YC/T 161-2002 烟草及烟草制品 总氮的测定连续流动法. 北京: 国家烟草专卖局, 2002
- National Tobacco Quality Supervision and Inspection Center. YC/T 161-2002 Tobacco and tobacco products-Determination of total nitrogen-Continuous flow method. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration, 2002
- [14] 国家烟草质量监督检验中心. YC/T 162-2002 烟草及烟草制品 氯的测定连续流动法. 北京: 国家烟草专卖局, 2002
- National Tobacco Quality Supervision and Inspection Center. YC/T 162-2002 Tobacco and tobacco products-Determination of chloride-Continuous flow method. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration, 2002
- [15] 国家烟草质量监督检验中心. YC/T 217-2007 烟草及烟草制品 钾的测定连续流动法. 北京: 国家烟草专卖局, 2007
- National Tobacco Quality Supervision and Inspection Center. YC/T 217-2007 Tobacco and tobacco products-Determination of Potassium-Continuous flow method. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration, 2007
- [16] 国家烟草质量监督检验中心. GB/T 19609-2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2004
- National Tobacco Quality Supervision and Inspection Center. GB/T 19609-2004 Cigarette-Determination of total and nicotine-free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2004
- [17] Chaplin J R. Production factors affecting chemical compounds of the tobacco leaf. *Recent Advances of Tobacco Science*, 1980(6): 53-63
- [18] 丁辉, 胡干文, 龚玉刚. 施加草酸钾对卷烟燃烧性、焦油及吸味的影 响. *烟草科技*, 1998(4): 14
- Ding H, Hu G W, Gong Y G. Effect of potassium oxalate on the combustion, tar and odor of cigarettes. *Tobacco Science & Technology*, 1998(4): 14
- [19] 刘洪祥, 王允白, 张忠锋, 陈刚, 申国明. 低焦油钾高效烤烟新品种筛选及其烟叶品质评价研究. *中国科协 2003 年学术年会农林水论文精选*, 北京: 中国农学会, 2003: 4
- Liu H X, Wang Y B, Zhang Z F, Chen G, Shen G M. Screening of new varieties of low-tar and potassium efficient flue-cured tobacco and evaluation of their quality. *Selected Papers on Agriculture, Forestry and Water in the 2003 Annual Conference of the National Science Association*. Beijing: China Association of Agricultural Science Societies, 2003: 4
- [20] 石屹, 牛佩兰, 窦玉清, 王树声, 梁洪波, 申国明. 培育富钾烟草品种降低烟叶焦油产生量. *中国烟草科学*, 1997, 18(4): 15-17
- Shi Y, Niu P L, Dou Y Q, Wang S S, Liang H B, Shen G M. Breeding potassium-rich tobacco varieties and reducing tobacco leaf tar production. *Chinese Tobacco Science*, 1997, 18(4): 15-17
- [21] 宋文静, 彭耀东, 石红雁, 徐庆凯, 胡毅翀, 王晓婷, 梁洪波. 江西烤烟烟叶化学成分与焦油释放量的关系. *江苏农业科学*, 2019, 47(8): 205-208
- Song W J, Peng Y D, Shi H Y, Xu Q K, Hu Y C, Wang X T, Liang H B. Study on relationship of tar release and chemical component in flue-cured tobacco leaves in Jiangxi province. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(8): 205-208
- [22] 陈爱国, 刘光亮, 陶健, 彭耀东, 梁洪波. 烤烟焦油释放量与化学成分的关系及其空间分布特征. *中国烟草科学*, 2017, 38(4): 51-57
- Cheng A G, Liu G L, Tao J, Peng Y D, Liang H B. The relationship and spatial distribution of tar content and chemical components of flue-cured tobacco. *Chinese Tobacco Science*, 2017, 38(4): 51-57
- [23] 蔡长春, 李进平, 李锡宏, 程玲, 饶雄飞, 冯吉. 烤烟化学成分与焦油的相关性分析. *浙江农业科学*, 2014, 1(12): 1902-1905
- Cai C C, Li J P, Li X G, Cheng L, Rao X F, Feng J. Relationship between chemical components and tar release of flue-cured tobacco leaves in Jiangxi province. *Journal of Zhejiang*

- Agriculture Science, 2014, 1(12): 1902-1905
- [24] 李国栋, 于建军, 董顺德, 李耀光, 罗灿选. 河南烤烟化学成分与烟气成分的相关性分析. 烟草科技, 2001(8): 28-30  
Li G D, Yu J J, Dong S D, Li Y G, Luo C X. Correlation analysis on components in flue-cured tobacco grown in Henan province with its smoke components. Tobacco Science & Technology, 2001(8): 28-30
- [25] 于建军, 章新军, 毕庆文, 邵惠芳, 焦桂珍. 烤烟烟叶理化特性对烟气烟碱、CO、焦油量的影响. 中国烟草科学, 2003, 24(3): 5-8  
Yu J J, Zhang X J, Bi Q W, Shao H F, Jiao G Z. Effects of physical and chemical properties of flue-cured tobacco leaves on nicotine, CO and tar content of flue gas. Chinese Tobacco Science, 2003, 24(3): 5-8
- [26] 张志刚, 王二彬, 苏东赢. 卷烟常规化学成分与焦油的线性回归分析. 烟草科技, 2017, 50(11): 48-57  
Zhang Z G, Wang E B, Su D Y. Linear regression correlation analysis between tar delivery and routine chemical components of Cigarettes. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(11): 48-57
- [27] 常乃杰, 张云贵, 刘青丽, 李志宏, 冉贤传, 朱经纬, 石俊雄, 张恒. 应用 SPSS 软件研究典型中间香型烤烟常规化学成分与烟气成分的关系. 烟草科技, 2017, 50(4): 31-36  
Chang N J, Zhang Y G, Liu Q L, Li Z H, Ran X C, Zhu J W, Shi J X, Zhang H. Relationships between routine leaf chemical components in typical medium flavor flue-cured tobacco and mainstream cigarette smoke components by SPSS. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(4): 31-36
- [28] 张涛, 段沅杏, 陈进雄, 张霞, 许永, 杨帅, 马燕, 王岚, 孙桂芬, 胡守毅. 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. 烟草科技, 2012, 48(8): 60-65  
Zhang T, Duan R X, Chen J X, Zhang X, Xu Y, Yang S, Ma Y, Wang L, Sun G F, Hu S Y. Correlation, stepwise regression and path analysis of twenty-five chemical components in cured tobacco leaves with tar. Tobacco Science & Technology, 2012, 48(8): 60-65
- [29] 郭东锋, 姚忠达, 汪季涛, 杨波, 舒俊生. 烤烟烟叶常规化学成分与主流烟气成分的关系. 烟草科技, 2013, 49(2): 26-32  
Guo D F, Yao Z D, Wang J T, Yang B, Shu J S. Relationships between routine chemical components in flue-cured tobacco and components in mainstream cigarette smoke. Tobacco Science & Technology, 2013, 49(2): 26-32

~~~~~  
(上接 922 页)

- [32] 颜廷献, 乐美旺, 饶月亮, 孙建, 颜小文, 周红英. 芝麻育种技术研究进展. 中国农学通报, 2010, 26(18): 146-151  
Yan T X, Le M W, Rao Y L, Sun J, Yan X W, Zhou H Y. Advances in breeding technique of sesame. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(18): 146-151
- [33] 孙建, 颜廷献, 高德学, 杨光宇, 徐桂真, 刘文萍, 乐美旺, 饶月亮, 颜小文, 周红英. 芝麻繁育特性研究 I: 天然异交率的测定. 中国油料作物学报, 2015, 37(4): 462-466  
Sun J, Yan T X, Gao D X, Yang G Y, Xu G Z, Liu W P, Le M W, Rao Y L, Yan X W, Zhou H Y. Breeding characteristics of *Sesamum indicum* L. I: Estimations of spontaneous outcrossing rates. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(4): 462-466
- [34] 孙建, 魏星, 乐美旺, 周红英, 饶月亮, 颜廷献, 颜小文. 芝麻繁育特性研究 II: 异花传粉媒介的确定. 作物杂志, 2015(3): 36-40  
Sun J, Wei X, Le M W, Zhou H Y, Rao Y L, Yan T X, Yan X W. Study on breeding characteristics of *Sesamum indicum* L. II: Ascertain of cross-pollination vectors. Crops, 2015(3): 36-40
- [35] 张艳欣, 王林海, 吕海霞, 张晓燕, 柯涛, 董彩华, 张秀荣. 基于 EST-SSR 研究芝麻地方种质不同大小繁殖群体间多态性. 中国农学通报, 2011, 27(18): 90-93  
Zhang Y X, Wang L H, Lv H X, Zhang X Y, Ke T, Dong C H, Zhang X R. Study on polymorphism of different reproduction populations of sesame (*Sesamum indicum* L.) landrace based on EST-SSR. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(18): 90-93
- [36] 孙建, 颜廷献, 叶艳英, 梁俊超, 乐美旺, 饶月亮, 颜小文, 周红英. 利用 SRAP 标记研究繁殖群体量对芝麻种质资源遗传完整性的影响. 热带作物学报, 2020, 41(3): 464-473  
Sun J, Yan T X, Ye Y Y, Liang J C, Le M W, Rao Y L, Yan X W, Zhou H Y. Effects of regeneration population on the genetic integrity of sesame germplasm using SRAP markers. Chinese Journal Tropical Crops, 2020, 41(3): 464-473