

# 烤烟苯丙氨酸类致香物质与土壤理化性状的典型相关分析<sup>①</sup>

叶协锋<sup>1</sup>, 李佳颖<sup>1</sup>, 张腾<sup>1</sup>, 孟琦<sup>1</sup>, 王维超<sup>2</sup>, 王英元<sup>3</sup>, 孙永军<sup>2</sup>, 于建军<sup>1\*</sup>

(1 河南农业大学烟草学院/国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002; 2 襄城县烟草公司, 河南许昌 452670;

3 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001)

**摘要:**通过分析河南省 12 个烟区土壤与烟叶各 335 个样品的测试数据, 采用典型相关分析方法研究了烤烟苯丙氨酸类致香物质含量与土壤理化性状之间的关系。结果表明: 苯甲醛、苯乙醇与土壤速效钾含量、粒径 0.05 ~ 0.001 mm 的土壤颗粒含量呈正相关, 与 pH、镁、钙、铁、铝、钠含量呈负相关; 苯甲醇与速效钾含量呈负相关, 与钠含量呈正相关; 苯乙醛与土壤理化性状的各项指标无显著相关性。

**关键词:** 烤烟; 苯丙氨酸; 土壤理化性状; 典型相关分析

中图分类号: S572

烟叶的香味是反映烟叶品质和工业可用性的重要指标。烟叶的中性致香成分很多, 虽然大多物质含量很少, 但其可能是某些特征香气的重要来源, 并对烟叶的香吃味有较大的影响<sup>[1]</sup>, 进而影响烟叶的评吸质量<sup>[2-3]</sup>。苯丙氨酸是烟叶中重要的中性致香物质苯甲醇、苯乙醇等的前体物。烟叶中苯丙氨酸的代谢转化是影响香味的重要过程之一, 苯丙氨酸的代谢产物如苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙醛是烟草中含量较丰富的香味成分之一<sup>[4]</sup>。

苯丙氨酸类致香物质对烤烟香气具有良好的影响, 尤其是对烤烟的果香、清香贡献最大<sup>[5]</sup>。苯甲醇具有弱花香, 苯乙醇带有辛香、坚果香和玫瑰花香, 苯甲醛散发杏仁香和樱桃香, 苯乙醛具有皂香和焦香<sup>[6]</sup>。苯丙氨酸类致香物质赋予烟叶特别的香味, 在改善烟草香味方面很有益处<sup>[2]</sup>。

同其他致香物质一样, 苯丙氨酸类致香物质受基因型和生态环境的影响, 如品种、生态条件、栽培措施、调制方法等<sup>[7-11]</sup>。土壤养分状况也是影响烟叶品质和烟叶香吃味的重要因素, 但土壤与香气物质关系的研究, 尤其是土壤理化性状与苯丙氨酸类致香物质含量关系的研究鲜有报道。周冀衡等<sup>[8]</sup>研究发现苯丙氨酸类致香物质在北方烟区具有浓香型特色的烟叶中含量较高。因此, 在浓香型特色烟叶开发重大专项全面启动的大背景下, 本研究系统研究了烤后烟叶苯丙氨酸类致香物质含量与土壤理化性状的关系, 旨在

为提高和改善我国浓香型烟叶香气品质和提高卷烟安全性提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集和制备

2008 年在河南省许昌、平顶山、洛阳、南阳、三门峡、漯河、驻马店、周口、济源、信阳、商丘、郑州等 12 个烟区, 使用 GPS 定位技术, 采集有代表性的土壤样品 335 个。土壤样品的采集时间选在地块尚未施用底肥和烟草移栽之前, 以反映采样地块的真实养分状况和供肥能力, 同时避开雨季。采用五点法分别采集耕层 0 ~ 20 cm 的土壤, 采用五点取样法保留每块烟田的混合土样 2.0 kg, 经风干、磨细、过筛、混匀、装瓶后备用。

在采集土壤的烟田, 对应采集烟叶样品 335 个(烟株自上而下第 8 ~ 12 叶位)每个烟叶样品 5.0 kg, 并用牛皮纸包好。样品于 42 °C 烘干至恒重、去主脉粉碎、过 60 目筛、混匀, 备用。

### 1.2 测定项目与方法

**1.2.1 土壤指标分析方法** 土壤 pH、有机质、有效氮、速效磷、速效钾、全氮、氯、阳离子交换量、机械组成、全钾、全磷、铝、钙、铁、镁、锰、钠、硅、钛等均采用常规方法测定<sup>[12]</sup>, 委托河南省农科院土肥所完成分析测定。

**1.2.2 苯丙氨酸类致香物质的测定方法** (1) 样

基金项目: 国家烟草专卖局重点科研项目(110200401017, 110200401021)资助。

\* 通讯作者(yuji5655@163.com)

作者简介: 叶协锋(1979—), 男, 河南郑县人, 讲师, 博士研究生, 主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: yexiefeng@163.com

品前处理。叶片粉末状样品 水蒸气蒸馏 二氯甲烷萃取(10 g 烟叶粉末+1 g 柠檬酸+350 ml 蒸馏水+0.5 ml 内标于 500 ml 圆底烧瓶中, 再加 60 ml 二氯甲烷于另一支 250 ml 圆底烧瓶中, 60 ℃ 水浴加热 250 ml 圆底烧瓶, 用同时蒸馏萃取仪蒸馏萃取) 无水硫酸钠干燥有机相 60 ℃ 水浴浓缩至 1 ml 左右即得烟叶的精油。经前处理制备得到的分析样品, 由 GC/MS 鉴定结果和 NIST 库检索定性。

(2) 测定方法及仪器条件。苯丙氨酸类致香物质由国家烟草栽培生理生化研究基地采用内标法进行测定, 内标为硝基苯。所用仪器为 HP5890-5972 气质联用仪。GC/MS 分析条件: 色谱柱: HP-5(60 m × 0.25 mm i.d. × 0.25 μm d.f.); 载气及流速: He, 0.8 ml/min; 进样口温度: 250 ℃; 传输线温度: 280 ℃; 离子源温度: 177 ℃; 升温程序: 50 ℃, 2 min 后, 以每分钟 2 ℃ 的速度升至 120 ℃, 5 min 后再以 2 ℃/min 的速度升至 240 ℃, 30 min; 分流比和进样量 1:15, 2 μl; 电离能 70eV; 质量数范围 50 ~ 500 amu; MS 谱库 NIST02; 采用内标法定量。

### 1.3 统计分析方法

为了研究苯丙氨酸类致香物质与土壤理化指标分组间的相关关系, 将所有指标分为 4 组变量。第 1 组变量为苯丙氨酸类致香物质, 包括苯甲醛( $t_1$ )、苯甲醇( $t_2$ )、苯乙醛( $t_3$ )、苯乙醇( $t_4$ ), 第 2 组变量为土壤基础养分指标, 包括 pH( $x_1$ )、有机质( $x_2$ )、全氮( $x_3$ )、全磷( $x_4$ )、全钾( $x_5$ )、有效氮( $x_6$ )、速效磷( $x_7$ )、速效钾( $x_8$ )、氯离子( $x_9$ ), 把土壤阳离子交换量及颗粒组成包括阳离子交换量( $y_1$ )、粒径 > 0.1 mm( $y_2$ )、粒径 0.1 ~ 0.05 mm( $y_3$ )、粒径 0.05 ~ 0.01 mm( $y_4$ )、粒径 0.1 ~ 0.001 mm( $y_5$ )、粒径 < 0.001 mm( $y_6$ ) 的土壤颗粒含量看作第 3 组变量, 第 4 组变量为土壤矿质元素指标, 包括铝( $z_1$ )、钙( $z_2$ )、铁( $z_3$ )、镁( $z_4$ )、锰( $z_5$ )、钠( $z_6$ )、硅( $z_7$ )、钛( $z_8$ ), 采用 DPS<sup>[13]</sup> 软件将第 1 组变量与其他 3 组变量进行典型相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 烟叶中苯丙氨酸类致香物质的描述性统计分析

由表 1 可以看出, 烟叶样品中苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛和苯乙醇的平均含量分别为 1.18、8.20、5.50 和 4.92 μg/g。不同烟叶样品中苯丙氨酸类致香物质的差异均较大, 苯甲醛的变异最大(67.61%), 苯乙醇次之(66.34%), 苯乙醛的变异最小, 但变异系数也达到了 51.58%。苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛和苯乙醇的偏度系数均为正值, 为正向偏态峰; 4 种致香物质的峰度系数均大于 0, 为尖峭峰, 数据大多数集中在平均值附近。

### 2.2 土壤基础养分与苯丙氨酸类致香物质的关系分析

**2.2.1 土壤基础养分含量的描述性统计分析** 由表 2 可见: 土壤样品 pH 的平均值为 7.17, 为中性至偏碱性; 土壤有机质、全氮、全磷和全钾的平均含量分别为 12.75、0.73、0.60 和 18.28 g/kg, 有效氮、速效磷、速效钾和氯的平均含量分别为 59.49、13.53、142.32 和 35.85 mg/kg。速效磷的变异系数最大(75.63%), 土壤全磷的变异系数次之(58.76%), 土壤 pH 和全钾含量变异系数相对较小, 分别为 10.60% 和 12.03%。土壤 pH 和全钾含量的偏度系数小于 0, 为负向偏态峰; 土壤基础养分的其他 7 项指标的偏度系数均大于 0, 为正向偏态峰。pH 的峰度系数小于 0, 为平阔峰; 其他 8 项指标的峰度系数均大于 0, 为尖峭峰, 数据大多集中在平均值附近。

**2.2.2 土壤基础养分与苯丙氨酸类致香物质的典型相关分析** 将土壤基础养分含量与苯丙氨酸类致香物质含量进行典型相关分析, 分析结果见表 3。从表 3 可以看出, 典型变量 I 和 II 的相关系数都达到了  $P < 0.01$  的极显著水平, 相关系数分别为 0.625 8\*\* 和 0.271 0\*\*, 其余的 2 组典型变量则不显著。因此, 典型变量 I 和 II 进行主要分析。

表 1 烟叶中苯丙氨酸类致香物质的描述性统计分析(μg/g)  
Table 1 Descriptive statistics of aroma aminophenol contents in flue-cured tobacco leaves

致香物质	编号	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)	偏度系数	峰度系数
苯甲醛	$t_1$	315	0.00	4.93	1.18	0.80	67.61	1.21	2.47
苯甲醇	$t_2$	335	2.14	31.46	8.20	5.39	65.80	1.53	2.41
苯乙醛	$t_3$	335	0.99	15.74	5.50	2.84	51.58	1.17	1.06
苯乙醇	$t_4$	335	0.98	17.40	4.92	3.26	66.34	1.28	1.00

表 2 土壤基础养分含量的描述性统计分析  
Table 2 Descriptive statistics of soil nutrient contents

土壤性状	编号	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)	偏度系数	峰度系数
pH	$x_1$	335	5.15	8.30	7.17	0.76	10.60	-0.69	-0.51
有机质(g/kg)	$x_2$	335	5.40	36.10	12.75	3.40	26.70	2.09	11.23
全氮(g/kg)	$x_3$	335	0.23	2.03	0.73	0.18	24.43	1.68	9.12
全磷(g/kg)	$x_4$	335	0.24	5.99	0.60	0.35	58.76	10.75	162.00
全钾(g/kg)	$x_5$	335	9.89	27.54	18.28	2.20	12.03	-0.06	1.77
有效氮(mg/kg)	$x_6$	335	23.16	102.06	59.49	14.92	25.08	0.31	0.02
速效磷(mg/kg)	$x_7$	335	2.13	101.21	13.53	10.24	75.63	3.15	18.12
速效钾(mg/kg)	$x_8$	335	32.35	868.22	142.32	78.28	55.00	4.08	27.99
氯(mg/kg)	$x_9$	334	7.10	88.24	35.85	14.82	41.33	0.98	1.27

采用标准化的典型系数得出典型相关模型  $m_i$  和  $l_i$ ，然后分别计算原始变量与典型变量之间的相关系数  $r_{ui}$  和  $r_{vi}$ 。结果见表 3，由表 3 可知，典型变量 I 的构成为：

$$u_1 = -0.878x_1 + 0.154x_2 + 0.006x_3 - 0.027x_4 - 0.105x_5 + 0.057x_6 + 0.001x_7 + 0.236x_8 + 0.095x_9$$

$$v_1 = 0.414t_1 - 0.023t_2 - 0.205t_3 + 0.833t_4$$

在达到极显著水平的典型变量 I( $u_1, v_1$ )中，由  $u_1$  与原始数据  $x_i$  的相关系数可以看出， $u_1$  与土壤 pH( $x_1$ )存在较高的负相关，相关系数为-0.932，故  $u_1$  可理解为主要描述了土壤 pH 高低的综合性状，即随着土壤 pH 的提高， $u_1$  存在明显的降低趋势。由  $v_1$  与原始数据  $t_i$  的相关系数可以看出，它与苯乙醇( $t_4$ )

和苯甲醛( $t_1$ )含量的相关性较高，相关系数分别 0.952 和 0.854，因此  $v_1$  可以理解为描述了烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醛的综合性状。即随着烟叶中苯乙醇和苯甲醛含量的提高， $v_1$  存在明显的增高趋势。上述的线性组合说明土壤 pH 与烤后烟叶苯乙醇和苯甲醛含量关系密切，反映出在一定 pH 范围内(5.15 ~ 8.30)，随着土壤 pH 值的提高，烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醛含量呈现降低趋势。

达到极显著水平的典型变量 的构成如下：

$$u_2 = 0.376x_1 + 0.351x_2 - 0.054x_3 + 0.137x_4 - 0.315x_5 + 0.332x_6 - 0.283x_7 + 0.666x_8 + 0.059x_9$$

$$v_2 = 0.793t_1 - 1.307t_2 + 0.193t_3 + 0.242t_4$$

在典型变量 ( $u_2, v_2$ )中，由  $u_2$  与原始数据  $x_i$  的

表 3 土壤基础养分含量与苯丙氨酸类物质含量典型相关分析

Table 3 Canonical correlation between soil nutrients and aroma constituents of aroma aminophenol in flue-cured tobacco leaves

土壤性状	典型变量 I $\lambda = 0.6258^{**}$		典型变量 II $\lambda = 0.2710^{**}$		典型变量 III $\lambda = 0.2291$		典型变量 IV $\lambda = 0.1031$	
	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$
$x_1$	-0.878	-0.932	0.376	0.335	0.115	0.080	-0.018	-0.027
$x_2$	0.154	0.298	0.351	0.570	-0.123	0.045	0.129	-0.188
$x_3$	0.005	0.253	-0.054	0.461	0.570	0.271	-0.528	-0.426
$x_4$	-0.027	-0.188	0.137	0.300	-0.529	-0.354	-0.628	-0.559
$x_5$	-0.105	-0.463	-0.315	0.014	-0.112	-0.037	0.301	0.140
$x_6$	0.057	0.311	0.332	0.493	-0.826	-0.606	0.278	0.099
$x_7$	0.001	0.379	-0.283	0.008	-0.010	0.056	0.071	-0.085
$x_8$	0.236	0.201	0.666	0.742	0.432	0.329	0.383	0.222
$x_9$	0.095	0.160	0.059	0.109	0.137	0.060	-0.565	-0.527

  

土壤性状	典型变量 I $\lambda = 0.6258^{**}$		典型变量 II $\lambda = 0.2710^{**}$		典型变量 III $\lambda = 0.2291$		典型变量 IV $\lambda = 0.1031$	
	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$
$t_1$	0.414	0.854	0.793	0.409	-0.733	-0.304	0.946	0.105
$t_2$	-0.023	0.787	-1.307	-0.561	-1.443	-0.248	1.099	-0.067
$t_3$	-0.205	0.628	0.193	-0.018	-0.751	-0.467	-1.257	-0.622
$t_4$	0.833	0.952	0.242	-0.223	2.346	0.029	-0.927	-0.207

注：表中  $\lambda$  为典型相关系数，\*\*表示在  $P < 0.01$  水平极显著相关；\*表示在  $P < 0.05$  水平显著相关，下同。

相关系数可以看出,  $u_2$  与土壤速效钾( $x_8$ )存在较高的正相关性, 相关系数为 0.742, 故  $u_2$  可理解为主要描述了土壤速效钾含量高低的综合性状, 即随着土壤有机质含量的提高,  $u_2$  存在明显的增加趋势。由  $v_2$  与原始数据  $t_i$  的相关系数可以看出,  $u_2$  与苯甲醇( $t_2$ )存在较高的负相关, 与苯甲醛( $t_1$ )存在较高的正相关, 相关系数分别为-0.561 和 0.409, 因此  $v_2$  可以理解为描述了烤后烟叶中苯甲醇和苯甲醛含量的综合性状。即随着烟叶中苯甲醇含量的降低和苯甲醛含量的增加,  $v_2$  存在明显的增加趋势。上述线性组合说明土壤中速效钾含量与烤后烟叶中苯甲醇和苯甲醛含量关系密切, 反映出在一定范围内, 随着土壤速效钾含量的提高, 烤后烟叶中苯甲醇呈降低的趋势, 而苯甲醛含量呈现增加的趋势。

### 2.3 土壤阳离子交换量及颗粒组成与苯丙氨酸类致香物质的关系分析

**2.3.1 土壤阳离子交换量及颗粒组成的描述性统计分析** 由表 4 可知, 土壤性状  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $y_4$ 、 $y_5$  和  $y_6$  的平均值分别为 13.93 cmol/kg、56.30 g/kg、44.80 g/kg、447.60 g/kg、235.50 g/kg、215.90 g/kg。土壤阳离子交换量及颗粒组成的含量的变异系数均较大, 粒径 >0.1 mm 颗粒含量( $y_2$ )的变异系数最大(175.15%), 粒径 0.05 ~ 0.01 mm 颗粒含量( $y_4$ )变异系数相对较小, 但也达到了 25.75%。粒径 0.05 ~ 0.01 mm 颗粒含量( $y_4$ )的偏度系数为负值, 为负向偏态峰; 其他 5 项指标的偏度系数均为正值, 为正向偏态峰。阳离子交换量( $y_1$ )的峰度系数小于 0(-0.32), 为平阔峰; 其他 5 项指标的峰度系数均大于 0, 为尖峭峰, 数据大多集中在平均值附近。

**2.3.2 土壤阳离子交换量及颗粒组成与苯丙氨酸类致香物质的典型相关分析** 将土壤阳离子交换量及颗粒组成与苯丙氨酸类致香物质含量进行典型相关分析, 分析结果见表 5。从表 5 中可以看出, 典型

变量 I 和 II 相关系数均达到了  $P < 0.01$  的极显著水平, 相关系数分别为 0.380 6\*\* 和 0.303 4\*\*, 后面的 2 组典型变量则不显著。因此, 选择典型变量 I 和 II 进行主要分析。

由表 5 可知, 典型变量 I 的构成如下:

$$u_1 = 0.006y_1 + 0.992y_2 - 0.053y_3 + 0.794y_4 + 1.191y_5 + 0.234y_6$$

$$v_1 = 0.915t_1 + 0.045t_2 - 0.765t_3 + 0.541t_4$$

在达到极显著水平的典型变量 I( $u_1$ ,  $v_1$ )中, 由  $u_1$  与原始数据  $y_i$  的相关系数可以看出,  $u_1$  与土壤粒径 0.01 ~ 0.001 mm 颗粒含量( $y_5$ )存在较高的正相关, 相关系数为 0.723, 故  $u_1$  可理解为主要描述了土壤粒径 0.01 ~ 0.001 mm 颗粒含量的综合性状, 即随着土壤粒径 0.01 ~ 0.001 mm 颗粒含量的提高,  $u_1$  存在明显的增加趋势。由  $v_1$  与原始数据  $t_i$  的相关系数可以看出, 它与苯甲醛( $t_1$ )和苯乙醇( $t_4$ )的相关性较高, 相关系数分别为 0.849 和 0.665, 因此  $v_1$  可以理解为描述了烤后烟叶中苯甲醛和苯乙醇含量的综合性状。即随着烟叶中苯甲醛和苯乙醇含量的提高,  $v_1$  存在明显的增加趋势。这一线性组合说明, 粒径 0.01 ~ 0.001 mm 颗粒含量与烤后烟叶苯甲醛的含量关系密切, 反映出在一定范围内(20.20 ~ 585.90 g/kg), 随着土壤粒径 0.01 ~ 0.001 mm 颗粒含量的提高, 烤后烟叶中苯甲醛和苯乙醇含量呈现增加的趋势。

达到极显著水平的典型变量 II 的构成如下:

$$u_2 = -0.187y_1 - 0.661y_2 - 0.543y_3 - 1.903y_4 - 0.667y_5 - 0.801y_6$$

$$v_2 = 0.745t_1 - 0.787t_2 - 0.282t_3 - 0.291t_4$$

在典型变量 II( $u_2$ ,  $v_2$ )中, 由  $u_2$  与原始数据  $y_i$  的相关系数可以看出,  $u_2$  与粒径 0.05 ~ 0.01 mm 土壤颗粒含量( $y_4$ )存在较高的负相关性, 相关系数为-0.951, 故  $u_2$  可理解为主要描述了粒径 0.05 ~ 0.01 mm 土壤颗粒含量的综合性状, 即随着粒径 0.05 ~ 0.01 mm 土壤颗粒含量的提高,  $u_2$  存在明显的降低趋势。由  $v_2$  与

表 4 土壤阳离子交换量及颗粒组成的描述性统计分析  
Table 4 Descriptive statistics of CEC and particle size sizes

土壤性状	编号	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)	偏度系数	峰度系数
CEC(cmol/kg)	$y_1$	335	2.40	29.01	13.93	4.93	35.39	0.10	-0.32
>0.1 mm 颗粒(g/kg)	$y_2$	335	0.10	800.30	56.30	9.86	175.15	4.48	25.32
0.1 ~ 0.05 mm 颗粒(g/kg)	$y_3$	335	0.20	326.40	44.80	4.85	108.27	2.15	6.20
0.05 ~ 0.01 mm 颗粒(g/kg)	$y_4$	335	40.40	828.30	447.60	11.52	25.75	-0.35	0.43
0.01 ~ 0.001 mm 颗粒(g/kg)	$y_5$	335	20.20	585.90	235.50	7.48	31.76	0.20	1.80
<0.001 mm 颗粒(g/kg)	$y_6$	335	18.70	523.20	215.90	9.90	45.86	0.66	0.15

表 5 土壤阳离子交换量及颗粒组成与烤烟苯丙氨酸类致香物质的典型相关分析

Table 5 Canonical variables and their correlation coefficients with related properties

土壤性状	典型变量 I $\lambda = 0.380 6^{**}$		典型变量 II $\lambda = 0.303 4^{**}$		典型变量 III $\lambda = 0.150 2$		典型变量 IV $\lambda = 0.067 2$	
	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$
$y_1$	0.006	0.036	-0.187	0.104	-1.027	-0.268	-0.290	-0.739
$y_2$	0.992	0.155	-0.661	0.609	-4.865	-0.354	-2.216	0.449
$y_3$	-0.053	-0.664	-0.543	0.002	-2.610	-0.249	-0.758	0.544
$y_4$	0.794	0.072	-1.903	-0.951	-5.140	0.087	-2.909	0.186
$y_5$	1.191	0.723	-0.667	0.038	-3.174	0.197	-1.775	-0.326
$y_6$	0.234	-0.460	-0.801	0.450	-3.754	0.154	-2.924	-0.738

  

土壤性状	典型变量 I $\lambda = 0.380 6^{**}$		典型变量 II $\lambda = 0.303 4^{**}$		典型变量 III $\lambda = 0.150 2$		典型变量 IV $\lambda = 0.067 2$	
	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$
$t_1$	0.915	0.849	0.745	-0.029	-0.882	-0.134	0.247	0.510
$t_2$	0.045	0.483	-0.787	-0.849	-1.990	-0.188	-0.644	0.099
$t_3$	-0.765	0.207	-0.282	-0.560	-0.036	-0.033	1.248	0.801
$t_4$	0.541	0.665	-0.291	-0.672	2.585	0.196	-0.237	0.262

原始数据  $t_i$  的相关系数可以看出，它与苯甲醇( $t_2$ )的相关性较高，相关系数为-0.849，因此  $v_2$  可以理解为描述了烤后烟叶中苯甲醇含量的综合性状，即随着烟叶中苯甲醇含量的提高， $v_2$  存在明显的降低趋势。这一线性组合说明粒径 0.05 ~ 0.01 mm 土壤颗粒含量与烤后烟叶中苯甲醇含量关系密切，反映出在一定范围内(40.40 ~ 828.30 g/kg)，随着粒径 0.05 ~ 0.01 mm 土壤颗粒含量的提高，烤后烟叶中苯甲醇含量呈现增加的趋势。

### 2.4 土壤矿质元素与苯丙氨酸类致香物质的关系分析

**2.4.1 土壤矿质元素含量的描述性统计分析** 由表 6 可知，土壤样品中 Al、Ca、Fe、Mg、Mn、Na、Si 和 Ti 矿质元素的平均含量分别为 64.98、6.89、30.99、8.60、0.63、11.23、296.91 和 4.39 mg/kg。矿

质元素变异系数由大到小的顺序依次为：Ca>Mn>Na>Mg>Fe>Al>Ti>Si。Al 和 Si 的偏度系数为负值，为负向偏态峰；其他 6 种矿质元素的偏度系数均为正值，为正向偏态峰。Al、Ca 和 Fe 的峰度系数小于 0，为平阔峰，数据比较分散；其他 5 种矿质元素的峰度系数均大于 0，为尖锐峰，数据大多数集中在平均值附近。

**2.4.2 土壤矿质元素与苯丙氨酸类致香物质的典型相关分析** 将土壤矿质元素与苯丙氨酸类致香物质含量进行典型相关分析，分析结果见表 7。从表 7 中可以看出，典型变量 I 和 II 相关系数都达到了  $P<0.01$  的极显著水平，相关系数分别为 0.508 4<sup>\*\*</sup>和 0.425 7<sup>\*\*</sup>，后面的 2 组典型变量则不显著。因此，典型变量 I 和 II 进行主要分析。

由表 7 可知，典型变量 I 的构成如下：

表 6 土壤矿质元素含量的描述性统计

Table 6 Descriptive statistics of soil mineral element contents

土壤性状	编号	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)	偏度系数	峰度系数
Al(mg/kg)	$z_1$	335	34.77	87.66	64.98	8.85	13.62	-0.25	-0.03
Ca(mg/kg)	$z_2$	335	2.28	16.21	6.89	3.03	44.02	0.61	-0.56
Fe(mg/kg)	$z_3$	335	15.81	49.11	30.99	6.81	21.98	0.10	-0.60
Mg(mg/kg)	$z_4$	335	3.65	23.47	8.60	2.53	29.47	0.73	2.49
Mn(mg/kg)	$z_5$	335	0.27	3.60	0.63	0.24	38.21	6.26	71.47
Na(mg/kg)	$z_6$	335	3.09	31.19	11.23	4.16	37.07	2.21	6.99
Si(mg/kg)	$z_7$	335	180.59	390.96	296.91	22.43	7.55	-0.70	3.86
Ti(mg/kg)	$z_8$	335	2.17	8.17	4.39	0.53	12.18	0.87	9.43

表 7 土壤矿质元素与烤烟苯丙氨酸类致香物质的典型相关分析

Table 7 Canonical correlation between soil mineral elements and aroma constituents of aroma aminophenol in flue-cured tobacco leaves

土壤性状	典型变量 I $\lambda = 0.5084^{**}$		典型变量 II $\lambda = 0.4257^{**}$		典型变量 III $\lambda = 0.2055$		典型变量 IV $\lambda = 0.1311$	
	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$	$m_i$	$r_{ui}$
$z_1$	0.126	-0.675	-0.970	0.244	-0.311	-0.322	2.247	-0.032
$z_2$	-0.519	-0.782	-0.825	-0.238	-0.864	-0.094	0.117	0.274
$z_3$	-0.958	-0.720	0.762	0.393	0.263	-0.334	-3.774	-0.140
$z_4$	0.121	-0.792	0.923	0.261	0.800	0.089	1.071	0.293
$z_5$	-0.138	-0.413	0.056	0.321	-0.021	-0.393	0.479	0.126
$z_6$	-0.262	0.018	-0.662	-0.790	0.505	0.328	-0.362	-0.071
$z_7$	0.162	0.140	0.131	-0.152	-0.427	-0.527	-0.619	-0.169
$z_8$	0.322	0.032	-0.131	0.161	-0.633	-0.687	0.930	0.007

  

土壤性状	典型变量 I $\lambda = 0.5084^{**}$		典型变量 II $\lambda = 0.4257^{**}$		典型变量 III $\lambda = 0.2055$		典型变量 IV $\lambda = 0.1311$	
	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$	$l_i$	$r_{vi}$
$t_1$	0.159	0.739	0.836	0.476	-0.315	0.158	-1.187	-0.450
$t_2$	0.051	0.860	-1.333	-0.464	-0.801	0.004	-1.605	-0.213
$t_3$	-0.202	0.630	-0.297	-0.153	1.440	0.730	-0.139	-0.217
$t_4$	0.978	0.988	0.725	-0.085	0.015	0.125	2.374	0.039

$$u_1 = 0.126z_1 - 0.519z_2 - 0.958z_3 + 0.121z_4 - 0.138z_5 - 0.262z_6 + 0.162z_7 + 0.322z_8$$

$$v_1 = 0.159t_1 + 0.051t_2 - 0.202t_3 + 0.978t_4$$

在达到极显著水平的典型变量 I( $u_1, v_1$ )中,由  $u_1$  与原始数据  $z_i$  的相关系数可以看出,  $u_1$  与土壤 Mg( $z_4$ )、Ca( $z_2$ )、Fe( $z_3$ )、Al( $z_1$ )含量存在较高的负相关,相关系数分别为-0.792、-0.782、-0.720、-0.675,故  $u_1$  可以解释为主要描述了土壤 Mg、Ca、Fe、Al 含量高低的综合性状,即随着土壤 Mg、Ca、Fe、Al 含量的提高,  $u_1$  存在明显的降低趋势。由  $v_1$  与原始数据  $t_i$  的相关系数可以看出,它与苯乙醇( $t_4$ )和苯甲醇( $t_2$ )存在较高的正相关,相关系数分别为 0.988 和 0.860,因此  $v_1$  可以理解为描述了烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醇含量的综合性状,即随着烟叶中苯乙醇和苯甲醇含量的提高,  $v_1$  存在明显的增加趋势。这一线性组合说明,土壤 Mg、Ca、Fe、Al 含量与烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醇含量关系密切,反映出在一定范围内,随着土壤 Mg、Ca、Fe、Al 含量的提高,烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醇含量呈现降低的趋势。

达到极显著水平的典型变量 II 的构成如下:

$$u_2 = -0.970z_1 - 0.825z_2 + 0.762z_3 + 0.923z_4 + 0.056z_5 - 0.662z_6 + 0.131z_7 - 0.131z_8$$

$$v_2 = 0.836t_1 - 1.333t_2 - 0.297t_3 + 0.725t_4$$

在典型变量 II ( $u_2, v_2$ )中,由  $u_2$  与原始数据  $z_i$  的相关系数可以看出,  $u_2$  与土壤钠( $z_6$ )含量存在较高的负相关,相关系数为-0.790,故  $u_2$  可以理解为主要描

述了土壤 Na 含量高低的综合性状,即随着土壤 Na 含量的提高,  $u_2$  存在明显的降低趋势。由  $v_2$  与原始数据  $t_i$  的相关系数可以看出,它与苯甲醛( $t_1$ )存在较高的正相关,与苯甲醇( $t_2$ )存在较高的负相关,相关系数分别为 0.476 和-0.464,因此  $v_2$  可以理解为描述了烤后烟叶中苯甲醛和苯甲醇含量的综合性状,即随着烟叶中苯甲醛含量的降低和苯甲醇含量的增加  $v_2$  存在明显的降低趋势。这一线性组合说明土壤 Na 含量与烤后烟叶中苯甲醛和苯甲醇含量关系密切,反映出在一定范围内(3.09 ~ 31.19 mg/kg),随着土壤 Na 含量的提高,烤后烟叶中苯甲醛的含量呈现降低的趋势,而苯甲醇的含量呈现增加的趋势。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 土壤 pH 和速效钾与苯丙氨酸类致香物质的关系分析

土壤 pH 对土壤养分的存在形态、转化和有效性以及土壤的物理性质都有很大的影响。其总的趋势是,土壤酸性越强,则土壤有效养分越多。全国烟草种植区划研究认为,烟草适宜的土壤 pH 为 5.0 ~ 7.0,最适宜的土壤 pH 为 5.5 ~ 6.5<sup>[14]</sup>。本研究结果表明,在一定 pH 范围内(5.15 ~ 8.30)随着土壤 pH 的提高,烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醛含量呈现降低的趋势。这说明烟草生长在弱酸性到中性的土壤环境中,更有利于提高烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醛的含量。

钾是烟草的品质元素,烟叶含钾量是国际上衡量烟叶质量的重要指标之一。土壤水溶性钾和交换性钾在植物营养上统称为速效钾<sup>[15]</sup>。刘国顺等<sup>[16]</sup>研究表明,烟叶的中性香气成分含量与土壤施钾量和烤后烟叶钾含量都呈正相关关系。李志勇和刘思英<sup>[17]</sup>认为,烟叶含钾量与施钾量呈直线正相关,其密切程度受土壤速效钾含量的影响。但有不少研究表明,烟叶含钾量不因钾肥用量的增加而呈规律性变化。毕志忠等<sup>[18]</sup>认为,在土壤速效钾含量较高的情况下,一方面烤烟对钾素作奢侈吸收,另一方面由于烟株根系活力的变化,烟株对钾的吸收规律呈现为非线性关系。本研究结果表明,在一定速效钾含量范围内(32.35 ~ 868.22 mg/kg),随着土壤速效钾含量的提高,苯甲醛含量呈现增加的趋势。因此,对植烟土壤速效钾含量的正确评价和结合土壤养分状况,有针对性地施用钾肥对生产优质烤烟和提高烟叶中苯丙氨酸类致香物质就显得尤为重要。

张广富等<sup>[19]</sup>研究认为,随着土壤中施钾量的增加,苯丙氨酸类致香物质总量呈现先降低后升高的趋势。本研究结果表明,在一定范围内(32.35 ~ 868.22 mg/kg),随着土壤中速效钾含量的增加,烤后烟叶中苯甲醇含量呈现降低的趋势。这可能是由于本次所采集的样品土壤速效钾含量大多分布在苯甲醇降低的趋势范围内,从而导致烟叶中苯甲醇含量呈现降低的趋势。

### 3.2 土壤颗粒组成与苯丙氨酸类致香物质的关系分析

土壤质地是土壤肥力水平的重要评价指标之一,可决定土壤蓄水、导水、保肥、供肥、保温、导温和耕性等重要性质<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,在一定范围内(80.80 ~ 929.30 g/kg),随着粒径 0.05 ~ 0.001 mm 土壤颗粒含量的提高,烤后烟叶中苯甲醛、苯乙醇和苯甲醇含量呈现增加的趋势。根据国际制土壤质地三角图<sup>[15]</sup>可以判断,随着粒径 0.05 ~ 0.001 mm 土壤颗粒含量的增加,土壤质地由黏土逐步过渡到黏壤土,同时也逐渐提高了烤后烟中苯甲醛、苯乙醇和苯甲醇的含量。黏土由于质地较重,导致其排水、通气性较差,而且养分供应迟缓,烟株前、中期生长缓慢,导致烟叶贪青晚熟,不利于优质烟叶的生产<sup>[14]</sup>。壤质土则兼具砂土类和黏土类的优点,耕层疏松,透气性良好,养分协调性好,壤土类是理想的植烟土壤类型。

### 3.3 土壤矿质元素与苯丙氨酸类致香物质的关系分析

矿物质营养是烟草生长必不可少的条件,矿质营

养状况与烟叶的产量和品质密切相关。Mg 能增加烟株叶绿素和类胡萝卜素含量,提高烟株的光合强度和蒸腾强度;Ca 是细胞代谢的总调节者,可维持烟株正常生长所需要的 pH<sup>[14]</sup>。Fe 是叶绿素合成所必需的,Al 是植物生长发育的有益元素,Na 能够影响植物水分平衡和细胞伸展,但如果土壤中某种元素浓度过高则会产生相应的毒害作用<sup>[21]</sup>。本研究结果表明,土壤 Mg、Ca、Fe、Al、Na 含量与烤后烟叶苯乙醇和苯甲醛含量关系密切,在一定范围内,随着土壤中 Mg、Ca、Fe、Al、Na 含量的升高,烤后烟叶中苯乙醇和苯甲醛含量呈现降低的趋势。这可能是由于土壤中 Mg 和 K、Ca 的拮抗作用,Ca 和 Mg 的协同作用,Fe<sup>2+</sup>的毒害,铝磷酸盐沉淀的形成等因素,导致烟叶中苯乙醇和苯甲醛含量呈现降低的趋势。

影响烟叶中苯丙氨酸类致香物质的主要土壤因子有土壤 pH、速效钾、Mg、Ca、Fe、Al、Na 等其他因素。本次的试验研究是在大量采集土壤和烟叶样品的情况下实施的,并采用典型相关分析了烤烟苯丙氨酸类致香物质含量与土壤理化性状的关系。为了进一步研究二者之间的关系,今后可以研究土壤成土母质、土壤质地、土壤类型、海拔高度等条件不同,而其他因素完全相同的条件下,土壤理化性状的差异变化,对烤后烟叶中苯丙氨酸类致香物质含量的影响。

### 参考文献:

- [1] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [2] 于建军, 庞天河, 章新军, 杨林波, 毕庆文, 何结望, 刘学芝. 鄂西南烤烟吸食质量与致香物质的关系[J]. 华中农业大学学报: 自然科学版, 2006, 25(4): 335-358
- [3] 胡建军, 周冀衡, 李文伟, 冯晓民. 烤烟香味成分与其感官质量的典型相关分析[J]. 烟草科技, 2007(3): 9-15
- [4] 赵铭钦. 卷烟调香学[M]. 北京: 科学出版社, 2008
- [5] 杨虹琦, 周冀衡, 杨述元, 王勇, 周清明, 罗泽民. 不同产区烤烟中主要潜香型物质对评吸质量的影响研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(1): 11-14
- [6] 史宏志, 刘国顺. 烟草香味学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 15-21
- [7] 于建军, 任晓红, 夏林. 金攀西优质烟开发区烤烟中性致香物质分析[J]. 中国烟草科学, 2005, 11(4): 11-13
- [8] 周冀衡, 杨虹琦, 林桂华, 杨述元. 不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 30(1): 20-23
- [9] 周淑平, 肖强, 陈叶君, 轩俊锋, 唐远驹. 不同生态地区初烤烟叶中重要致香物质的分析[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(1): 9-16
- [10] 孙福山. 烤烟调制过程中香气成分的研究及其应用技术探讨[J]. 中国烟草科学, 1997(3): 39-41

- [11] Stedman RL. The chemical composition of tobacco and tobacco smoke[J]. Chem. Rev., 1968, 8: 153-207
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [13] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 393-400
- [14] 闫克玉, 赵铭钦. 烟草原料学[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 89-91
- [15] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 205-208, 74-77
- [16] 刘国顺, 叶协锋, 王彦亭, 李雪利, 马丽霞. 不同钾肥施用量对烟叶香气成分含量的影响. 中国烟草科学[J], 2004(4): 1-4
- [17] 李志勇, 刘思英. 土壤速效钾含量与烤烟钾肥施用效用研究[J]. 中国烟草, 1996, 17(1): 40-44
- [18] 毕志忠, 杨序芳. 钾肥用量与烟叶含钾量关系的研究[J]. 贵州农业科学, 1994(4): 30-33
- [19] 张广富, 赵铭钦, 拓阳阳, 韩富根, 张迪. 种植密度和施钾量对烤烟中性致香物质含量的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 104-109
- [20] 胡国松, 郑伟, 王振. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 57-59
- [21] 陆景陵. 植物营养学(上册) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 78-82

## Canonical Correlation Between Aroma Aminophenol Contents in Flue-cured Tobacco Leaves and Soil Physicochemical Properties

YE Xie-feng<sup>1</sup>, LI Jia-ying<sup>1</sup>, ZHANG Teng<sup>1</sup>, Meng Qi<sup>1</sup>, WANG Wei-chao<sup>2</sup>, WANG Ying-yuan<sup>3</sup>,  
SUN Yong-jun<sup>2</sup>, YU Jian-jun<sup>1\*</sup>

(1 Tobacco College of Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Centre, Zhengzhou 450002, China; 2 Xiangcheng Tobacco Company of Henan, Xuchang, Henan 452670, China; 3 Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** 335 soil samples from 0-20 cm depths and their corresponding flue-cured tobacco samples from 8 to 12 leaf position were collected from 12 regions in Henan Province in 2008, and then canonical correlation analyses were conducted on the relations between aroma constituent contents of aroma aminophenol in flue-cured tobacco leaves and soil physicochemical properties. Results showed that benzaldehyde, phenethyl alcohol and soil available potassium, soil particle ratio between 0.05 mm and 0.001 mm were positively correlated, benzaldehyde, phenethyl alcohol and pH, Mg, Ca, Fe, Al, Na were negatively correlated, benzyl alcohol and sodium were positively correlated, benzyl alcohol and soil available potassium were negatively correlated, but no significant correlation existed between phenylacetaldehyde and soil physicochemical properties.

**Key words:** Flue-cured tobacco, Aroma aminophenol, Soil physicochemical properties, Canonical correlation analysis