

# 主流烟气氨释放量与烟叶中蛋白质和氨基酸含量相关性研究

赵砚棠, 于宏晓, 陈建军, 张东海,  
岳勇, 许锴霖, 李洪涛, 郑轩, 周仕禄, 徐海涛

山东中烟工业有限责任公司技术中心 济南市将军路 171 号 250100

**摘要:** 运用方差分析法研究了不同产区、不同部位烟叶中蛋白质、氨基酸含量和主流烟气中氨释放量的差异。采用描述统计、逐步回归分析、偏相关分析和通径分析研究了烟叶中蛋白质、氨基酸含量与主流烟气中氨释放量的关系, 建立了多元逐步回归方程。结果表明: 烟叶中蛋白质、脯氨酸与主流烟气中氨呈极显著相关; 烟叶中蛋白质、脯氨酸与主流烟气中氨释放量的相关性主要取决于直接作用。

**关键词:** 氨; 蛋白质; 氨基酸; 逐步回归分析; 通径分析

**doi:** 10.3969/j.issn.1004-5708.2014.03.004

**中图分类号:** TS411      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-5708 (2014) 03-0023-07

## Relationships between ammonia content in mainstream cigarette smoke and contents of protein and free amino acid in tobacco leaves

ZHAO Yantang, YU Hongxiao, CHEN Jianjun, ZHANG Donghai, YUE Yong, XU Kailin, LI Hongtao, ZHENG Xuan, ZHOU Shilu, XU Haitao

Technology Center, China Tobacco Shandong Industrial Co. Ltd., Jinan 250100, China

**Abstract:** Relation between contents of protein, free amino acids in tobacco leaves and ammonia contents in mainstream cigarette smoke was investigated by analysis of variance, descriptive statistics, stepwise regression, partial correlation and path analysis. Multiple stepwise regression equation was established. Results showed that ammonia contents in mainstream cigarette smoke were significantly positively correlated with contents of protein and proline in tobacco leaves.

**Keywords:** ammonia, protein, amino acids, stepwise regression analysis, path analysis

对卷烟的吸味质量和劲头具有重要作用<sup>[2-4]</sup>。同时氨可在燃烧时与糖等发生反应, 形成香味物质<sup>[5-6]</sup>。烟气中过高的氨释放量不仅使烟气粗糙, 影响卷烟的吃味, 而且会刺激人体的呼吸系统, 长期吸入会对人体造成较严重的危害。卷烟主流烟气中的氨是“Hoffmann List” 44 种有害成分之一, 国内烟草行业已经将氨纳入卷烟安全性质量评价指标。烟草中含

氮化合物数量众多且复杂, 都可能是卷烟烟气中氨的前体物, 国内外关于卷烟烟气中氨的形成机理研究报道相对较少且存在争论。前期我们研究了主流烟气中氨释放量与烟草中无机氮包括硝酸盐、铵盐和亚硝酸盐含量的相关性, 发现主流烟气中氨释放量高低与烟叶中无机含氮成分亚硝酸根含量正相关性更强。蛋白质和氨基酸是烟草中重要的两类有机含氮成分, Johnson<sup>[7]</sup> 认为烟气中的氨来源于硝酸盐还原和甘氨酸热裂解。而 Yves<sup>[8]</sup> 则认为烟气中的氨来源于烟草中的铵盐。Hansson<sup>[9-10]</sup> 和 Sharma<sup>[11-12]</sup> 分别报道了蛋白质和某些氨基酸在热裂解条件下能够生成氨。降低主流烟气中氨释放量和探索主流烟气中氨的产生机理是国内外烟草行业急需解决的问题。

**作者简介:** 赵砚棠 (1964—), 本科, 工程师, 主要从事烟草科技, Email: zhyt706@126.com

**通讯作者:** 于宏晓, 博士, 山东中烟工业有限责任公司技术中心, 主要从事烟草化学分析, Tel: 0531-88776553, Email: rodyu@163.com

**收稿日期:** 2013-05-23

本文采用逐步回归分析、偏相关分析和通径分析等统计方法,对主流烟气中氨释放量和烟叶中蛋白质、氨基酸含量的关系进行综合分析,旨在进一步探索其相关性,为研究主流烟气氨的产生机理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

SM450型20通道吸烟机(英国Cerulean公司),AA III连续流动分析仪(德国布朗卢比公司),氨基酸分析仪(德国赛卡姆公司),电子天平(瑞士梅特勒公司),ZP-200振荡器(中国江苏太仓实验设备厂),Millipore超纯水系统(美国Millipore公司)。

甲基磺酸、冰醋酸、浓硫酸、次氯酸钠、氢氧化钠和硫酸铵(分析纯,国药集团化学试剂有限公司),茚三酮(>99%,德国Merck公司),聚氧乙烯月桂醚(德国Sigma公司),18种氨基酸标样(>99%,德国Sigma公司),37%盐酸(德国Merck公司),其他试剂均为优级纯,实验用水均为电阻率 $18.2\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 的超纯水。

### 1.2 分析方法

依据YC/T377-2010卷烟主流烟气中氨的测定离子色谱法,测定主流烟气中氨的含量;依据YC/T31-1996制备烟末样品和水分测定,参考YC/T249-2008烟草及烟草制品蛋白质的测定连续流动法,测定烟草中的蛋白质含量;依据YC/T 282-2009烟叶中游离氨基酸的测定氨基酸分析仪法,测定烟草中游离氨基酸的含量。

### 1.3 烟支样品的选择

将山东、云南、福建三个产区不同年份(2007、2008)、不同部位(上部、中部和下部)18个烤烟烟叶样品卷成烟支,选取平均重量 $0.90\pm 0.01\text{g}$ 、平均吸阻 $1000\pm 50\text{Pa}$ 范围内的烟支为合格烟支。卷烟圆周为24.5 mm,长度为84 mm,滤嘴长度25 mm,实验前在温度 $(22\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(60\pm 2)\%$ 条件下平衡。

## 2 结果和讨论

### 2.1 不同产区、不同部位烟叶中蛋白质、氨基酸的含量和主流烟气中氨释放量

由表1和表2可见,蛋白质的含量和烟气中的氨释放量随部位的变化趋势一致,都是上部叶中分别高于中部叶和下烟叶。而烟叶中18种游离氨基酸的含量,其变化规律随着烟叶部位的不同变化不明显。初步推断烟叶主流烟气中氨释放量与烟叶中蛋白质的含量相关。

表1 山东、云南、福建不同部位烟叶中蛋白质含量及主流烟气中氨释放量

Tab. 1 The release of ammonia in mainstream smoke and the contents of protein and in different parts of tobacco leaves from Shandong, Yunnan, and Fujian

地区 (年份)	烟叶部位	主流烟气中氨释放量 ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	烟叶中蛋白质百分含量/%
山东 (2007)	上部烟	8.61	6.04
	中部烟	6.65	5.48
	下部烟	5.23	5.02
云南 (2007)	上部烟	8.01	6.25
	中部烟	6.18	4.81
	下部烟	5.53	4.13
福建 (2007)	上部烟	10.93	6.15
	中部烟	5.31	5.54
	下部烟	4.88	5.64
山东 (2008)	上部烟	11.03	5.53
	中部烟	7.3	5.08
	下部烟	4.91	4.41
云南 (2008)	上部烟	10.38	5.73
	中部烟	8.63	5.34
	下部烟	4.61	4.80
福建 (2008)	上部烟	9.01	5.89
	中部烟	6.93	4.97
	下部烟	7.47	5.38

### 2.2 不同产区、不同部位烟叶中蛋白质、氨基酸的含量和主流烟气中氨释放量描述统计

由表3可知,烟叶中赖氨酸的变异系数最大,烟叶中蛋白质的变异系数最小。由峰度系数可以看出,天冬氨酸、异亮氨酸、蛋白质、胱氨酸、丝氨酸和主流烟气中氨的峰度系数均小于0,为扁平分布,说明数据的分布比较分散;其余各项指标的峰度系数均大于0,为尖峰分布,说明数据的分布更集中。由偏度系数可以看出,烟叶中精氨酸、谷氨酸、色氨酸、丝氨酸、苯丙氨酸、胱氨酸、脯氨酸、异亮氨酸和主流烟气中氨的偏度系数均小于0,为负态偏向峰;其余各项指标的偏度系数均大于0,为正态偏向峰。

表 2 山东、云南、福建不同部位烟叶中氨基酸含量及主流烟气中氨释放量  
 Tab. 2 The ammonia in mainstream smoke and the contents of free amino acids in different parts of tobacco leaves from Shandong, Yunnan, and Fujian

地区 (年份)	烟叶 部位	主流烟气 中氨含量 ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	天冬氨酸 (mg/g)	苏氨酸 (mg/g)	丝氨酸 (mg/g)	谷氨酸 (mg/g)	甘氨酸 (mg/g)	丙氨酸 (mg/g)	缬氨酸 (mg/g)	缬氨酸 (mg/g)	亮氨酸 (mg/g)	酪氨酸 (mg/g)	苯丙氨酸 (mg/g)	组氨酸 (mg/g)	色氨酸 (mg/g)	赖氨酸 (mg/g)	精氨酸 (mg/g)	脯氨酸 (mg/g)		
山东 (2007)	上部烟	8.61	0.387	0.059	0.244	0.143	0.041	0.521	0.070	0.485	0.476	0.063	0.127	0.229	0.299	0.183	0.214	0.027	0.069	6.451
	中部烟	6.65	0.219	0.088	0.283	0.137	0.043	0.508	0.088	0.489	0.459	0.079	0.142	0.289	0.349	0.227	0.244	0.035	0.068	6.177
	下部烟	5.23	0.326	0.151	0.391	0.073	0.051	0.510	0.162	0.649	0.473	0.075	0.120	0.343	0.461	0.263	0.296	0.046	0.072	4.426
云南 (2007)	上部烟	8.01	0.213	0.031	0.245	0.155	0.020	0.408	0.041	0.394	0.541	0.052	0.105	0.176	0.136	0.109	0.178	0.009	0.057	8.143
	中部烟	6.18	0.232	0.030	0.228	0.179	0.017	0.375	0.041	0.317	0.543	0.060	0.109	0.161	0.126	0.095	0.189	0.009	0.061	6.854
	下部烟	5.53	0.382	0.047	0.302	0.203	0.023	0.386	0.064	0.375	0.548	0.064	0.111	0.178	0.179	0.120	0.267	0.005	0.054	5.360
福建 (2007)	上部烟	10.93	0.293	0.029	0.228	0.159	0.034	0.427	0.057	0.548	0.580	0.080	0.123	0.240	0.176	0.083	0.107	0.005	0.057	3.914
	中部烟	5.31	0.280	0.022	0.131	0.100	0.015	0.199	0.040	0.310	0.327	0.036	0.063	0.084	0.088	0.068	0.072	0.017	0.055	3.268
	下部烟	4.88	0.213	0.122	0.306	0.172	0.015	0.320	0.047	0.312	0.566	0.077	0.090	0.128	0.122	0.044	0.120	0.002	0.059	2.660
山东 (2008)	上部烟	11.03	0.193	0.041	0.295	0.165	0.026	0.500	0.041	0.486	0.557	0.054	0.124	0.225	0.153	0.170	0.154	0.013	0.063	10.566
	中部烟	7.3	0.182	0.040	0.248	0.142	0.022	0.391	0.044	0.295	0.510	0.074	0.130	0.197	0.129	0.120	0.010	0.013	0.057	7.276
	下部烟	4.91	0.343	0.063	0.343	0.210	0.024	0.403	0.064	0.401	0.540	0.070	0.119	0.201	0.170	0.132	0.334	0.015	0.063	5.441
云南 (2008)	上部烟	10.38	0.309	0.057	0.309	0.142	0.034	0.467	0.054	0.501	0.517	0.053	0.089	0.184	0.148	0.166	0.223	0.003	0.060	7.012
	中部烟	8.63	0.350	0.055	0.303	0.153	0.030	0.391	0.053	0.466	0.471	0.051	0.083	0.160	0.144	0.157	0.190	0.010	0.061	5.342
	下部烟	4.61	0.363	0.046	0.327	0.203	0.027	0.325	0.060	0.479	0.612	0.068	0.112	0.193	0.146	0.084	0.161	0.009	0.057	4.129
福建 (2008)	上部烟	9.01	0.409	0.227	0.169	0.198	0.029	0.450	0.060	0.667	0.429	0.040	0.080	0.217	0.182	0.160	0.265	0.050	0.030	6.484
	中部烟	6.93	0.321	0.072	0.362	0.146	0.026	0.429	0.078	0.425	0.575	0.093	0.176	0.267	0.235	0.155	0.196	0.018	0.058	6.519
	下部烟	7.47	0.153	0.031	0.205	0.143	0.020	0.347	0.035	0.235	0.492	0.079	0.147	0.188	0.100	0.087	0.180	0.008	0.055	6.479

表3 烟叶中蛋白质、氨基酸和主流烟气中氨释放量描述统计

Tab. 3 Descriptive statistic analysis on the contents of protein, free amino acids in tobacco leaves and the ammonia contents in mainstream smoke

指标	平均	标准差	峰度	偏度	振幅	变异系数 /%
主流烟气中氨 /( $\mu$ g/cig)	7.311	2.108	-0.919	0.460	4.610-11.030	28.83
烟叶中蛋白质百分含量 /%	5.344	0.585	-0.335	-0.380	4.130-6.250	10.95
烟叶中天冬氨酸 /(mg/g)	0.287	0.079	-1.306	-0.143	0.153-0.409	27.56
烟叶中苏氨酸 /(mg/g)	0.067	0.052	4.605	2.095	0.022-0.227	77.44
烟叶中丝氨酸 /(mg/g)	0.273	0.067	-0.071	-0.356	0.131-0.391	24.51
烟叶中谷氨酸 /(mg/g)	0.157	0.035	0.727	-0.544	0.073-0.210	22.51
烟叶中甘氨酸 /(mg/g)	0.028	0.010	0.403	0.881	0.015-0.051	35.90
烟叶中丙氨酸 /(mg/g)	0.409	0.081	1.240	-0.785	0.199-0.521	19.85
烟叶中缬氨酸 /(mg/g)	0.061	0.029	8.998	2.710	0.035-0.162	47.42
烟叶中胱氨酸 /(mg/g)	0.435	0.118	-0.263	0.313	0.235-0.667	27.21
烟叶中蛋氨酸 /(mg/g)	0.512	0.067	2.166	-1.167	0.327-0.612	13.08
烟叶中异亮氨酸 /(mg/g)	0.065	0.015	-0.444	-0.238	0.036-0.093	23.30
烟叶中亮氨酸 /(mg/g)	0.114	0.027	0.544	0.257	0.063-0.176	23.74
烟叶中酪氨酸 /(mg/g)	0.203	0.059	1.185	0.436	0.084-0.343	29.05
烟叶中苯丙氨酸 /(mg/g)	0.186	0.095	3.346	1.856	0.088-0.461	51.27
烟叶中组氨酸 /(mg/g)	0.135	0.056	0.234	0.603	0.044-0.263	41.85
烟叶中色氨酸 /(mg/g)	0.189	0.080	0.365	-0.368	0.010-0.334	42.32
烟叶中赖氨酸 /(mg/g)	0.016	0.014	1.201	1.434	0.002-0.050	86.76
烟叶中精氨酸 /(mg/g)	0.059	0.009	6.753	-1.901	0.030-0.072	14.93
烟叶中脯氨酸 /(mg/g)	5.917	1.875	1.074	0.465	2.660-10.566	31.69

### 2.3 不同产区、不同部位的烟叶中蛋白质、氨基酸的含量和主流烟气中氨释放量的变异分析

由表4可以看出, 部位对主流烟气中氨释放量影响达到了极显著水平 ( $p < 0.01$ ), 部位对烟叶中蛋白质含量的影响达到了显著水平 ( $p < 0.05$ )。地区因素对烟叶中甘氨酸、苯丙氨酸和组氨酸含量的影响达到了显著水平 ( $p < 0.05$ ), 部位和地区因素均对烟叶中丙氨酸、脯氨酸含量的影响达到了显著水平 ( $p < 0.05$ )。

多元逐步回归分析是一种应用广泛、侧重于考察多个自变量与一个依变量关系的数量分析方法, 所建立的“最优”回归模型, 剔除了对依变量无显著影响

的自变量, 仅保留对依变量有显著影响的自变量, 筛选出影响依变量的主要自变量。其做法是将逐个引入自变量, 引入的条件是该自变量经  $F$  检验是显著的, 每引入一个自变量后, 对已选入的变量进行逐个检验, 如果原来引入的变量由于后面变量的引入而变得不再显著, 那么就将其剔除。引入一个变量或从回归方程中剔除一个变量, 为逐步回归的一步, 每一步都要进行  $F$  检验, 以确保每次引入新变量之前回归方程中只包含显著的变量。这个过程反复进行, 直到既没有不显著的自变量选入回归方程, 也没有显著自变量从回归方程中剔除为止。

表4 方差分析结果

Tab. 4 Variance analysis of the contents of protein, free amino acids in tobacco leaves and the ammonia contents in mainstream smoke

指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值
主流烟气中氨	地区	4.792	5	0.958	0.632	烟叶中蛋氨酸	地区	0.013	5	0.003	0.510
	部位	55.564	2	27.782	18.330**		部位	0.010	2	0.005	0.966
	残差	15.156	10	1.516			残差	0.053	10	0.005	
烟叶中蛋白质	地区	1.248	5	0.250	2.108	烟叶中异亮氨酸	地区	0.001	5	0.000	0.424
	部位	3.391	2	1.696	14.319*		部位	0.001	2	0.000	1.316
	残差	1.184	10	0.118			残差	0.003	10	0.000	
烟叶中天冬氨酸	地区	0.020	5	0.004	0.477	烟叶中亮氨酸	地区	0.005	5	0.001	1.391
	部位	0.005	2	0.002	0.296		部位	0.000	2	0.000	0.219
	残差	0.082	10	0.008			残差	0.007	10	0.001	
烟叶中苏氨酸	地区	0.014	5	0.003	0.894	烟叶中酪氨酸	地区	0.035	5	0.007	3.115
	部位	0.002	2	0.001	0.389		部位	0.001	2	0.001	0.240
	残差	0.030	10	0.003			残差	0.023	10	0.002	
烟叶中丝氨酸	地区	0.020	5	0.004	0.977	烟叶中苯丙氨酸	地区	0.125	5	0.025	8.803*
	部位	0.014	2	0.007	1.685		部位	0.001	2	0.001	0.187
	残差	0.042	10	0.004			残差	0.028	10	0.003	
烟叶中谷氨酸	地区	0.008	5	0.002	1.319	烟叶中组氨酸	地区	0.041	5	0.008	7.228*
	部位	0.002	2	0.001	0.823		部位	0.002	2	0.001	0.754
	残差	0.012	10	0.001			残差	0.011	10	0.001	
烟叶中甘氨酸	地区	0.001	5	0.000	8.505*	烟叶中色氨酸	地区	0.041	5	0.008	1.599
	部位	0.000	2	0.000	1.463		部位	0.017	2	0.009	1.719
	残差	0.000	10	0.000			残差	0.051	10	0.005	
烟叶中丙氨酸	地区	0.062	5	0.012	5.137*	烟叶中赖氨酸	地区	0.002	5	0.000	3.314
	部位	0.026	2	0.013	5.323*		部位	0.000	2	0.000	0.175
	残差	0.024	10	0.002			残差	0.001	10	0.000	
烟叶中缬氨酸	地区	0.008	5	0.002	2.854	烟叶中精氨酸	地区	0.001	5	0.000	3.138
	部位	0.001	2	0.001	1.030		部位	0.000	2	0.000	0.663
	残差	0.005	10	0.001			残差	0.000	10	0.000	
烟叶中胱氨酸	地区	0.068	5	0.014	1.187	烟叶中脯氨酸	地区	35.012	5	7.002	8.491*
	部位	0.057	2	0.028	2.503		部位	16.510	2	8.255	10.009*
	残差	0.114	10	0.011			残差	8.247	10	0.825	

注: \*、\*\* 分别表示差异达 0.05 显著水平和 0.01 极显著水平。

## 2.4 不同产区、不同部位烟叶中蛋白质、氨基酸的含量和主流烟气中氨释放量的逐步回归分析

以主流烟气中氨释放量为因变量(Y),以烟叶中蛋白质(X<sub>1</sub>)、天冬氨酸(X<sub>2</sub>)、苏氨酸(X<sub>3</sub>)、丝氨酸(X<sub>4</sub>)、谷氨酸(X<sub>5</sub>)、甘氨酸(X<sub>6</sub>)、丙氨酸(X<sub>7</sub>)、缬氨酸(X<sub>8</sub>)、胱氨酸(X<sub>9</sub>)、蛋氨酸(X<sub>10</sub>)、异亮氨酸(X<sub>11</sub>)、亮氨酸(X<sub>12</sub>)、酪氨酸(X<sub>13</sub>)、苯丙氨酸(X<sub>14</sub>)、组氨酸(X<sub>15</sub>)、色氨酸(X<sub>16</sub>)、赖氨酸(X<sub>17</sub>)、精氨酸(X<sub>18</sub>)、脯氨酸(X<sub>19</sub>)为自变量,通过烟叶中蛋白质、氨基酸与主流烟气

中氨释放量进行逐步回归分析,得到最优多元线性回归方程:  $Y = -6.957 + 2.064 X_1 + 0.547 X_{19}$ , 相关系数为0.799。回归方程的方差分析结果(表5)表明,回归方程是极显著的。残差诊断的Durbin-waston统计量DW=1.637,接近于2,表示残差分布较好且无明显共线性存在,自相关性较小。筛选留下的烟叶中蛋白质、氨基酸对主流烟气中氨的决定系数 $R^2=0.639$ ,表明应用以上模型能解释63.9%的因变量变化,回归方程具有较好的参考价值。

表5 回归方程的方差分析  
Tab.5 Variance analysis of regression equation

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性水平
回归分析	48.232	2	24.116	13.260**	0.000
残差	27.280	15	1.819		
总计	75.512	17			

## 2.5 偏相关分析

研究多个变量之间的相关关系时,由于变量间常常是相互影响的,因而仅仅研究两个变量间的简单相关系数往往不能正确反映两个变量间的真正关系,有时甚至是假象,只有排除其他变量影响的情况下,计算它们之间的偏相关系数才能真正揭示它们之间的内在联系。

通过对逐步回归分析中筛选留下的烟叶中蛋白质(X<sub>1</sub>)、脯氨酸(X<sub>19</sub>)与主流烟气中氨释放量(Y)进行偏相关分析,结果见表6。由表6可知,X<sub>1</sub>和X<sub>19</sub>呈极显著正相关,说明烟叶中蛋白质、脯氨酸的增加都有利于主流烟气中氨释放量升高。以建模数据以外的8个样本数据代入模型,由表7可知,预测值与实际值的相对偏差总体较小,表明模型具有一定的可靠性。

表6 偏相关分析

Tab.6 Partial correlation analysis between the contents of protein, free amino acids in tobacco leaves and the ammonia contents in mainstream smoke

因子	偏相关	t检验值	p-值
X <sub>1</sub>	0.687**	3.662	0.0021
X <sub>19</sub>	0.626**	3.112	0.0067

表7 叶中蛋白质、脯氨酸与主流烟气中氨释放量模型验证结果

Tab.7 The verification results of model between the contents of protein, free amino acids in tobacco leaves and the ammonia contents in mainstream smoke

实际值	计算值	相对偏差
10.62	12.98	0.22
7.03	8.21	0.17
5.96	5.43	-0.09
5.09	4.69	-0.08
9.01	8.51	-0.06
7.78	7.65	-0.02
8.26	9.02	0.09
7.03	8.71	0.24

## 2.6 通径分析

通径分析就是应用通径系数分析方法,在相关分析与回归分析的基础之上,进一步研究因变量与自变量之间的数量关系,并可将相关系数分解为直接作用系数和间接作用系数,以揭示各个因素对因变量的相对重要性。

相关性分析结果反映了各化学成分在其他因素的

协同作用下对主流烟气中氨释放量的综合效果, 仅反映两性状间的表型相关, 不能真正反映各化学成分对主流烟气中氨释放量的直接或本质的作用。因此, 有必要在此基础上再进行途径分析, 对相关系数进行剖分, 估算出蛋白质和脯氨酸对主流烟气中氨释放量的直接效应和间接效应, 进一步揭示蛋白质和脯氨酸对主流烟气中氨的含量的作用, 通过途径分析(表 8)可知, 烟叶中蛋白质、脯氨酸对主流烟气中氨为正直接作用, 蛋白质对主流烟气中氨释放量的直接作用大于脯氨酸对主流烟气中氨释放的直接作用。

从间接作用看, 筛选留下的烟叶中蛋白质( $X_1$ )、脯氨酸( $X_{19}$ )对主流烟气中氨为正间接作用, 但是远远小于两者对主流烟气中氨的直接作用。因此烟叶中蛋白质、脯氨酸对主流烟气中氨的影响主要取决于直接作用。

表 8 途径分析

Tab. 8 Path analysis between the contents of protein, free amino acids in tobacco leaves and the ammonia contents in mainstream smoke

因子	直接	→ $X_1$	→ $X_{19}$
$X_1$	0.5732		0.0636
$X_{19}$	0.4871	0.0749	

### 3 结论

综合相关分析、途径分析结果, 蛋白质和脯氨酸是影响主流烟气中的氨释放量的 2 个主要化学成分。通过对烟叶中蛋白质、氨基酸与主流烟气中氨释放量进行逐步回归分析建立多元回归模型, 回归方程及回归系数都达到了显著水平, 表明筛选出的蛋白质、脯氨酸 2 个烟叶化学成分与烟气中氨的释放量之间存在着真实的多元回归关系。途径分析表明, 蛋白质、脯氨酸与主流烟气中氨释放量的相关主要由其直接作用形成的, 间接作用影响不大。主流烟气中的氨释放量与其烟叶中的蛋白质和脯氨酸含量呈极显著正相关, 降低烟叶中蛋白质和脯氨酸含量, 有利于降低其主流烟气中氨释放量。

### 参考文献

- [1] Willems E W, Rambali B. Significance of ammonium compounds on nicotine exposure to cigarette smokers [J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(5): 678-688.
- [2] 闫克玉, 周献礼, 王天奎, 等. 全国五产区烤烟氨含量的测定及其规律性研究 [J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2005, 20(2): 1-3.
- [3] 李贵军, 刘志华, 阴耕云, 等. 氮对烟草 pH 值、常规化学组分及挥发性成分的影响 [J]. 云南烟草, 2004(1): 44-48.
- [4] 朱晓兰, 刘百战, 陈良. 用分光光度法测定烟叶中的氨 [J]. 烟草科技, 1998(3): 21-23.
- [5] 谢剑平. 烟碱从烟草向吸烟者的转移 - 关于氨与“pH”因素的简要综述 [J]. 烟草科技, 2001(10): 28-31.
- [6] 刘维涓. 氯化处理法改良低次烤烟质量的研究 [J]. 烟草科技, 1998(1): 7-8.
- [7] Johnson W R, Hale R W, Clough S C. Formation of Molecular Nitrogen by a Burning Cigarette [J]. Nature, 1973, 244:51-52.
- [8] Yves Saint-Jalm, Duval G, Conte T, et al. Mechanisms of transfer of ammonia in cigarette smoke from ammonium compounds in tobacco; 2000 CORESTA Congress, 2000 CORESTA Congress, Lisbon, Portugal, 15-19 October 2000, Information Bulletin, Abstract No. ST 9, p. 153.
- [9] Hansson K M, Samuelsson J, Tullin C, et al. Formation of HNCN, HCN, and  $NH_3$  from the pyrolysis of bark and nitrogen-containing model compounds [J]. Combustion and Flame, 2004, 137: 265-277.
- [10] Hansson K M, Åmand L E, Habermann A, et al. Pyrolysis of poly-L-leucine under combustion-like conditions [J]. Fuel, 2003, 82:653-660.
- [11] Sharma R K, Chan W G, Seeman J I, et al. Formation of low molecular weight heterocycles and polycyclic aromatic compounds (PACs) in the pyrolysis of  $\alpha$ -amino acids [J]. Journal of analytical and applied pyrolysis, 2003, 66:97-121.
- [12] Sharma R K, Chan W G, Wang J, et al. On the role of peptides in the pyrolysis of amino acids [J]. Journal of analytical and applied pyrolysis, 2004, 72:153-163.
- [13] Haidar N F, Patterson J M, Moors M, et al. Effects of structure on pyrolysis gases from amino acids [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1981, 29:163-165.
- [14] Sohn M, Ho C T. Ammonia generation during thermal degradation of amino acids [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(12):3000-3003.