

网络出版时间:2015-06-30 13:47

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.08.002

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150630.1347.002.html>

基于致香成分的重庆主要烟草 种植区溯源特征研究

刘建利¹, 陈 涛¹, 朱晓伟¹, 王 茜²,
杨式华³, 袁天军³, 侯 英³

(1 中国烟草总公司 重庆市公司, 重庆 400023; 2 重庆烟草质量监督检验站, 重庆 400023;

3 云南同创检测技术股份有限公司, 云南 昆明 650106)

[摘 要] 【目的】以烤烟中多项致香成分含量为原始数据, 采用多元统计分析方法对重庆烟叶产地溯源的可行性进行研究, 筛选出判别烤烟产地溯源的有效指标。【方法】利用 GC-MS 法, 检测采自重庆主要烟草种植区(武陵山区、渝中渝西地区、三峡库区和渝东北秦巴山区)4 个品种(云烟 87、云烟 97、K326 和贵烟四号)147 份烤烟样品中 70 项致香成分的含量, 对试验数据进行方差分析、主成分分析(PCA)、偏最小二乘-判别分析(PLS-DA)、变量重要性因子(VIP)和逐步回归判别分析, 逐步筛选出可用于判别烟叶产地溯源的有效指标, 建立判别模型, 并对模型判别正确率进行检验。【结果】来源于重庆不同地区烟叶样品的致香成分含量具有一定的差异。通过方差分析、PCA、PLS-DA、VIP 法和逐步回归判别分析, 从 70 项致香成分中筛选出苯乙醇、3-甲基-2-丁烯醛、2-吡啶甲醛、4-吡啶甲醛、糠酸、3-羟基-2-丁酮、面包酮、1-(3-吡啶基)-乙酮、胡薄荷酮、 β -紫罗兰酮和亚麻酸甲酯 11 项, 用于有效判别烤烟产地溯源的指标, 用 11 项指标所建立的判别模型对烤烟样品回代检验判别正确率为 92.5%, 交叉检验判别正确率为 90.5%。【结论】将致香成分含量与多元统计分析方法结合可用于烤烟产地溯源。

[关键词] 烤烟; 致香成分; 重庆; 溯源特征; GC-MS

[中图分类号] S572; TS41

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2015)08-0093-10

Aroma components based traceability characteristics of main tobacco planting areas in Chongqing

LIU Jian-li¹, CHEN Tao¹, ZHU Xiao-wei¹, WANG Qian²,
YANG Shi-hua³, YUAN Tian-jun³, HOU Ying³

(1 Chongqing Corporation, China National Tobacco Corporation, Chongqing 400023, China; 2 Chongqing Tobacco Quality Supervision & Inspection Station, Chongqing 400023, China; 3 Yunnan COMTESTOR Co. Ltd., Kunming, Yunnan 650106, China)

Abstract: 【Objective】The contents of multiple aroma components in tobacco were used as original data to study the feasibility of understanding traceability of Chongqing tobacco origin by multivariate statistical analysis method and screen out valid indicators for discriminating tobacco origins. 【Method】Gas chromatography-mass spectrum (GC-MS) apparatus was applied to detect contents of 70 aroma components in 147 flue-cured tobacco samples of 4 varieties (Yunnan tobacco 87, Yunnan tobacco 97, K326 and Guizhou tobacco No. 4) from main tobacco planting areas in Chongqing (Wuling Mountain Area of Southeast, Mid-

[收稿日期] 2014-01-27

[基金项目] 中国烟草总公司重庆市公司科技项目(NY20120802070020)

[作者简介] 刘建利(1969—), 男, 河北滦城人, 研究员, 博士, 主要从事现代烟草农业、烟叶种植研究。
E-mail: liujl@tobacco.gov.cn

[通信作者] 侯 英(1973—), 女, 云南蒙自人, 高级工程师, 硕士, 主要从事烟草及烟气成分的分析研究。
E-mail: houying@reascend.com

dle and West of Chongqing Region, Three Gorges Reservoir Region, Qinling-Daba Region of Northeast). Then, the data were analyzed by different methods including variance analysis, principal component analysis (PCA), partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) and stepwise regression discriminant analysis to select valid indicators for discriminating tobacco origin. A discrimination model was built and its accuracy was verified. 【Result】 The contents of aroma components in tobacco samples from different areas of Chongqing were different. Eleven indicators including phenethyl alcohol, 3-methyl-2-butenal, 2-pyridylaldehyde, 4-pyridylaldehyde, furoic acid, 3-hydroxide-2-butanone, 2-methyl-tetrahydrofuran-3-ketone, 1-(3-pyridine)-ketol, pulegone, β -ionone and methyl linolenate were screened from 70 aroma components as indicators for effective discriminating tobacco origins by variance analysis, PLS-DA combined with variance importance in the project (VIP), and stepwise regression discriminant analysis. The return test discrimination accuracy and cross check distinguishing accuracy of established discrimination model using these indicators were 92.5% and 90.5%, respectively. 【Conclusion】 The contents of aroma components in combination with multivariate statistical analysis method could be used to discriminate tobacco origins.

Key words: tobacco; aroma components; Chongqing; traceability characteristics; GC-MS

烟草是一种对环境极为敏感的经济作物,烟叶香气的表现型由遗传因素和环境因素共同决定,在不同的环境条件下,不同烤烟品种或相同品种致香成分的组成、含量和比例不尽相同^[1-5]。研究表明,生态条件对初烤烟叶的致香成分影响较大,是烤烟香气风格特征形成的主导因素,其中气候和土壤等生态环境条件对烟草田间长势、烟叶产值、产量、致香成分含量以及评吸质量的影响大于品种因素^[6-12],致使不同生态产区之间烟叶香气和香味具有丰富的多样性^[1],这为致香成分对产地溯源性研究提供了基础依据。烟叶致香成分含量和组成比例主要受环境因素的影响,不同环境因子条件下种植烟叶的致香物质组分具有一定差异,利用致香成分分析判别烟叶产地已有部分报道^[13-14],但利用致香成分对烟叶产地溯源的研究尚未见报道。本研究从

重庆烟叶主产区采集样品,分析重庆不同地区来源烟叶样品中致香物质的分布特征,探讨致香成分多元统计分析技术对重庆烟叶产地溯源的可行性,筛选出可用于判别烟叶产地溯源的有效指标,为重庆烟叶产地鉴别、风格特色区划奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材 料

基于黎莉莉等^[15]的重庆市农业功能区划研究结论,从重庆主要产烟区采集 2012 年初烤烟叶样品 147 份(其中每个产区均含 B2F、C3F、X2F 3 个等级,每个等级各 49 份),每个地区取样品种主要为云烟 87、云烟 97、K326 和贵烟四号,采样地点和份数见表 1。

表 1 重庆主要烟草种植区烟叶采样地点和份数

Table 1 Sampling sites and number of tobacco samples from main tobacco planting areas in Chongqing

地区 Region	产区 Area	份数 Number	总数 Total
渝东北秦巴地区 Qinling-Daba Region of Northeast	巫山 Wushan	15	27
	巫溪 Wuxi	12	
三峡库区 Three Gorges Reservoir Region	奉节 Fengjie	9	30
	丰都 Fengdu	9	
	万川 Wanchuan	12	
武陵山区 Wuling Mountainous Area of Southeast	石柱 Shizhu	18	75
	武隆 Wulong	12	
	彭水 Pengshui	18	
	黔江 Qianjiang	12	
	酉阳 Youyang	15	
渝中渝西地区 Middle and West Chongqing Region	涪陵 Fuling	6	15
	南川 Nanchuan	9	

1.2 方 法

1.2.1 样品的采集 选取农户于采收期初烤的代

表性烟叶样品 2.0 kg,编号,作为 1 个样品。从样品中取 200.0 g 烟叶粉碎,充分混匀后取 100.0 g 烟末

(过 0.25 μm 筛),封装,作为分析样本备用。

1.2.2 样品预处理 准确称取备用样 25.0 g,每个样本平行 3 份,置于恒温恒湿箱(温度 22 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 60%)平衡 24 h,之后采用同时蒸馏萃取法对样品进行处理,萃取剂为二氯甲烷,将盛有烟末的一端加入 350 mL 蒸馏水置于电热套上加热,另一端加入 30 mL 二氯甲烷置于水浴锅中加热,水浴锅温度为 60 $^{\circ}\text{C}$,同时蒸馏萃取 2 h。萃取完成后,采用旋转蒸发仪(压力为 560 mPa、转速为 65 r/min)将萃取液浓缩至 1.0 mL,装入样品瓶中待测。

1.2.3 致香成分含量测定 致香成分含量的测定采用 GC-MS 法,使用气质联用分析仪(Agilent GC6890N/MS5975 I)对 1.2.2 节的萃取浓缩液进行分析,以萘为内标物,所得图谱经计算机谱库(NIST05, Wiley275)检索,按照文献[16]的方法计算各物质的含量。检测指标:醇类 10 项,醛类 14 项,酮类 22 项,酸类 3 项,酯类 7 项,酚类 6 项,杂环类 7 项,新植二烯 1 项,共 70 项指标。

1.3 数据处理

采用 SIMCA-P + 11.5 软件(瑞典,UMETRICS)对数据进行自标度化(UV)处理后^[17-19],进行主成分分析(PCA)和偏最小二乘-判别分析(PLS-DA),并利用变量重要性因子(Variable importance in the projection, VIP)对指标进行筛选分析^[20]。其计算公式如下:

$$VIP_j = \sqrt{\frac{P}{R_d(Y; t_1, t_2, \dots, t_m)_{h=1}} \sum_{h=1}^m R_d(Y; t_h) W_{hj}^2} \quad (1)$$

$$R_d(Y; t_h) = \sum_{k=1}^h r^2(Y; t_k) \quad (2)$$

$$R_d(Y; t_1, t_2, \dots, t_m) = \sum_{k=1}^m R_d(Y; t_k) \quad (3)$$

式(1)中: VIP_j 表示第 j 个自变量 x_j 的重要性因子, P 表示自变量的个数, m 为提取的有效成分个数, W_{hj} 为轴 W_h 的第 j 个分量; 式(2)中: $R_d(Y; t_h)$ 表示主成分 t_h 对因变量 Y 的解释能力, $r(Y; t_h)$ 是因变量 Y 和主成分 t_h 的相关系数; 式(3)中: $R_d(Y; t_1, t_2, \dots, t_m)$ 表示 m 个成分 $t_1, t_2, \dots, t_m$ 对 Y 的累计解释能力。

VIP 值反映的是所有自变量 X (致香成分指标) 对于因变量 Y (分类) 的解释能力, VIP 值越大, X 对 Y 的解释能力越强, VIP 值 > 1 的变量具有较大的相关性, 对于 Y 的解释具有重要贡献。统计分析使用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 19.0, 逐步分析采用 Fisher 逐步判别^[21], 进入模型的 $F = 3.84$,

移出模型的 $F = 2$ 。

2 结果与分析

2.1 烤烟中致香成分含量的差异分析

对重庆不同产区烤烟中 70 种致香成分含量进行多重比较, 结果表明, 除 2,4-庚二烯醛 B、1-(2-呋喃基)-乙酮、金合欢基丙酮 B 和新植二烯 4 项指标在不同产区间无显著性差异外, 其余指标在不同产区间均具有显著性差异。由表 2 可知, 在不同产区烟叶的 66 项具有显著性差异的致香成分中, 武陵山区样品中糠醛和吡啶含量在 4 个产区中最高, 4-吡啶甲醛、1H-吡咯-2-甲醛、2,6-壬二烯醛、糠酸和寸拜醇含量最低; 渝中渝西地区样品中芳樟醇、3-氧代- α -紫罗兰醇、植醇、苯酚、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、2-甲氧基-苯酚、苯并[b]噻吩、2-吡啶甲醛、苯甲醛、4-吡啶甲醛、1H-吡咯-2-甲醛、壬醛、2,6-壬二烯醛、藏花醛、十四醛、1-(3-吡啶基)-乙酮、氧化异佛尔酮、胡薄荷酮、 β -大马酮、 β -二氢大马酮、香叶基丙酮、 β -紫罗兰酮、巨豆三烯酮 A、B、C、D、2,3,6-三甲基-1,4-萘二酮、金合欢基丙酮 A、吡啶、3-(1-甲基乙基)(1H)吡啶[3,4-b]吡嗪、2,3'-联吡啶、蒽、二氢猕猴桃内酯、肉豆蔻酸甲酯、邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸甲酯和亚麻酸甲酯含量均显著高于其他产区; 三峡库区样品中棕榈酸含量显著高于其他产区, 而 2-甲氧基-4-乙烯基苯酚含量显著低于其他产区; 渝东北秦巴山区样品中 3-甲基-1-丁醇和 3-甲基-2-丁烯醛含量显著高于其他产区, 而 2-环戊烯-1,4-二酮、苯甲醛和金合欢基丙酮 A 含量最低。

由表 2 还可知, 一些致香成分的标准偏差较大, 说明这些化学成分含量在相同产区不同生产点内差异也较大。在同一产区内不同生产点中, 对 66 项致香成分含量差异性分析结果表明, 西柏三烯二醇、棕榈酸、茄酮和亚麻酸甲酯含量在武陵山区不同生产点内有明显差异; 寸拜醇、西柏三烯二醇、棕榈酸、茄酮、巨豆三烯酮 B、巨豆三烯酮 D、金合欢基丙酮 A、亚麻酸甲酯含量在渝中渝西地区不同生产点内差异明显; 村拜醇、西柏三烯二醇、棕榈酸、茄酮、亚麻酸甲酯含量在三峡库区不同生产点内有明显差异; 西柏三烯二醇、茄酮、亚麻酸甲酯、村拜醇、棕榈酸、苯甲醇、 β -大马酮、巨豆三烯酮 D 和巨豆三烯酮 B 在渝东北秦巴山区不同生产点内有明显差异。此结果说明, 重庆不同产区有效致香成分溯源指标与样品的地域来源、溯源范围密切相关, 主要受环境因素的影响, 这为化学成分指标对产地溯源性研究奠定了基

础。

表 2 重庆主要烟草种植区烤烟中的致香成分含量

Table 2 Aroma components in flue-cured tobacco samples from main tobacco planting areas in Chongqing $\mu\text{g/g}$				
化学成分 Chemical component	武陵山区 Wuling Mountainous Area of Southeast	渝中渝西地区 Middle and West Chongqing Region	三峡库区 Three Gorges Reservoir Region	渝东北秦巴山区 Qinling-Daba Region of Northeast
3-甲基-1-丁醇 3-methyl-1-butanol	0.224 2±0.011 5 b	0.110 8±0.014 8 a	0.129 5±0.010 7 a	0.307 2±0.050 8 c
糠醇 Furfuryl alcohol	0.322 4±0.009 9 b	0.257 4±0.014 6 a	0.294 1±0.009 7 a	0.349 1±0.017 2 b
苯甲醇 Benzyl alcohol	3.756 0±0.145 3 b	2.502 7±0.182 3 a	2.472 7±0.090 4 a	3.273 4±0.238 2 b
芳樟醇 Linalool	0.150 3±0.008 5 a	0.261 0±0.012 7 c	0.179 6±0.009 7 b	0.133 9±0.007 8 a
苯乙醇 Phenethyl alcohol	1.478 2±0.077 0 b	1.622 3±0.108 7 b	1.160 4±0.044 1 a	1.129 5±0.085 6 a
3-氧代- α -紫罗兰醇 3-oxygen generation- α -violet alcohol	0.215 1±0.012 5 b	0.318 1±0.040 4 c	0.171 3±0.013 7 a	0.180 3±0.012 4 ab
寸拜醇 Thunbergol	3.836 0±0.139 0 a	5.924 2±0.748 9 c	5.647 1±0.386 7 bc	4.722 3±0.363 6 b
植醇 Phytol	2.239 1±0.094 7 a	3.906 5±0.388 5 c	2.680 1±0.169 7 b	2.383 8±0.128 5 ab
西柏三烯二醇 Cembratrienediol	9.663 0±0.685 5 a	15.660 8±3.364 3 b	13.432 3±1.725 1 b	11.898 3±1.228 6 ab
苯酚 Phenol	0.079 2±0.003 2 a	0.159 7±0.012 4 c	0.115 7±0.008 3 b	0.078 4±0.004 1 a
2-甲基苯酚 2-methyl phenol	0.037 9±0.001 8 a	0.111 4±0.005 9 c	0.084 1±0.008 1 b	0.043 3±0.003 3 a
4-甲基苯酚 4-methyl phenol	0.120 0±0.009 6 b	0.217 1±0.021 5 c	0.128 7±0.011 7 ab	0.084 1±0.008 3 a
2-甲氧基-苯酚 2-methoxy-phenol	0.059 6±0.003 2 a	0.233 5±0.017 7 c	0.124 2±0.007 9 b	0.054 6±0.003 5 a
苯并[b]噻吩 Benzo [b] thiaphenol	0.088 7±0.001 7 a	0.247 9±0.013 1 c	0.156 1±0.007 8 b	0.097 0±0.003 0 a
2-甲氧基-4-乙烯基苯酚 2-methoxy-4-vinyl phenol	1.437 3±0.049 0 b	1.289 1±0.072 6 b	1.083 4±0.046 9 a	1.291 3±0.048 2 b
3-甲基-2-丁烯醛 3-methyl-2-butene aldehyde	0.121 5±0.004 3 b	0.098 4±0.010 1 a	0.103 3±0.006 9 ab	0.142 8±0.011 0 c
己醛 Hexanal	0.076 8±0.002 1 ab	0.069 5±0.004 5 a	0.068 4±0.003 2 a	0.073 0±0.004 4 a
糠醛 Furfural	1.542 3±0.041 1 c	0.946 4±0.040 6 a	1.093 9±0.036 9 a	1.385 0±0.074 6 b
2-吡啶甲醛 2-pyridylaldehyde	0.055 7±0.001 1 a	0.140 3±0.006 5 c	0.109 1±0.007 5 b	0.063 3±0.002 1 a
苯甲醛 Benzaldehyde	0.104 5±0.003 5 b	0.143 7±0.010 3 d	0.120 2±0.005 3 c	0.082 5±0.003 0 a
5-甲基糠醛 5-methyl furfural	0.064 0±0.002 7 a	0.114 0±0.008 4 b	0.099 1±0.007 4 b	0.057 5±0.003 6 a
2,4-庚二烯醛 A 2,4-heptyldiene aldehyde A	0.173 3±0.013 4 a	0.195 3±0.014 7 ab	0.202 4±0.015 0 ab	0.256 3±0.069 7 b
4-吡啶甲醛 4-pyridine formaldehyde A	0.099 8±0.002 9 a	0.194 9±0.009 4 d	0.150 2±0.007 4 c	0.116 2±0.005 8 b
1H-吡咯-2-甲醛 1 H-pyrrole-2-formaldehyde	0.030 7±0.001 7 a	0.104 6±0.008 3 d	0.070 0±0.005 2 c	0.046 0±0.004 9 b
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	0.331 1±0.030 1 a	0.480 4±0.098 6 b	0.270 4±0.025 4 a	0.250 5±0.033 4 a
壬醛 Pelargonaldehyde	0.166 4±0.006 4 a	0.384 3±0.020 5 c	0.276 9±0.014 7 b	0.181 2±0.011 4 a
2,6-壬二烯醛 2,6-nonyldiene aldehyde	0.205 0±0.006 7 a	0.360 5±0.015 8 c	0.261 0±0.015 0 b	0.243 8±0.015 7 b
藏花醛 Safranal	0.128 1±0.003 5 a	0.298 5±0.012 8 c	0.179 1±0.008 0 b	0.131 3±0.007 1 a
十四醛 Tetradecanal	0.865 0±0.041 0 b	1.195 3±0.185 6 c	0.816 8±0.064 6 ab	0.687 8±0.039 7 a
糠酸 Furoicacid	0.120 3±0.003 5 a	0.190 9±0.011 4 c	0.174 1±0.008 1 bc	0.154 1±0.009 4 b
肉豆蔻酸 Myristicacid	0.169 3±0.008 3 a	0.227 5±0.023 2 b	0.147 1±0.018 3 a	0.163 9±0.012 8 a
棕榈酸 Palmitic acid	2.801 3±0.211 3 a	2.644 5±0.889 0 a	3.993 9±0.656 9 b	2.573 4±0.282 1 a
1-戊烯-3-酮 1-pentene-3-ketone	0.599 3±0.020 2 b	0.280 7±0.019 1 a	0.377 3±0.021 5 a	0.629 1±0.038 8 b
3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone	0.094 8±0.003 7 b	0.050 7±0.005 7 a	0.052 0±0.002 1 a	0.093 4±0.004 8 b
面包酮 2-methyl-tetrahydrofuran-3-ketone	0.131 8±0.004 3 b	0.094 1±0.006 7 a	0.099 1±0.004 9 a	0.144 2±0.010 8 b
2-环戊烯-1,4-二酮 2-cyclopentene-1,4-diketone	0.157 8±0.005 0 b	0.174 4±0.012 0 b	0.166 9±0.009 0 b	0.139 7±0.005 0 a
1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮 1-(1H-pyrrole-2-)-ethyl ketone	0.339 1±0.013 5 a	0.464 2±0.029 5 b	0.408 0±0.016 3 b	0.331 2±0.021 5 a
1-(3-吡啶基)-乙酮 1-(3-Pyridyl)-ethyl ketone	0.064 0±0.002 5 a	0.193 1±0.005 5 c	0.101 3±0.005 6 b	0.059 2±0.003 2 a
氧化异佛尔酮 Isophorone oxide	0.262 1±0.009 3 a	0.393 5±0.027 4 b	0.253 5±0.011 7 a	0.260 8±0.012 1 a
胡薄荷酮 Pulegone	0.093 6±0.002 4 a	0.212 9±0.008 5 c	0.121 6±0.006 4 b	0.108 7±0.005 3 ab
茄酮 Solanone	11.295 2±0.530 6 a	14.114 7±1.392 2 b	13.565 1±0.760 5 b	13.441 5±1.228 5 ab
β -大马酮 β -damascenone	4.319 5±0.128 6 a	6.465 9±0.299 4 c	4.966 2±0.197 5 b	4.137 5±0.199 3 a

续表 2 Continued table 2				
化学成分 Chemical component	武陵山区 Wuling Mountainous Area of Southeast	渝中渝西地区 Middle and West Chongqing Region	三峡库区 Three Gorges Reservoir Region	渝东北秦巴山区 Qinling-Daba Region of Northeast
β-二氢大马酮 β-dihydrogenmalaysia ketone	1.160 6±0.042 1 a	2.052 6±0.155 7 c	1.395 5±0.072 0 b	1.149 0±0.064 8 a
香叶基丙酮 Geranylacetone	0.947 6±0.024 9 a	1.831 8±0.100 9 c	1.315 0±0.062 1 b	1.009 1±0.039 7 a
β-紫罗兰酮 β-ionone	0.533 3±0.013 2 a	1.003 7±0.042 9 c	0.678 7±0.021 2 b	0.553 7±0.016 7 a
巨豆三烯酮 A Megastigmatrienone A	1.111 0±0.031 8 a	1.871 7±0.156 8 b	1.102 4±0.056 8 a	1.026 7±0.047 1 a
巨豆三烯酮 B Megastigmatrienone B	4.988 7±0.128 6 ab	8.876 5±0.774 2 c	5.283 5±0.259 6 b	4.460 8±0.183 1 a
巨豆三烯酮 C Megastigmatrienone C	1.220 5±0.036 1 a	1.771 2±0.153 2 b	1.115 6±0.057 4 a	1.126 3±0.043 0 a
巨豆三烯酮 D Megastigmatrienone D	4.946 8±0.133 4 a	8.585 7±0.83 21 b	5.236 8±0.253 9 a	4.649 7±0.198 7 a
2,3,6-三甲基-1,4-萘二酮 2,3,6-trimethyl-1,4-naphthalene diketone	0.569 4±0.022 7 ab	1.032 9±0.082 8 c	0.655 3±0.056 1 b	0.472 8±0.026 1 a
茄那士酮 Solavetivone	0.575 3±0.061 7 b	0.521 8±0.063 8 b	0.298 7±0.035 5 a	0.440 7±0.056 4 b
金合欢基丙酮 A Farnesyl acetone A	5.523 1±0.154 7 b	8.471 2±0.435 3 c	6.021 5±0.357 8 b	4.622 4±0.145 4 a
吡啶 Pyridine	0.072 4±0.002 2 c	0.055 7±0.006 3 ab	0.047 8±0.001 9 a	0.069 9±0.003 9 bc
2-戊基-呋喃 2-amyl-furan	0.252 8±0.006 3 a	0.321 1±0.010 0 b	0.295 8±0.010 3 b	0.259 9±0.009 2 a
2,3-二氢苯并呋喃 2,3-dihydro coumarone	0.248 6±0.009 0 b	0.287 3±0.017 6 b	0.195 0±0.009 8 a	0.206 6±0.013 7 a
吡咯 Benzpyrole	0.331 9±0.009 5 a	0.491 4±0.043 8 b	0.328 4±0.018 2 a	0.311 1±0.013 5 a
3-(1-甲基乙基)(1H)吡唑[3,4-b] 吡嗪 3-(1-methyl ethyl)(1H) pyrazole [3,4-b] pyrazine	1.391 5±0.041 3 a	1.562 9±0.066 0 b	1.298 6±0.044 7 a	1.383 3±0.044 6 a
2,3'-联吡啶 2,3'-Al pyridine	0.169 0±0.008 5 a	0.305 7±0.020 5 b	0.194 3±0.011 5 a	0.192 8±0.040 1 a
蒽 Anthracene	0.612 4±0.055 8 a	0.814 7±0.071 4 b	0.509 3±0.041 2 a	0.554 4±0.082 4 a
丁内酯 Butyrolactone	0.135 4±0.004 3 b	0.121 3±0.009 5 ab	0.119 7±0.006 3 a	0.112 4±0.006 5 a
二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	0.750 5±0.019 6 a	1.292 1±0.042 0 c	0.925 7±0.032 7 b	0.762 0±0.031 8 a
肉豆蔻酸甲酯 Methylmyristate	0.136 1±0.006 9 a	0.287 1±0.026 1 b	0.154 1±0.017 6 a	0.124 7±0.008 8 a
邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	4.161 4±0.105 1 a	5.418 9±0.313 7 c	4.633 6±0.171 3 b	4.086 8±0.147 2 a
棕榈酸甲酯 Methylpalmitate	1.721 9±0.056 5 a	3.301 6±0.299 5 c	2.070 7±0.108 9 b	1.621 8±0.094 1 a
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	1.330 1±0.063 0 a	1.869 9±0.208 9 b	1.637 6±0.110 4 b	1.141 0±0.077 5 a
亚麻酸甲酯 Methyl linolenate	6.151 5±0.315 0 a	9.938 2±1.038 8 b	6.059 7±0.380 9 a	6.604 0±0.420 0 a

注:表格中的数值用“平均值±标准差”表示,同行数据后标不同小写字母表示同一指标在不同产区间有显著性差异($P<0.05$)。
Note:Data in this table are “means±SD”. Different letters in each row mean significant difference between different regions ($P<0.05$).

2.2 烤烟中致香成分含量的主成分分析及特征指标筛选

对重庆不同产区烤烟中具有显著性差异的 66 项致香成分指标采用 SIMCA-P+11.5 软件进行 PCA 和 PLS-DA 分析,结果见图 1-A 和表 3。由表 3 可知,对 66 项烟叶致香成分原始数据进行 PCA 和 PLS-DA 分析,前 15 个主成分累计方差贡献率为 80.73%(提取>1%的主成分数);采用 66 项烟叶致香成分含量对重庆烟叶进行分类分析,其中前 3 个主成分累计方差贡献率为 54.07%,主成分提取率较低;武陵山区和渝东北秦巴山区的烟叶样品分类效果不尽理想(图 1-A)。上述结果表明采用 66 项指标对重庆烟叶产地溯源性分析有效性较差。为进一步优化所检测的致香成分指标,采用 VIP 法,从

上述 66 项指标中筛选出 VIP 值>1 的指标作进一步分析,结果见表 4。由表 4 可知,在筛选出的 VIP 值>1 的 33 项指标中,糠酸对不同产区的分类贡献较大,丁内酯对不同产区的分类贡献较小,其 VIP 值分别为 1.366 和 1.003。采用 PCA 和 PLS-DA 法对筛选出的 33 项指标进行分析,结果见图 1-B 和表 3。由表 3 可知,前 10 个主成分累计方差贡献率为 81.18%(提取>1%的主成分数)。用 33 项致香成分对重庆不同产烟区进行分类分析,其中前 3 个主成分累计方差贡献率可达 58.71%,主成分提取率有所提高;武陵山区和渝东北秦巴山区的烟叶样品分类效果有所提升(图 1-B)。上述结果表明,采用 33 项指标对重庆不同产烟区产地溯源性分析的有效性较 66 项指标有所提高。

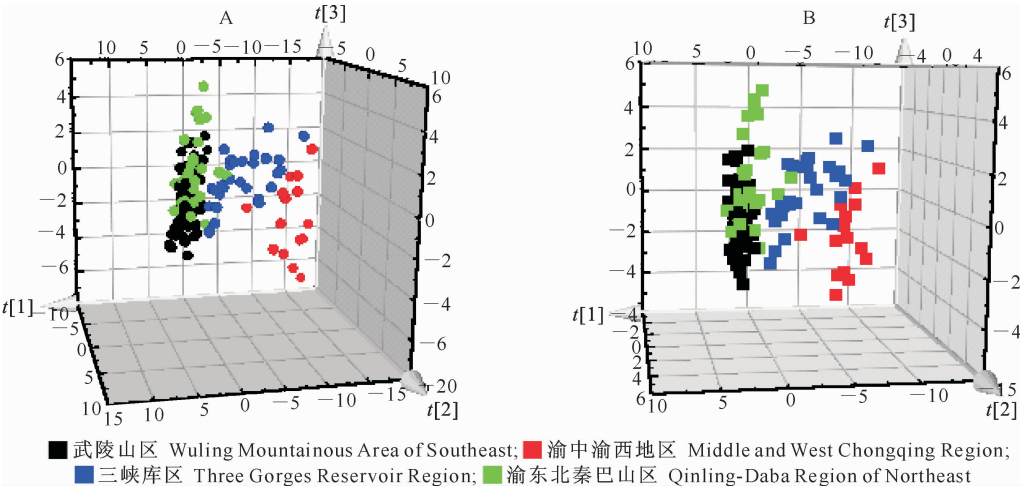


图 1 重庆主要烟草种植区烤烟不同致香成分指标的主成分得分

Fig.1 Principal component scores of different aroma components in tobacco from main tobacco planting areas in Chongqing

A is the PCA score of 66 parameters;B is the PCA score of 33 parameters selected by VIP;
The axis of $t[1]$, $t[2]$ and $t[3]$ mean the first,second and third principal component scores

表 3 重庆主要烟草种植区烤烟不同致香成分指标的主成分分析方差贡献率

主成分 Principal component	方差贡献率 Variance contribution		
	66 项因子 66 factors	33 项 $VIP>1$ 因子 33 $VIP>1$ factor	11 项判别有效因子 11 discriminated effective factors
1	33.58	34.10	45.39
2	14.42	16.38	16.80
3	6.07	8.23	8.72
4	3.96	5.90	8.02
5	3.39	4.19	4.98
6	3.34	3.27	4.06
7	3.22	2.70	2.72
8	2.45	2.23	
9	1.93	2.12	
10	1.89	2.06	
11	1.56		
12	1.50		
13	1.23		
14	1.12		
15	1.07		
累计贡献率 Cumulative variance	80.73	81.18	90.69

表 4 筛选出的重庆主要烟草种植区 VIP 值 >1 烟叶致香成分

化学成分 Chemical component	变量重要性因子 VIP	化学成分 Chemical component	变量重要性因子 VIP
糠酸 Furoicacid	1.366	藏花醛 Safranal	1.111
胡薄荷酮 Pulegone	1.344	2-甲氧基-苯酚 2-methoxy-phenol	1.103
糠醇 Furfuryl alcohol	1.338	茄酮 Solanone	1.101
苯甲醛 Benzaldehyde	1.222	面包酮 2-methyl-tetrahydrofuran-3-ketone	1.087
苯并[b]噻吩 Benzo [b] thiophene	1.205	苯甲醇 Benzyl alcohol	1.081
1-(3-吡啶基)-乙酮 1-(3-pyridyl)-ethyl ketone	1.194	氧化异佛尔酮 Isophorone oxide	1.077
3-甲基-1-丁醇 3-methyl-1-butanol	1.187	2,3-二氢苯并呋喃 2,3-dihydro coumarone	1.074

续表 4 Continued table 4					
化学成分 Chemical component		变量重要性因子 VIP	化学成分 Chemical component		变量重要性因子 VIP
3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone		1.175	2-环戊烯-1,4-二酮 2-cyclopentene-1,4-diketone		1.044
亚麻酸甲酯 Methyl linolenate		1.170	4-吡啶甲醛 4-pyridine formaldehyde		1.038
2-吡啶甲醛 2-pyridine formaldehyde		1.169	1-戊烯-3-酮 1-pentene-3-ketone		1.031
5-甲基糠醛 5-methyl furfural		1.163	2-戊基-呋喃 2-amyl furan		1.027
2,6-壬二烯醛 2,6-nonyldiene aldehyde		1.162	2-甲基苯酚 2-methoxy-phenol		1.027
糠醛 Furfural		1.150	β-紫罗兰酮 β-ionone		1.023
3-甲基-2-丁烯醛 3-methyl-2-butene aldehyde		1.148	棕榈酸 Palmitic acid		1.018
苯乙醇 Phenethyl alcohol		1.129	巨豆三烯酮 C Megastigmatrienone C		1.006
1H-吡咯-2-甲醛 1H-pyrrole-2-formaldehyde		1.117	丁内酯 Butyrolactone		1.003
吡啶 Pyridine		1.114			

2.3 烤烟中致香成分含量的判别分析

从重庆不同产区烤烟样品各致香成分指标的方差分析、主成分分析和偏最小二乘-判别分析结果可以看出,利用致香成分含量对烤烟产地进行判别分析是可行的。为进一步探索各致香成分指标对烤烟产地判别分析的可行性,采用 SPSS 19.0 软件对筛选的 33 项致香成分进行分析,进一步筛选出对烤烟产地判别有效的变量,剔除不必要的干扰变量,建立判别模型。结果显示,苯乙醇(X_1)、3-甲基-2-丁烯醛(X_2)、2-吡啶甲醛(X_3)、4-吡啶甲醛(X_4)、糠酸(X_5)、3-羟基-2-丁酮(X_6)、面包酮(X_7)、1-(3-吡啶基)-乙酮(X_8)、胡薄荷酮(X_9)、β-紫罗兰酮(X_{10})和亚麻酸甲酯(X_{11})11 项指标先后被引入到判别模型中,建立的判别模型如下。

武陵山区: $Y_1 = -29.819 - 2.336X_1 + 70.984X_2 - 114.158X_3 + 92.523X_4 - 60.974X_5 - 32.644X_6 + 152.141X_7 - 73.381X_8 + 182.325X_9 +$

$39.336X_{10} + 0.949X_{11};$ (4)

渝中渝西地区: $Y_2 = -98.604 - 11.958X_1 - 18.118X_2 - 122.566X_3 + 103X_4 - 106.025X_5 - 223.956X_6 + 167.626X_7 + 193.682X_8 + 393.971X_9 + 86.166X_{10} + 2.092X_{11};$ (5)

三峡库区: $Y_3 = -40.128 - 6.034X_1 - 18.662X_2 - 5.349X_3 + 123.859X_4 + 23.99X_5 - 117.427X_6 + 107.066X_7 - 97.195X_8 + 185.19X_9 + 61.683X_{10} + 0.855X_{11};$ (6)

渝东北秦巴山区: $Y_4 = -39.323 - 5.808X_1 + 75.71X_2 - 155.533X_3 + 136.816X_4 - 15.095X_5 - 53.253X_6 + 172.639X_7 - 134.504X_8 + 228.732X_9 + 46.029X_{10} + 0.845X_{11}.$ (7)

利用以上判别模型对样品进行归类分析,并结合“留一法”^[22]对样品进行回代检验和交叉检验分析,结果显示,回代检验判别正确率为 92.5%,交叉检验判别正确率为 90.5%(表 5)。

表 5 重庆不同烤烟种植区烟叶致香成分的判别分析结果

Table 5 Discriminant analysis of flue-cured tobacco samples from different regions in Chongqing								
		判属类别 Predicted group membership				合计 Total	单项 正确率 % Single correct	合计 正确率 % Total correct
项目 Item	指标 Index	武陵山区 Wuling Mountainous Area of Southeast	渝中渝西地区 Middle and West Chongqing Region	三峡库区 Three Gorges Reservoir Region	渝东北秦 巴山区 Qinling-Daba Region of Northeast			
回代验证 Original	计数 Count	68	0	0	7	75	90.7	92.5
		0	15	0	0	15	100.0	
		0	0	29	1	30	96.7	
		3	0	0	24	27	88.9	
交叉验证 Cross- validated	计数 Count	67	0	0	8	75	89.3	90.5
		0	15	0	0	15	100.0	
		0	0	29	1	30	96.7	
		5	0	0	22	27	81.5	

由表 3 可知,采用上述 11 项致香成分对不同产区烟叶进行判别分析,前 5 个主成分累计贡献率为 83.91%,说明主成分提取较为完全。由图 2 可知,重庆主要烟草种植区的烤烟样品位于不同的空间,表明采用最终筛选出的 11 项致香成分指标对烤烟

产地的判别分析效果较好,是适用于烤烟产地溯源的一种有效方法。

3 讨论与结论

香气物质是影响烟叶质量和可用性的重要因

素,烟叶品质的优劣,很大程度上取决于烟叶中的致香成分^[23]。遗传和环境因素是决定烟叶品质优劣的主要因素,遗传因素影响香气物质的性质和种类,环境因素则影响香气物质的含量和组分比例^[24]。本研究通过对重庆主要烟草种植区(渝中渝西地区、三峡库区、渝东北秦巴山区和武陵山区)12个产地的4个品种(云烟87、云烟97、K326和贵烟四号)烟叶样品致香成分含量进行分析,结果显示,从不同产地、不同品种和不同等级烟叶样品中均检测出70项致香成分,其中除2,4-庚二烯醛B、1-(2-呋喃基)-乙酮、金合欢基丙酮B和新植二烯4项指标在不同产区间无显著性差异外,其余66项指标均具有显著性差异。本研究发现,重庆主要烟草种植区的烟叶样品中致香成分种类基本相同,但含量和比例却不尽相同,这与汪耀富等^[4]和刘培玉等^[8]的研究结果一致。

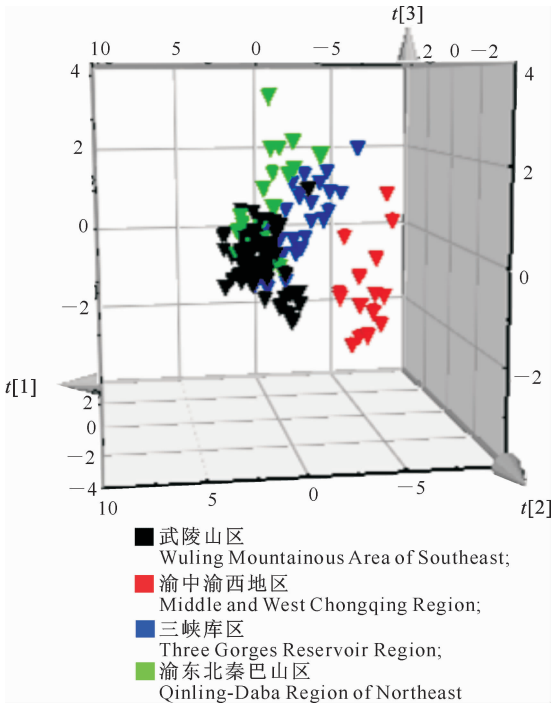


图 2 重庆主要烟草种植区烤烟不同致香成分指标判别函数的得分
 $t[1]$ 、 $t[2]$ 、 $t[3]$ 分别代表第1、第2、第3主成分得分
Fig. 2 Score of discrimination function of different aroma components in tobacco from main tobacco planting areas in Chongqing
The axis of $t[1]$ 、 $t[2]$ and $t[3]$ mean the first, second and third principal component scores

本研究采用多重分析方法对重庆主要烟草种植区具有显著性差异的66种致香成分含量进行分析发现,在武陵山区样品中糠醛和吡啶含量最高;渝中

渝西地区中芳樟醇、3-氧代- α -紫罗兰醇、植醇、 β -大马酮、香叶基丙酮、 β -紫罗兰酮、巨豆三烯酮A、B、C、D、金合欢基丙酮A、吡啶、二氢猕猴桃内酯、肉豆蔻酸甲酯、邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸甲酯和亚麻酸甲酯等含量显著高于其他产区;三峡库区中苯甲醛和棕榈酸含量显著高于其他产区;渝东北秦巴山区中3-甲基-1-丁醇和3-甲基-2-丁烯醛含量最高。可知不同烤烟种植区烟叶中致香成分含量具有显著性差异,这对采用致香成分物质判别不同烤烟产地烟叶风格特征提供了依据,同时也为后续采用PLS-DA和逐步判别分析证实其产地的可行性奠定了基础。

本研究利用VIP法对66种具有显著性差异的致香成分含量进行分类分析,优化出33种指标,之后并进一步采用逐步判别又从中筛选出苯乙醇、3-甲基-2-丁烯醛、2-吡啶甲醛、4-吡啶甲醛、糠酸、3-羟基-2-丁酮、面包酮、1-(3-吡啶基)-乙酮、胡薄荷酮、 β -紫罗兰酮和亚麻酸甲酯11项指标。采用上述11项指标对重庆不同产地烟草进行判别,并对样本分布进行回代检验和交叉检验,正确率分别为92.5%和90.5%,表明采用致香成分对烤烟产地的判别效果较好。

烟叶风格特色是烟叶质量中的核心部分,具有确定性、稳定性和可用性特征,受遗传因素、生态环境和栽培技术等多种因素的影响^[25-27]。大量研究表明,生态条件对烟叶致香物质含量有显著影响,是烤烟香气风格形成的主导因素,对烟叶吃香味具有明显的、不可代替的地域特征^[11,28-31]。对致香成分物质的研究为烟叶风格特色的科学表述奠定了基础,对烟叶风格特色的定位具有重要作用^[32-34]。然而,不同地区烟叶致香物质组成基本相同,但其含量差异明显,这是形成不同产地烟叶独特风格的重要因素^[4,8]。因此,本研究构建了采用致香成分溯源产地的分类模型,可准确、快速地鉴别和评价不同产地的烟叶,为烟叶产地溯源提供了一种新的方法,该方法为不同产区烟叶风格特色形成的物质基础研究提供了理论依据。

[参考文献]

[1] 石宏志,刘国顺,杨惠娟,等.烟草香味学[M].北京:中国农业出版社,2011.
Shi H Z, Liu G S, Yang H J, et al. Tobacco aroma [J]. Beijing: China Agriculture Press, 2011. (in Chinese)
[2] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,等.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):20-30.

- Zhou J H, Yang H Q, Lin G H, et al. Studies on the main volatile aroma components in tobacco from different flue-cured tobacco production regions [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2004, 30(1): 20-30. (in Chinese)
- [3] 程昌新, 卢秀萍, 许自成, 等. 基因型和生态因素对烟草香气物质含量的影响 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 137-139.
- Cheng C X, Lu X P, Xu Z C, et al. Effects of genotype and ecological factors on content of aroma components of tobacco [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(11): 137-139. (in Chinese)
- [4] 汪耀富, 高华军, 刘国顺, 等. 不同基因型烤烟叶片致香物质含量的对比分析 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 117-120.
- Wang Y F, Gao H J, Liu G S, et al. Study on contents of aroma constituents of different genotypes in flue-cured tobacco leaves [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(5): 117-120. (in Chinese)
- [5] Vontimitta V, Daneshmandi D A, Steede T, et al. Analysis of a *Nicotiana tabacum* L. genomic region controlling two leaf surface chemistry traits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(1): 294-300.
- [6] Severson R F, Arrendale R F, Chortyk O T, et al. Quantitation of the major cuticular components from green leaf of different tobacco types [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(3): 566-570.
- [7] 梁洪波, 刘昌宝, 许家来, 等. 山东不同土壤类型对烟叶品质的影响 [J]. 中国烟草科学, 2006(2): 41-43.
- Liang H B, Liu C B, Xu J L, et al. The effects of different soil types in Shandong Province on tobacco leaf quality [J]. Chinese Tobacco Science, 2006(2): 41-43. (in Chinese)
- [8] 刘培玉, 王新发, 王 健, 等. 不同生态地区烤烟主要致香物质含量的变化 [J]. 浙江农业学报, 2010, 22(2): 239-243.
- Liu P Y, Wang X F, Wang J, et al. Changes of aroma constituents of different flue-cured tobacco genotypes in different ecoregions [J]. Acta Agriculture Zhejiangensis, 2010, 22(2): 239-243. (in Chinese)
- [9] 赵晓丹, 石宏志, 钱 华, 等. 不同类型烟草常规化学成分与中性致香物质含量分析 [J]. 华北农学报, 2012, 27(3): 234-238.
- Zhao X D, Shi H Z, Qian H, et al. Comparison of composition and contents of chemical component and neutral aroma components in different types of tobacco [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012, 27(3): 234-238. (in Chinese)
- [10] 曹建敏, 刘帅师, 邱 军, 等. 烤烟重要致香物质与评吸质量的相关性研究 [J]. 中国烟草科学, 2012, 33(6): 75-78.
- Cao J M, Liu S S, Qiu J, et al. Relationship among important aroma constituents and smoking quality of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2012, 33(6): 75-78. (in Chinese)
- [11] 程 恒, 罗华元, 杜文杰, 等. 云南不同生态因子对烤烟品种 K326 致香成分的影响 [J]. 中国烟草科学, 2013, 34(3): 70-73.
- Cheng H, Luo H Y, Du W J, et al. Effects of different ecological factors on aroma component contents in flue-cured tobacco K326 in Yunnan [J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(3): 70-73. (in Chinese)
- [12] Zhang L, Wang X Y, Gao J Z, et al. Metabolic profiling of Chinese tobacco leaf of different geographical origins by GC-MS [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(11): 2597-2605.
- [13] 周淑平, 肖 强, 陈叶君, 等. 不同生态地区初烤烟中重要致香物质的分析 [J]. 中国烟草学报, 2004, 10(1): 9-16.
- Zhou S P, Xiao Q, Chen Y J, et al. Analysis of important aroma components in flue-cured tobacco leaves from different ecological regions [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2004, 10(1): 9-16. (in Chinese)
- [14] 逢 涛, 邓建华, 孔光辉, 等. 云南省新烟区烟叶与津巴布韦烟叶致香成分比较分析 [J]. 西南农业学报, 2011, 24(1): 66-70.
- Pang T, Deng J H, Kong G H, et al. Comparison of flavor related compounds between Yunnan new tobacco growing areas and Zinbabwe flue-cured tobacco [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(1): 66-70. (in Chinese)
- [15] 黎莉莉, 袁昌定, 冯 洋, 等. 重庆市农业功能区划研究 [J]. 中国农业资源与区划, 2009, 30(4): 43-47.
- Li L L, Yuan C D, Feng Y, et al. Studies on agricultural function regional planning of Chongqing municipality [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2009, 30(4): 43-47. (in Chinese)
- [16] 王 玉, 王保兴, 武 怡, 等. 卷烟挥发性成分的聚类分析 [J]. 烟草科技, 2007(2): 48-52.
- Wang Y, Wang B X, Wu Y, et al. Cluster analysis of volatile components in cigarette [J]. Tobacco Science & Technology, 2007(2): 48-52. (in Chinese)
- [17] 许 禄, 邵学广. 化学计量学方法 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2004.
- Xu L, Shao X G. Methods of chemometrics [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)
- [18] Eriksson L, Johansson E, Kettaneh-Wold N, et al. Multi-and megavariable data analysis [M]. Sweden: Umetrics AB, 2006.
- [19] 王小娟, 刘妍如, 肖炳坤, 等. 不同标度化方法对川楝子毒性的代谢组学研究的影响 [J]. 现代仪器, 2011, 17(2): 28-30, 38.
- Wang X J, Liu Y R, Xiao B K, et al. Effects of different scale methods to the study of toxicity metabonomics of toosendanin [J]. Modern Instruments, 2011, 17(2): 28-30, 38. (in Chinese)
- [20] 杨金明, 范文义, 李明泽, 等. 长白山林区森林生物量变化定量驱动分析 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 47-52.
- Yang J M, Fan W Y, Li M Z, et al. Quantitative driving analysis of forest biomass changes in Changbai Mountain forest region [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(1): 47-52. (in Chinese)
- [21] 陈希镇, 曹慧珍. 判别分析和 SPSS 的使用 [J]. 科学技术与工程, 2008, 8(13): 3567-3571, 3574.
- Chen X Z, Cao H Z. Discriminant analysis and application of SPSS [J]. Science Technology and Engineering, 2008, 8(13): 3567-3571, 3574. (in Chinese)

- [22] Cawley G C, Talbot N L C. Efficient leave-one-out cross-validation of kernel fisher discriminant classifiers [J]. *Pattern Recognition*, 2003, 36(11): 2585-2592.
- [23] 周 坤, 周清明, 胡晓兰, 等. 烤烟香气物质研究进展 [J]. *中国烟草科学*, 2008, 29(2): 56-61.
Zhou K, Zhou Q M, Hu X L, et al. Advance in aroma substances in flue-cured tobacco [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2008, 29(2): 56-61. (in Chinese)
- [24] 张 强, 董高峰, 和智君, 等. 云南主产烟区烤烟中性致香物质含量的差异分析 [J]. *江苏农业科学*, 2012, 24(7): 80-84.
Zhang Q, Dong G F, He Z J, et al. Analysis of difference in neutral aroma components of flue-cured tobacco in main tobacco-growing areas in Yunnan Province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(7): 80-84. (in Chinese)
- [25] 赵铭钦, 陈秋会, 陈红华. 中外烤烟烟叶中挥发性香气物质的对比分析 [J]. *华中农业大学学报*, 2007, 26(6): 875-879.
Zhao M Q, Chen Q H, Chen H H. Analysis on the volatile neutral flavor components of flue-cured tobacco from domestic and abroad [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2007, 26(6): 875-879. (in Chinese)
- [26] 张永安, 郑湖南, 周冀衡, 等. 不同产区烤烟香气特征与化学成分的差异 [J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 33(5): 568-571.
Zhang Y A, Zheng H N, Zhou J H, et al. The aroma characters and difference analysis of main conventional chemical compositions in different flue-cured tobacco production regions [J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2007, 33(5): 568-571. (in Chinese)
- [27] 唐远驹. 烟叶风格特色的定位 [J]. *中国烟草科学*, 2008, 29(3): 1-5.
Tang Y J. Orientation of style and characteristics of tobacco leaves [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2008, 29(3): 1-5. (in Chinese)
- [28] 邵 丽, 晋 艳, 杨宇虹, 等. 生态条件对不同烤烟品种烟叶产质量的影响 [J]. *烟草科技*, 2002(10): 40-45.
Shao L, Jin Y, Yang Y H, et al. Influences of ecological conditions on the yield and quality of different flue-cured cultivars [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2002(10): 40-45. (in Chinese)
- [29] 郝永生, 胡保文, 杨德海, 等. 不同生态地区初烤有机烟叶品质比较分析 [J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(24): 6072-6075.
Hao Y S, Hu B W, Yang D H, et al. Comparative analysis of quality of organic flue-cured tobacco in different ecological regions [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(24): 6072-6075. (in Chinese)
- [30] 杨天沛, 钟 蕾, 付继刚, 等. 黔东南烟区烟叶致香物质的定量分析 [J]. *中国烟草科学*, 2013, 34(1): 22-28.
Yang T P, Zhong L, Fu J G, et al. Analysis on aroma component contents of tobacco leaves in Qiandongnan tobacco-growing region [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34(1): 22-28. (in Chinese)
- [31] 周海燕, 苏 菲, 孙军伟, 等. 生态环境对白肋烟上部叶的品质和中性香气成分的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(7): 844-852.
Zhou H Y, Su F, Sun J W, et al. Effect of ecological environment on upper stalk leaves quality and neutral aroma components of burley tobacco [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(7): 844-852. (in Chinese)
- [32] 邵 岩, 宋春满, 邓建华, 等. 云南与津巴布韦烤烟致香物质的相似性分析 [J]. *中国烟草学报*, 2007, 13(4): 19-21.
Shao Y, Song C M, Deng J H, et al. Similarity analysis of aromatic compounds between flue-cured tobacco leaves from Yunnan and Zimbabwe [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2007, 13(4): 19-21. (in Chinese)
- [33] 邵 岩, 方敦煌, 邓建华, 等. 云南与津巴布韦烤烟致香物质含量差异研究 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(8): 70-74.
Shao Y, Fang D H, Deng J H, et al. The difference in the aroma of flue-cured tobacco between Yunnan and Zimbabwe [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(8): 70-74. (in Chinese)
- [34] 薛超群, 王建伟, 奚家勤, 等. 烤烟烟叶理化指标与浓香型风格程度的关系 [J]. *烟草科技*, 2012(1): 52-56.
Xue C Q, Wang J W, Xi J Q, et al. Relationship between physical-chemical indexes and full flavor style degree of flue-cured tobacco leaves [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2012(1): 52-56. (in Chinese)