

## 烤烟品种间烟叶化学成分含量对海拔高度的响应

李军营<sup>1</sup>, 方敦煌<sup>1</sup>, 宋春满<sup>1</sup>, 李向阳<sup>1</sup>, 逢涛<sup>1</sup>, 邓建华<sup>1\*</sup>, 刘腾飞<sup>2</sup>

(1. 云南省烟草农业科学研究院, 云南 玉溪 653100; 2. 湖北中烟工业有限责任公司, 武汉 430051)

**摘要:** 为了探讨品种间烤烟化学成分与海拔高度的相关性, 在云南不同海拔 (706~2356 m) 植烟区采集 182 个烤烟中部烟叶样品, 品种涉及云烟 87、云烟 85、K326 和红大, 检测了样品中的 34 种化学成分, 通过相关分析和聚类分析, 比较了化学成分及其与海拔高度相关性在品种间的差异。结果表明, 4 个品种中红大可溶性糖类和有机酸类含量最低, 总氮、烟碱、质体色素和多酚类物质含量最高, 明显区别于其他 3 个品种。相关分析表明, K326 中总糖、总氮、烟碱、石油醚提取物等指标与海拔高度的相关性明显不同于其他 3 个品种, 类似的结果也体现在丙二酸、丁二酸和亚油酸、 $\beta$ -胡萝卜素、单双糖含量等指标。因此, 烟叶的化学成分及其随海拔高度的变化情况存在着较大的品种差异。

**关键词:** 烤烟; 海拔; 化学成分; 品种

中图分类号: TS41<sup>+</sup>1

文章编号: 1007-5119(2012)02-0017-07

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2012.02.004

## Different Response of Chemical Substances to Altitude in Leaves of Different Flue-cured Tobacco Cultivars

LI Junying<sup>1</sup>, FANG Dunhuang<sup>1</sup>, SONG Chunman<sup>1</sup>, LI Xiangyang<sup>1</sup>, PANG Tao<sup>1</sup>,  
DENG Jianhua<sup>1\*</sup>, LIU Tengfei<sup>2</sup>

(1. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Yuxi, Yunnan 653100, China; 2. China Tobacco Hubei Industrial Co., Ltd., Wuhan 430051, China)

**Abstract:** In order to study the correlation between contents of chemical substances and altitude, 182 of flue-cured tobacco cutter leaf samples were collected from different altitudes in Yunnan. The sampling altitude ranged from 706 m to 2356 m and the tobacco cultivars included Yunyan87, Yunyan85, K326 and Honghuadajinyuan (HD). The main chemical substances and aroma precursors such as organic acids, polyphenols, were detected in these samples. The difference in chemical substance contents and their correlation with altitude were studied through correlation and cluster analysis. The results showed that the contents of soluble sugars, organic acid in HD were the lowest in four tobacco cultivars, while total nitrogen, nicotine, plastid pigments and polyphenols were the highest. The correlations between contents of total sugar, total nitrogen, nicotine and petroleum ether extracts and altitude in K326 were different from the other three tobacco cultivars. The same results were found in the correlation between organic acids (malonic acid, succinic acid, linoleic acid), plastid pigments (beta renieratene), monosaccharide and disaccharide and altitude, respectively. Therefore, the change of chemical substances in flue-cured tobacco leaves with tobacco planting area altitude is greatly affected by genotypes.

**Keywords:** flue-cured tobacco; altitude; chemical substance; cultivar

烤烟风格特征的形成是多种环境因素共同作用的结果, 温、光、水、肥、气等生态条件是影响烤烟品质形成的重要因子, 而这些生态因子往往随着海拔高度的变化而相应发生变化, 海拔越高空气逐渐稀薄, 到达地面的太阳辐射能量和紫外线强度

增加, 气温降低, 昼夜温差加大, 土壤类型及其营养状况也相应有所变化, 因此, 应把海拔高度看作是一个综合性的生态指标, 而不是单一因子。研究海拔高度对烟叶化学成分的影响对于探明烤烟风格特征形成的物质基础具有十分重要的意义。

基金项目: 云南省烟草公司科技计划项目“云南烤烟清香型风格的物质基础研究”(07A01); “云南主要烟区烟叶质量数据库及评价”(05-17)

作者简介: 李军营, 男, 博士, 助研, 主要从事烟草生理生化研究工作。E-mail: ljy1250@163.com。\*通信作者, dengjianhua@yntsti.com

收稿日期: 2010-07-28

国内学者对烤烟化学成分随海拔高度变化情况的研究早已关注<sup>[1-10]</sup>。早期的研究如李明海等<sup>[1]</sup>和陈传猛等<sup>[2]</sup>的研究结果均表明,总糖、还原糖含量与海拔呈正相关,烟碱、总氮含量与海拔呈负相关关系,此结论得到了后续研究结果的证实<sup>[4-6]</sup>。但研究结果不尽相同,简永兴等<sup>[7]</sup>研究表明烤烟总糖含量与海拔无明显的相关性,王彪等<sup>[8]</sup>的研究结果则与前面的结论相悖。引起烟叶化学成分与海拔高度相关性不一致的因素有许多种,其中品种差异不容忽视<sup>[9]</sup>。本文从云南省12个植烟地州采集182个样品,海拔跨度为706~2356 m,品种为云南省主栽的4个品种,以期从品种因素角度阐明造成烤烟化学成分与海拔相关性研究结果不一致的原因。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

样品采集地点、品种和海拔跨度见表1。共取样182个,涉及云南省11个植烟地州,烟叶等级均为C3F,品种为云烟87、云烟85、K326和红花大金元(简称:红大),用GPS测定采样点的海拔高度。

### 1.2 化学成分检测

总糖、还原糖、淀粉、烟碱、总氮和氯含量采用连续流动法测定,依据标准分别为YC/T159—2002、YC/T216—2007、YC/T160—2002、YC/T161—2002和YC/T162—2002;钾含量依据YC/T173

—2003采用火焰光度法测定;石油醚提取物依据YC/T176—2003采用索式提取法测定;pH依据GB/T6920—1986采用玻璃电极法测定;有机酸分析参照参考文献[12];多酚类物质检测参照参考文献[13];质体色素测定采用HPLC-DAD方法进行,用丙酮提取质体色素,用Agilent1100高效液相色谱仪检测,采用线性洗脱外标法定量;葡萄糖、果糖和蔗糖的测定采用行业标准中(YC/T 251—2008)离子色谱法进行。

### 1.3 数据统计

采用SPSS 16.0相应程序包进行相关指标的方差分析、多重比较、相关分析和聚类分析。

## 2 结果

### 2.1 烤烟品种间烟叶常规化学成分含量对海拔高度的响应

2.1.1 烤烟品种间烟叶常规化学成分含量差异分析 从表2看出,4个烤烟品种中总糖、还原糖、淀粉含量和两糖差均表现为云烟87 > 云烟85 > K326 > 红大,且云烟87的总糖、还原糖含量与红大的差异达到显著水平。两糖差和淀粉在4个品种间存在差异,但均未达到显著水平。总氮和烟碱含量以红大和云烟85含量最高,显著高于云烟87, K326则居中间水平。糖碱比以云烟87最高,显著大于云烟85和红大, K326则居于云烟87和云烟85之间。云烟87的氮碱比最高,其次是K326和

表1 烟叶样品来源、海拔分布及数量

Table 1 Sampling place, its altitude and amount of flue-cured tobacco leaf samples

| 取样地区 | 云烟87            | 云烟85          | K326          | 红大            | 合计  |
|------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| 昆明   | 9a/(1686~2073)b | 3/(1810~1898) | 8/(1552~2221) | 9/(1415~2326) | 29  |
| 玉溪   | 7/(1530~1811)   | 6/(1415~1888) | 7/(1526~1818) | 1/(1600)      | 21  |
| 曲靖   | 6/(1851~2099)   | 9/(1400~2136) | 4/(1576~2169) | 5/(1890~2012) | 24  |
| 红河   | 7/(1286~2104)   | 7/(1106~1536) | 7/(1101~1795) | 5/(1106~2000) | 26  |
| 楚雄   | 7/(1821~1977)   | 6/(1077~1856) | 3/(1739~2356) | -             | 16  |
| 大理   | 6/(1862~2356)   | 5/(1588~2210) | 6/(1521~1961) | 2/(1629~2160) | 19  |
| 保山   | 2/(1683~1700)   | 5/(1110~1864) | 4/(938~2224)  | 3/(960~1864)  | 14  |
| 丽江   | 3/(1898~2220)   | 3/(1343~2232) | -             | -             | 6   |
| 临沧   | 1/(1188)        | -             | 3/(1390~2219) | -             | 4   |
| 昭通   | 5/(1171~1944)   | 2/(1964~2266) | 2/(1171~1944) | 3/(706~1268)  | 12  |
| 文山   | 6/(1166~1566)   | 5/(1185~1584) | -             | -             | 11  |
| 样品合计 | 59              | 51            | 44            | 28            | 182 |

注:表中a处数值表示样品数量,b处数值表示样品采集地的海拔范围。

云烟 85, 红大的氮碱比显著低于另外 3 个品种。钾含量红大和 K326 显著高于 2 个云烟品种, 而氯、pH 和石油醚提取物 4 个品种间差异不显著。

2.1.2 常规化学成分含量与海拔高度相关性的品种差异 由表 3 看出, 云烟 87、云烟 85 和红大总糖、还原糖含量随海拔高度的增加而增加, 且云烟 87 的总糖、还原糖含量和红大的总糖含量与海拔高度的正相关性均达到极显著和显著水平, 但 K326 的总糖和还原糖含量与海拔高度呈明显的负相关。因此, 总糖和还原糖含量随海拔高度变化呈明显的品种间差异, K326 明显区别于其他品种, 类似的结果也体现在糖碱比、氮碱比和 pH 上。K326 对海拔高度的敏感性不同于其他 3 个品种还表现在总氮和烟碱含量上, 云烟 87、云烟 85 和红大烟叶内总氮和烟碱含量随海拔高度增加而降低或变化不明显, 其中云烟 87 的总氮和烟碱含量与海拔高度的负相关性达到极显著水平, 但 K326 的两个指标含量与海拔高度呈明显的正相关关系, 类似结果还体现在烟叶中的石油醚提取物上。4 个烤烟品种烟叶淀粉和氯离子含量受海拔高度的影响不明显, 而钾离子的含量与海拔高度呈负相关。

2.2 烤烟品种间烟叶中非挥发性有机酸和多元脂肪酸含量对海拔高度的响应

2.2.1 烤烟品种间烟叶非挥发性有机酸和多元脂肪酸含量差异分析 烟叶的非挥发性有机酸通常包括草酸、丙二酸、丁二酸、苹果酸和柠檬酸, 其中以苹果酸含量最为丰富, 其次是草酸, 柠檬酸, 丙二酸, 以丁二酸含量最低。表 4 看出, 4 个烤烟品种以红大烟叶中苹果酸和柠檬酸含量最低, 显著低于其他 3 个品种, 而草酸含量则以红大含量最高, 显著高于其他 3 个品种, 丙二酸和丁二酸含量在 4 个品种间没有差异。多元脂肪酸通常包括十四酸、棕榈酸、十八酸、油酸、亚油酸和亚麻酸, 以亚麻酸含量最高, 其次是棕榈酸、亚油酸、十八酸和油酸, 以十四酸含量最低。亚麻酸、油酸和十八酸均以红大品种烟叶中含量最低, 显著低于另外 3 个品种, 而十四酸则以红大最高, 显著高于另外 3 个品种, 棕榈酸和亚油酸在 4 个品种间没有显著差异。

2.2.2 非挥发性有机酸和多元脂肪酸与海拔高度相关性的品种差异 表 5 看出, 4 个品种的草酸和柠檬酸含量随海拔高度的升高而升高, K326 和红大中草酸含量与海拔高度的相关性明显强于 2 个云烟品种。云烟 87、云烟 85 和红大的丙二酸含量与海拔高度呈明显的负相关关系, 其中两个云烟品种的丙二酸含量与海拔高度的相关性达到极显著 ( $p < 0.01$ ) 和显著 ( $p < 0.05$ ) 的水平, 而 K326 丙

表 2 云南不同烤烟品种间烟叶常规化学成分含量  
Table 2 Chemical components in different flue-cured cultivars leaves from different altitudes

| 品种          | 指标    | 总糖      | 还原糖      | 两糖差    | 淀粉     | 总氮      | 烟碱      |
|-------------|-------|---------|----------|--------|--------|---------|---------|
| 云烟 87(n=64) | 均值    | 33.17a  | 29.04 a  | 4.14 a | 4.72 a | 1.87b   | 2.37 b  |
|             | RSD/% | 13.09   | 11.49    | 54.88  | 26.80  | 12.52   | 25.59   |
| 云烟 85(n=54) | 均值    | 31.92ab | 28.44 ab | 3.48 a | 4.70 a | 2.00 a  | 2.67 a  |
|             | RSD/% | 10.93   | 9.67     | 58.74  | 27.21  | 12.18   | 22.48   |
| 红大(n=28)    | 均值    | 30.54b  | 27.25 b  | 3.29 a | 4.27 a | 1.97 a  | 2.86 a  |
|             | RSD/% | 13.24   | 12.08    | 57.83  | 27.54  | 10.62   | 20.04   |
| K326(n=45)  | 均值    | 31.57ab | 28.09 ab | 3.48 a | 4.39a  | 1.95 ab | 2.61 ab |
|             | RSD/% | 12.42   | 14.00    | 53.80  | 30.80  | 12.66   | 26.72   |

| 品种          | 指标    | 糖碱比      | 氮碱比    | 氯      | 钾      | pH     | 石油醚提取物 |
|-------------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 云烟 87(n=64) | 均值    | 15.11 a  | 0.82 a | 0.26 a | 1.82 b | 5.47 a | 5.74 a |
|             | RSD/% | 31.23    | 19.53  | 107.08 | 17.58  | 2.15   | 10.81  |
| 云烟 85(n=54) | 均值    | 12.78 bc | 0.77 a | 0.24 a | 1.79 b | 5.44 a | 5.96 a |
|             | RSD/% | 31.36    | 16.13  | 51.40  | 16.60  | 2.16   | 9.92   |
| 红大(n=28)    | 均值    | 11.22 c  | 0.71 b | 0.29 a | 2.05 a | 5.49 a | 5.99 a |
|             | RSD/% | 28.37    | 15.34  | 88.40  | 15.14  | 2.89   | 12.23  |
| K326(n=45)  | 均值    | 13.3 ab  | 0.78 a | 0.25 a | 2.00 a | 5.48 a | 5.83 a |
|             | RSD/% | 36.95    | 19.84  | 63.22  | 13.07  | 2.08   | 11.59  |

注: 不同小写字母表示品种间差异达到显著水平 ( $p < 0.05$ ), 下同。

表3 云南不同烤烟品种烟叶常规化学成分与海拔高度相关系数

Table 3 Correlation of normal chemical components in different flue-cured cultivars leaves with sampling place altitude in Yunnan

| 品种          | 总糖      | 还原糖    | 两糖差     | 淀粉     | 总氮       | 烟碱       |
|-------------|---------|--------|---------|--------|----------|----------|
| 云烟 87(n=64) | 0.506** | 0.318* | 0.501** | 0.122  | -0.364** | -0.357** |
| 云烟 85(n=54) | 0.238   | 0.181  | 0.162   | -0.058 | -0.068   | 0.001    |
| 红花大金元(n=28) | 0.401*  | 0.327  | 0.287   | 0.167  | 0.036    | -0.049   |
| K326(n=45)  | -0.182  | -0.255 | 0.156   | -0.131 | 0.183    | 0.225    |

| 品种          | 糖碱比     | 氮碱比    | 氯      | 钾       | pH     | 石油醚提取物  |
|-------------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|
| 云烟 87(n=64) | 0.375** | 0.163  | -0.032 | -0.217  | 0.128  | -0.387* |
| 云烟 85(n=54) | 0.142   | 0.016  | 0.139  | -0.267  | 0.013  | -0.227  |
| 红花大金元(n=28) | 0.225   | 0.119  | 0.312  | -0.389* | 0.252  | -0.335  |
| K326(n=45)  | -0.170  | -0.155 | 0.048  | -0.013  | -0.251 | 0.093   |

注：表中“\*”和“\*\*”分别表示相应指标与海拔高度的相关性达到显著( $p < 0.05$ )和极显著水平( $p < 0.01$ )，下同。

表4 云南不同烤烟品种间烟叶非挥发性有机酸和多元脂肪酸含量

Table 4 Non-volatile organic acid and senior fatty acid in different flue-cured cultivars leaves sampling from different altitude tobacco growing area in Yunnan

| 品种          | 指标    | 草酸       | 丙二酸     | 丁二酸     | 苹果酸      | 柠檬酸      | 十四酸      |
|-------------|-------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 云烟 87(n=64) | 均值    | 29.164 b | 5.519 a | 0.315 a | 62.764 a | 8.171 a  | 0.141 bc |
|             | RSD/% | 10.060   | 8.210   | 1.900   | 25.780   | 32.340   | 12.670   |
| 云烟 85(n=54) | 均值    | 30.024b  | 5.518 a | 0.313 a | 60.930 a | 8.031 a  | 0.147 ab |
|             | RSD/% | 9.320    | 6.560   | 1.760   | 24.310   | 31.700   | 14.190   |
| 红大(n=28)    | 均值    | 34.614a  | 5.707 a | 0.315 a | 55.093 b | 6.991 b  | 0.157 a  |
|             | RSD/% | 11.860   | 9.460   | 1.850   | 21.540   | 28.780   | 14.110   |
| K326(n=45)  | 均值    | 29.289 b | 5.597 a | 0.315 a | 63.819 a | 7.582 ab | 0.138 c  |
|             | RSD/% | 9.490    | 8.690   | 1.740   | 23.540   | 29.050   | 11.960   |

| 品种          | 观察值   | 棕榈酸     | 十八酸       | 油酸        | 亚油酸     | 亚麻酸     |
|-------------|-------|---------|-----------|-----------|---------|---------|
| 云烟 87(n=64) | 均值    | 2.486 a | 0.892 a   | 0.703 b   | 1.663 a | 4.284 a |
|             | RSD/% | 13.780  | 9.400     | 20.660    | 20.110  | 22.820  |
| 云烟 85(n=54) | 均值    | 2.525 a | 0.882 a b | 0.756 a b | 1.743 a | 4.202 a |
|             | RSD/% | 14.580  | 8.280     | 22.340    | 21.060  | 22.250  |
| 红大(n=28)    | 均值    | 2.481 a | 0.849 b   | 0.685 b   | 1.844 a | 3.495 b |
|             | RSD/% | 11.400  | 8.820     | 22.310    | 17.740  | 18.680  |
| K326(n=45)  | 均值    | 2.487 a | 0.878 a b | 0.804 a   | 1.693 a | 4.111 a |
|             | RSD/% | 14.340  | 10.530    | 31.830    | 19.760  | 25.950  |

表5 云南不同烤烟品种烟叶中非挥发性有机酸和多元脂肪酸与海拔高度相关系数

Table 5 Correlation of non-volatile organic acid and senior fatty acid in different flue-cured cultivars leaves with sampling place altitude in Yunnan

| 品种          | 草酸    | 丙二酸      | 丁二酸    | 苹果酸    | 柠檬酸   | 十四酸      |
|-------------|-------|----------|--------|--------|-------|----------|
| 云烟 87(n=64) | 0.04  | -0.421** | 0.284* | -0.119 | 0.136 | -0.506** |
| 云烟 85(n=54) | 0.025 | -0.308*  | -0.123 | 0.166  | 0.139 | -0.338*  |
| 红花大金元(n=28) | 0.228 | -0.122   | 0.119  | -0.021 | 0.144 | -0.464*  |
| K326(n=45)  | 0.246 | 0.178    | -0.089 | 0.124  | 0.262 | -0.033   |

| 品种          | 棕榈酸    | 十八酸    | 油酸    | 亚油酸     | 亚麻酸    |
|-------------|--------|--------|-------|---------|--------|
| 云烟 87(n=64) | 0.007  | 0.032  | 0.088 | -0.269* | 0.022  |
| 云烟 85(n=54) | -0.142 | -0.124 | 0.238 | -0.311* | -0.151 |
| 红花大金元(n=28) | -0.173 | -0.019 | 0.067 | -0.259  | -0.172 |
| K326(n=45)  | -0.012 | 0.04   | 0.171 | 0.107   | 0.036  |

二酸含量与海拔高度呈明显正相关关系。云烟 87 中丁二酸与海拔高度呈显著的正相关，其他 3 个品种与海拔高度的相关性不显著。亚油酸和十四酸与海拔高度相关性达到显著水平，且存在明显的品种

差异。云烟 87、云烟 85 和红大的亚油酸与海拔高度呈负相关，其中云烟 85 和云烟 87 亚油酸含量与海拔高度的相关性达显著水平，K326 亚油酸含量则与海拔呈正相关。4 个品种十四酸含量与海拔高

度均呈负相关关系，但云烟 87、云烟 85 和红大与海拔高度的相关性达到极显著或显著水平，而 K326 与其相关性不明显。

### 2.3 烤烟品种间烟叶酚类、质体色素类、单双糖含量对海拔高度的响应

2.3.1 烤烟品种间烟叶酚类、质体色素类和单双糖含量的差异分析 初烤烟中质体色素主要是叶黄素和  $\beta$ -胡萝卜素，叶绿素含量极低，检测不到。从表 6 可以看出，质体色素类物质在品种间存在显著差异，无论是叶黄素还是  $\beta$ -胡萝卜素均表现为红大含量最高，其次是 2 个云烟品种，K326 含量最低。红大中单双糖含量显著低于 K326 和云烟 87，与云烟 85 含量接近。多酚物质主要包括新绿原酸、绿原酸、咖啡酰奎宁酸、茛菪亭、芸香苷和山奈酚苷，品种间差异分析发现，新绿原酸、绿原酸、咖啡酰奎宁酸和山奈酚苷均以红大含量最高。茛菪亭和芸香苷含量在 4 个品种间没有显著差异。

2.3.2 烟叶中酚类、质体色素类、单双糖含量与海拔高度相关性的品种差异 从表 7 中看出， $\beta$ -胡萝卜素含量与海拔高度相关性不显著，但是，云烟 87、85 和红大与海拔高度呈负相关趋势，而 K326 则呈正相关。随海拔高度的升高云烟 87、云烟 85 和红大中葡萄糖、果糖含量也相应升高，且云烟 87 中

葡萄糖含量与海拔高度的相关性达到显著水平，而 K326 中的葡萄糖、果糖含量则与海拔高度呈明显的负相关。云烟 87、85 中多酚物质物质含量与海拔高度的相关性较为明显，尤其是新绿原酸、奎宁酸、芸香苷和山奈酚苷的含量与海拔高度呈显著的正相关，而茛菪亭则与海拔高度呈显著的负相关，红大和 K326 的多酚物质含量与海拔度的相关程度不显著，明显区别于云烟 87 和云烟 85，有些指标甚至相反，如绿原酸。

### 2.4 烤烟品种间化学成分及其与海拔相关性的聚类分析

图 1A 是以烟叶中 34 个化学指标为依据，对 4 个烤烟品种进行聚类分析的结果，从中可以看出，2 个云烟品种化学成分含量相似性较大，首先聚为一类，其次是 K326，红大 34 个化学指标的含量明显与前 3 个品种相区别，距离较大，最后并入。图 1B 是以 34 个化学成分与海拔高度的相关系数为依据对 4 个烤烟品种进行聚类分析的结果，从中可以看出，红大和云烟 85 关系最为密切，首先聚在一起，而后是云烟 87，最后并入的是 K326。以上两个聚类分析表明，从含量来考虑，红大明显区别于 2 个云烟品种和 K326；从化学成分与海拔高度的相关性的角度考虑，K326 明显区别于其他 3 个品种。

表 6 云南不同烤烟品种烟叶中酚类、质体色素类和单双糖含量

Table 6 Polyphenols, plamochromic pigment, monosaccharide and disaccharide in different flue-cured cultivars leaves sampling from different altitude tobacco growing area in Yunnan

| 品种              | 指标       | 叶黄素      | $\beta$ -胡萝卜素 | 葡萄糖       | 果糖        | 蔗糖       | 新绿原酸    |
|-----------------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|----------|---------|
| 云烟 87(n=64)     | 均值(n=59) | 87.093 b | 115.226 b     | 13.336 a  | 11.836 a  | 1.941 a  | 2.818 b |
|                 | RSD/%    | 28.350   | 24.890        | 19.560    | 12.640    | 76.900   | 13.570  |
| 云烟 85(n=54)     | 均值(n=54) | 92.500 b | 122.996 b     | 12.838 ab | 11.535 ab | 1.657 ab | 2.777 b |
|                 | RSD/%    | 32.440   | 32.460        | 16.620    | 10.190    | 80.240   | 11.680  |
| 红花大金元<br>(n=28) | 均值(n=26) | 126.55 a | 162.820 a     | 12.060 b  | 10.910 b  | 1.200 b  | 3.174 a |
|                 | RSD/%    | 22.210   | 29.890        | 17.260    | 15.860    | 125.670  | 18.330  |
| K326(n=45)      | 均值(n=44) | 73.616 c | 96.319 c      | 13.212 a  | 11.500 ab | 1.868 a  | 2.935 b |
|                 | RSD/%    | 27.400   | 29.100        | 17.710    | 14.780    | 72.970   | 15.000  |
| 品种              | 观察值      | 绿原酸      | 咖啡酰奎宁酸        | 茛菪亭       | 芸香苷       | 山奈酚苷     |         |
| 云烟 87(n=64)     | 均值(n=59) | 15.900 b | 3.346 bc      | 0.174 a   | 14.939 a  | 1.701 b  |         |
|                 | RSD/%    | 19.770   | 16.200        | 34.770    | 16.830    | 16.360   |         |
| 云烟 85(n=54)     | 均值(n=54) | 15.362 b | 3.242 c       | 0.195 a   | 14.470 a  | 1.702 b  |         |
|                 | RSD/%    | 17.070   | 14.180        | 38.070    | 15.250    | 12.000   |         |
| 红花大金元<br>(n=28) | 均值(n=26) | 27.960 a | 4.020 a       | 0.170 a   | 14.510 a  | 1.990 a  |         |
|                 | RSD/%    | 26.500   | 19.900        | 32.230    | 14.870    | 15.020   |         |
| K326(n=45)      | 均值(n=44) | 16.889 b | 3.597 b       | 0.189 a   | 14.043 a  | 1.490 c  |         |
|                 | RSD/%    | 14.100   | 18.050        | 35.150    | 23.010    | 17.120   |         |

表7 云南不同海拔高度不同品种烟叶酚类、质体色素类和单双糖含量与海拔高度相关系数

Table 7 Correlation of polyphenols, plamochromic pigment, monosaccharide and disaccharide in different flue-cured cultivars leaves with sampling place altitude in Yunnan

| 品种          | 叶黄素      | $\beta$ -胡萝卜素 | 葡萄糖      | 果糖      | 蔗糖      | 新绿原酸   |
|-------------|----------|---------------|----------|---------|---------|--------|
| 云烟 87(n=64) | 0.045    | -0.113        | 0.400**  | 0.252   | 0.389** | 0.281* |
| 云烟 85(n=54) | -0.360** | -0.249        | 0.199    | 0.026   | 0.088   | 0.215  |
| 红花大金元(n=28) | 0.007    | -0.042        | 0.355    | 0.338   | 0.256   | -0.113 |
| K326(n=45)  | -0.004   | 0.086         | -0.032   | -0.223  | 0.100   | 0.189  |
| 品种          | 绿原酸      | 咖啡酰奎宁酸        | 茛菪亭      | 芸香苷     | 山奈酚苷    |        |
| 云烟 87(n=64) | 0.083    | 0.259*        | -0.456** | 0.468** | 0.408** |        |
| 云烟 85(n=54) | 0.018    | 0.250         | -0.345*  | 0.321*  | 0.242   |        |
| 红花大金元(n=28) | -0.318   | -0.180        | -0.254   | 0.041   | 0.071   |        |
| K326(n=45)  | -0.015   | 0.152         | -0.104   | 0.267   | 0.154   |        |

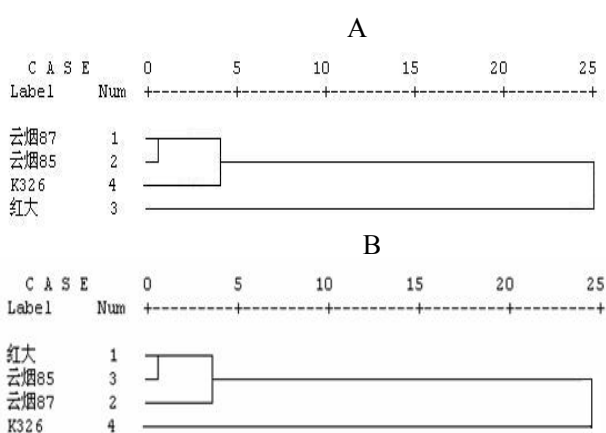


图1 4个烤烟品种34个化学成分的聚类分析(A)和34个化学成分与海拔高度的相关系数聚类分析(B)

Fig.1 The cluster analysis of 34 chemical components (A) and their correlation coefficient with altitude (B) of 4 flue-cured tobacco cultivars (B)

### 3 讨论

烤烟化学成分的含量既受生长环境的影响又受品种的影响,不同基因型烤烟在相同的生长条件下其化学成分含量也有很大的差别,本文所研究的4个烤烟品种云烟87、云烟85、K326和红花在所选取的34个化学指标间存在明显的差异,尤其是红花品种与其他3个品种的差异最为明显。常规化学成分中总氮、烟碱和钾含量以红花含量最高;总糖、还原糖、糖碱比和氮碱比则以红花最低。有机酸中的苹果酸和柠檬酸以红花含量最低,而草酸则以红花含量最高;高级脂肪酸中亚麻酸、油酸和十八酸含量以红花含量最低,而十四酸则以红花含量最高。质体色素以红花含量最高;而单双糖、总糖

和还原糖含量均以红花含量最低;多酚类物质中的新绿原酸、绿原酸、咖啡酰奎宁酸和山奈酚苷均以红花含量最高。可见4个品种中红花是以可溶性糖类和有机酸类含量最低,以总氮、烟碱、质体色素和多酚类物质含量为最高。此结果与王欣等<sup>[14]</sup>的研究结果有相似之处,但也有不同之处,在王欣的研究结果中4个品种中红花还原糖含量高于K326但低于2个云烟品种,总氮含量和氮碱比最低。造成研究结果差异的原因可能是样品来源不同引起的,王欣等的烟样分别采自贵州、四川和云南,云南仅选取自大理一地,并不能完成说明红花在云南烟区的表现,本研究所取样品涵盖了云南的主要栽培烟草的11个地州,具有较强的地域代表性。

34个化学指标与海拔高度的相关性也存在着明显品种差异,K326明显不同于其他3个品种,尽管红花中34个化学成分与2个云烟品种不同,但其随海拔高度的变化趋势相似性较高,在聚类分析中三者距离较近。K326中总糖、总氮、烟碱、石油醚提取物等指标与海拔高度的相关性明显不同于其他3个品种,甚至呈相反的关系。相同的情况在其他指标上也得以体现,如有机酸中的丙二酸、丁二酸和亚油酸、质体色素中的 $\beta$ -胡萝卜素、单双糖含量等。多酚物质随海拔高度的变化程度以2个云烟品种最为显著,而K326和红花则变化不明显。由以上结果可以看出,烟叶的化学成分随海拔高度的变化情况受品种因素的影响很大,不同品种对海拔高度的敏感程度不同,这与马建雄等<sup>[9]</sup>研究结果相一致。此结论可以很好地解释各地关于海

拔高度与化学指标的关系研究结果不一致的原因。例如王彪等<sup>[8]</sup>在云南烟区海拔 1700~2200 m 范围内的研究结果显示,总糖和还原糖含量与海拔高度呈负相关,烟叶烟碱含量与海拔高度达到显著正相关,与其他多数人的研究结果相反,这是因为王彪等所研究的烤烟品种为 K326,而非云烟系列或其他品种,研究结果的不一致有可能是由于品种对海拔的响应差异造成的。

#### 参考文献

- [1] 李明海,任选伦,詹蓉晖,等. 不同海拔高度和土壤类型对烤烟产质的影响[J]. 贵州农业科学,1997,25(增刊):54-58.
- [2] 陈传猛,陈继树,谷堂生,等. 南岭山区不同海拔烤烟品质研究[J]. 中国烟草科学,2007(4):8-12.
- [3] 胡国松,杨林波,魏巍,等. 海拔高度、品种和某些栽培措施对烤烟香吃味的影响[J]. 中国烟草科学,2000,21(3):9-13.
- [4] 穆彪,杨健松,李明海. 黔北大娄山区海拔高度与烤烟烟叶香吃味的关系研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):148-151.
- [5] 付亚丽,卢红,尹建雄,等. 云南烤烟烟碱、总氮和粗蛋白含量与种植海拔的相关性分析[J]. 云南农业大学学报,2007,22(5):675-679.
- [6] 王世英,卢红,杨骥. 不同种植海拔高度对曲靖地区烤烟主要化学成分的影响[J]. 西南农业学报,2007,20(1):45-48.
- [7] 简永兴,杨磊,谢龙杰. 湘西北海拔高度对烤烟常规化学成分含量的影响[J]. 生命科学研究,2005,9(1):63-67.
- [8] 王彪,李天福,王树会. 海拔高度与烟叶化学成分的相关分析[J]. 广西农业科学,2006,37(5):537-539.
- [9] 马剑雄,徐兴阳,罗华元,等. 不同品种烤烟对种植海拔的敏感性[J]. 烟草科技,2009(3):53-55,61.
- [10] 李天福,王树会,王彪,等. 云南烟叶香吃味与海拔和经纬度的关系[J]. 中国烟草科学,2005,26(3):22-24.
- [11] 王树会,李天福,邵岩,等. 不同烤烟品种及海拔对烟叶中有机酸的影响[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2006,28(1):127-130.
- [12] 卢秀萍,许仪,许自成. 不同烤烟基因型非挥发性有机酸和高级脂肪酸含量的变异分析[J]. 中国烟草学报,2007,13(3):47-51.
- [13] 李军营,方敦煌,宋春满,等. 云南烤烟多酚物质 HPLC-DAD 指纹图谱的建立[J]. 南京农业大学学报,2009,32(2):141-146.
- [14] 王欣,许自成,闫铁军,等. 烤烟品种红花大金元化学成分变异分析[J]. 河南科技大学学报:自然科学版,2008,29(3):81-84.