

烤烟烟叶元素组成及其燃烧热解特性差异分析

陈新¹, 郭东锋^{2*}, 周顺², 王孝峰², 张亚平², 何庆², 余世科², 田振峰²

(1. 安徽中烟工业有限责任公司蚌埠卷烟厂, 蚌埠 233010; 2. 安徽中烟工业有限责任公司技术中心, 合肥 230088)

摘要: 为了探索烤烟烟叶中元素含量及其燃烧热解特性的差异, 收集了全国主要植烟区域 34 份烤烟样品, 运用统计学方差分析方法对采集的样品进行了统计分析。结果表明:(1) 烟叶中大部分元素在广泛变异, 区域间的钾、氧、硫和氯 4 种元素存在显著差异, 部位间碳、氢、氮和钾存在显著差异, 品种间则主要是氧元素存在显著差异;(2) 烟叶的燃烧热解特性则主要表现为部位间总燃烧热释放量和烟气密度的差异, 且表现出自上而下的规律性。因此, 在烟叶生产、生态研究、区域烟叶质量评价等工作中, 可借助烟叶元素及其燃烧热解特性的差异来开展相关技术研究和应用。

关键词: 烤烟; 元素; 燃烧热解; 差异

中图分类号: TS411

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)01-0160-05

Difference analysis of elements and combustion parameters of flue-cured tobacco

CHEN Xin¹, GUO Dongfeng², ZHOU Shun², WANG Xiaofeng²,
ZHANG Yaping², HE Qing², SHE Shike², TIAN Zhenfeng²

(1. Bengbu Cigarette Factory of Anhui Cigarette Industrial Co. Ltd., Bengbu 233010;

2. Technology Center of Anhui Cigarette Industrial Co. Ltd., Hefei 230088)

Abstract: In order to explore the differences of elements and combustion parameters in the flue-cured tobacco leaf, 34 samples were collected from the main tobacco production areas in China. Such samples were analyzed using ANOVA method. The results showed that there was a wide variation from the elements in flue-cured tobacco. Significant differences in sulfur, oxygen and chlorine between areas were observed. Significant differences in carbon, hydrogen, nitrogen and potassium between tobacco leaf locations were also observed. A significant difference in oxygen only existed in different cultivars. The difference in tobacco leaf combustion parameters relied on the leaf locations with a changing trend from the top to low part of a tobacco plant. The results of this study could be used to guide tobacco production and tobacco quality evaluation.

Key words: flue-cured tobacco; elements; combustion parameters; difference

元素是组成烟叶的物质基础, 无论是大量元素还是中微量元素, 在烟草生长发育^[1-3]、卷烟燃烧^[4-6]、感官质量^[7]等过程中都有重要的作用^[8]。由于氮、磷、钾三要素主要通过肥料吸收的方式进入烟叶, 因此前人围绕此三要素的施肥时间、施肥种类和施肥方式等开展了大量研究^[9-11], 而碳、氢、氧主要通过光合、蒸腾等生理代谢进入烟叶, 但是囿于分析手段、

方法等原因, 针对烟叶中碳氢氧元素的分析相对氮磷钾而言较少。卷烟品质通过烟草燃烧热解才能体现, 因此研究烟草及其主要化学成分的燃烧热解特性无疑具有重要意义, 周顺等比较研究了不同叶丝、“三丝”、细胞壁物质、淀粉、柠檬酸等的燃烧热解参数等^[4,5,11-14], 王正洲等研究了烟叶的燃烧和着火特性^[11], 虽然围绕烟叶元素、燃烧热解以及元素与

收稿日期: 2015-05-21

基金项目: 安徽中烟工业有限责任公司科技项目 (2014103 和 2015103) 资助。

作者简介: 陈新, 助理农艺师。E-mail: xinchen8341@163.com

* 通信作者: 郭东锋, 博士, 高级农艺师。E-mail: gdf0221@163.com

燃烧热解的关系等方面已有不少研究^[15-20], 但从烤烟原料角度分析烟叶元素以及燃烧特性差异尚不多见。本研究分析了烟叶中几种主要元素及烟叶燃烧热解特性的差异, 以期为烟叶种植施肥、质量评价、降焦减害、卷烟产品研发提供技术参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试原材料 选取 2011 年安徽中烟库存烤烟原料, 材料来源于云南(11 个, 其中云烟 87 品种 6 个、云烟 85 品种 2 个、云烟 97 品种 2 个、K326 品种 1 个)、贵州(4 个, 其中云烟 87 品种 2 个、云烟 97 品种 2 个)、四川(4 个, 其中云烟 85 品种 3 个、红大 1 个)、福建(5 个, 其中 K326 品种 4 个、翠碧 1 号 1 个)、湖南(7 个, 其中云烟 87 品种 6 个、K326 品种 2 个)、重庆(云烟 97 品种 2 个)、安徽(云烟 97 品种 1 个)等地的 X2F、C3F 和 B2F 3 个等级烟叶样品, 共计 34 份, 50 °C 烘干, 粉碎过 100 目筛备检。

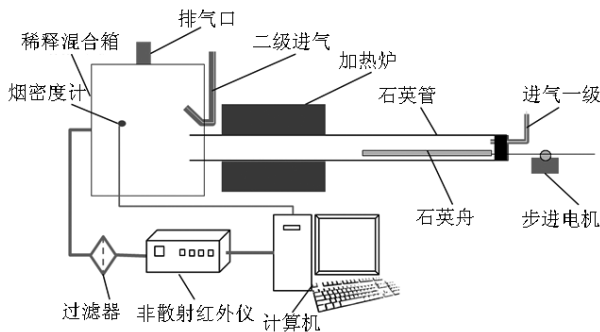


图 1 稳态燃烧热解测试系统结构示意图

Figure 1 Structure diagram of a steady-state combustion pyrolysis device

1.2.1 检测仪器 Vario EL 型元素分析系统(德国 Elementar Analysen systeme 公司); PL203-IC 型电子天平[感量: 0.001 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; Fz-02 型粉碎机(温岭市百乐粉碎设备厂); MCC(MCC-2 型, 美国哥马克公司), 具体构造和工作原理已有文献详细描述^[21-22]; 稳态热解装置和烟密度计联用测试系统(SSTF)^[23-24], 如图 1, 主要由一级进气(流量在 1~40 L min⁻¹之间可调)、二级进气、石英舟(半圆柱形, 长度 80 cm)、步进电机(速率在 1~20 cm min⁻¹之间可调)、石英管、加热炉、稀释混合箱、烟密度计、非散射红外仪、计算机等组成, 其中烟密度计和非散射红外仪采集数据频率均为 1 次 s⁻¹。

1.2 方 法

1.2.1 指标测定 (1) 主要元素检测。碳、氢、氧、硫和氮元素检测参考已有文献^[17]。氯、钾含量分别按照行业标准 YC/T 162-2011《烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法》、YC/T 217-2007《烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法》进行测定。

(2) 烟气密度(D_m)及 CO 释放量(m_{co})检测参考文献^[13,25]。

(3) 烟叶总燃烧热(THR)测定方法。参考文献^[25]。

1.2.2 数据分析 数据处理在 Excel 2010 进行, 数据清洗、统计分析及图形制作在 R 软件平台进行。数据清洗采用拉达准则对各吧变量进行异常值剔除, 对清洗后数据的缺失值采取最近邻(kNN)方法补缺, 然后在 R 软件中进行统计描述、方差分析(aov 函数)。

2 结果与分析

2.1 烟叶元素检测结果统计描述

通过对烟叶元素以及烟叶燃烧相关参数的检测与统计描述, 结果见表 1。烟叶中碳元素变幅在 40.38%~44.92%, 氢元素的变幅为 5.79%~6.47%, 碳、氢元素数据分布形态均呈左偏尖顶峰, 变异系数较低; 氧元素变幅为 36.06%~44.8%, 硫元素的变幅为 0.48%~1.22%, 氧、硫元素的数据分布形态均为右偏尖顶峰, 氧元素的变异系数为 5.19%, 硫元素变异系数则达到了 21.68%; 氮元素的变幅为 1.76%~3.26%, 数据分布形态为右偏平顶峰, 变异系数达到了 16.2%; 钾、氯元素变异较大, 均超过了 20%, 其中氯元素的变异系数达到了 41.82%。

从烟叶燃烧热解参数统计描述来看, 烟气一氧化碳变幅为 39.78~70.48 mg g⁻¹, 数据分布为右偏平顶峰, 烟气密度变幅为 87.74~166.18 m² kg⁻¹, 总燃烧热变幅为 14.2~17.9 kJ g⁻¹, 烟气密度和总燃烧热数据分布均为左偏平顶峰, 其中一氧化碳和烟气密度的变异系数均超过了 10%。

2.2 烟叶元素主体效应及交互作用方差分析

元素在烟叶内不仅是烟叶的组成部分, 而且在烟叶的生长发育^[2-3]、燃烧^[3,5,11]等过程中起到重要的作用。为了进一步分析烟叶内元素的差异, 针对区域、基因型、部位 3 个因素进行方差分析, 此处仅分析了两因素的交互作用, 结果见表 2。由方差分析结果可知, 不同区域(省份)间烟叶中氧、硫、氯、钾元素均存在显著差异, 基因型间主要表现为

氧元素差异达到显著水平, 部位间主要为碳、氢、氮和钾元素达到了显著水平; 从两因素的交互作用来看, 区域和基因型的交互作用氢元素、氮元素达到了显著水平, 基因型和部位的交互作用只有氢元素达到了显著水平。部位间的差异主要表现为大量元素碳、氮、钾、氢的差异, 区域间主要表现为微

量元素氯和大量元素钾、硫和氧的差异, 基因型间主要是氧元素的差异。区域和部位间元素差异不存在交叉, 区域和基因型间氧元素同时存在显著差异。烟叶燃烧热解特性的差异主要是部位间的总燃烧热释放、一氧化碳和烟气密度均存在显著差异。

表 1 烟叶元素及其燃烧热解特性统计描述

Table 1 Description of elements and combustion characters of flue-cured leaf tobacco

指标 Index	极小值 Minimum	极大值 Maximum	均值 Average	标准差 SD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数/% CV
碳/% C	40.38	44.92	43.22	1.13	-0.86	0.71	2.61
氢/% H	5.79	6.47	6.27	0.16	-1.33	2.05	2.56
氮/% N	1.76	3.26	2.31	0.37	0.70	-0.07	16.20
氧/% O	36.06	44.80	39.59	2.05	0.59	0.41	5.19
硫/% S	0.48	1.22	0.81	0.18	0.17	-0.48	21.68
氯/% Cl	0.15	0.74	0.41	0.17	0.25	-1.24	41.82
钾/% K	1.58	3.55	2.28	0.51	0.58	-0.29	22.30
总燃烧热/kJ g ⁻¹ Total heat of combustion	14.20	17.90	16.40	0.94	-0.40	-0.37	5.74
一氧化碳/mg g ⁻¹ CO	39.78	70.48	52.70	8.11	0.57	-0.25	15.39
烟气密度/m ² kg ⁻¹ Density of flue gas	87.74	166.18	129.79	19.52	-0.27	-0.28	14.97

表 2 烟叶元素主体及其交互作用方差分析

Table 2 Main elements and interaction effects of flue-cured leaf tobacco using MANOVA

方差来源 Source of variation	碳 C	氢 H	氮 N	氧 O	硫 S	氯 Cl	钾 K
区域 Region	0.15	0.7	0.14	<0.001***	0.02*	0.04*	<0.001***
基因型 Gene type	0.83	0.30	0.10	0.0089**	0.10	0.36	0.50
部位 Location	<0.001***	<0.001***	<0.001***	0.60	0.06	0.54	0.004**
区域×基因型 Region×gene type	0.54	0.0015**	0.013*	0.20	0.15	0.07	0.25
区域×部位 Region×location	0.92	0.30	0.61	0.71	0.60	1.00	0.80
部位×基因型 Location×gene type	0.36	0.03*	0.28	0.85	0.39	0.91	0.74

注: “*”表示 $P < 0.05$ 水平下显著, “**”表示 $P < 0.01$ 水平下显著, “***”表示 $P < 0.001$ 水平下显著。下同。

Note: “*”, “**” and “***” represent significant difference at the 0.05, 0.01 and 0.001 level, respectively. The same below.

表 3 烟叶燃烧热解特性主体及其交互作用方差分析

Table 3 Main part and interaction effects of combustion characters of flue-cured leaf tobacco using MANOVA

方差来源 Source of variation	总燃烧热 Total heat of combustion	一氧化碳 CO	烟气密度 Density of flue gas
区域 Region	0.17	0.21	0.32
基因型 Gene type	0.62	0.24	0.36
部位 Location	<0.001***	0.04*	<0.001***
区域×基因型 Region×gene type	0.69	0.68	0.42
区域×部位 Region×location	0.33	0.49	0.83
部位×基因型 Location×gene type	0.77	0.98	0.04*

表 4 烟叶元素及其燃烧热解特性区域多重比较

Table 4 Comparison of elements and combustion characters of flue-cured leaf tobacco using MANOVA (Turkey method)

区域 Region	氧 O	硫 S	钾 K
重庆 Chongqing	38.15±1.23 ^{bB}	0.73±0.10 ^{bcBC}	2.33±0.13 ^{abAB}
福建 Fuzhou	39.44±0.63 ^{bB}	1.03±0.14 ^{aA}	3.00±0.26 ^{aA}
贵州 Guizhou	37.95±1.49 ^{bB}	0.83±0.16 ^{bAB}	2.02±0.20 ^{bcB}
湖南 Hunan	37.83±1.14 ^{bB}	0.82±0.11 ^{bBC}	2.75±0.44 ^{aA}
四川 Sichuan	43.56±1.73 ^{aA}	0.61±0.12 ^{cC}	2.07±0.31 ^{cB}

云南 Yunnan	40.40±1.36 ^{aA}	0.74±0.16 ^{dD}	1.92±0.36 ^{bcB}
-----------	--------------------------	-------------------------	--------------------------

注: 小写字母表示 $P \leq 0.05$ 达到显著水平, 大写字母 $P \leq 0.01$ 达到极显著水平。下同。

Note: in this table, the values followed by small letters mean significant difference at the 0.05 level, and those followed by capital letters mean significant difference at the 0.01 level. The same below.

表 5 烟叶氧元素基因型间多重比较

Table 5 Comparison of oxygen element in different types of genes using MANOVA (Turkey method)

品种 Variety	氧 O
K326	38.82±1.18 ^{bb}
云烟 85 Yunyan 85	42.64±1.85 ^{aA}
云烟 87 Yuanyan 87	39.31±2.00 ^{bb}
云烟 97 Yunyan 97	38.97±1.41 ^{bb}

2.3 烟叶元素及燃烧特性多重比较

进一步分析区域、基因型和部位间存在显著差异元素的具体情况, 多重比较结果见表 4~表 6。从区域多重比较来看, 西南烟区的云南、四川氧元素含量显著高于其他区域, 硫元素以贵州、福建最高,

其次为湖南、重庆, 云南、四川相对较低, 显著低于贵州和福建两地; 钾元素以湖南、福建、重庆最高, 显著高于西南烟区云、贵、川。从部位多重比较来看, 上部叶的碳、氢、氮元素显著高于中、下部烟叶, 钾元素下部叶显著高于上部叶, 与中部叶钾元素含量差异不显著, 一氧化碳释放量部位间差异不显著, 总燃烧热释放则表现为上部叶显著高于中、下部烟叶, 中下部烟叶的总燃烧热释放差异不显著; 烟气密度则表现为上部显著高于中部、中部显著高于下部的明显部位特征。基因型间元素差异则表现为氧元素以云烟 85 含量最高, 显著高于其他品种, 而其他品种间氧元素差异不显著。

表 6 烟叶元素及其燃烧热解特性部位多重比较

Table 6 Comparison of elements and combustion characters of flue-cured leaf tobacco using MANOVA (Turkey method)

部位 Position	碳 C	氢 H	氮 N	钾 K	总燃烧热 Total heat of combustion	一氧化碳 CO	烟气密度 Density of clue gas
上部叶 Upper leaf	44.20±0.46 ^{aA}	6.37±0.08 ^{aA}	2.63±0.34 ^{aA}	2.05±0.35 ^{bA}	17.08±0.62 ^{aA}	55.24±6.57 ^a	145.38±10.18 ^{aA}
中部叶 Middle leaf	42.91±0.54 ^{bb}	6.26±0.09 ^{bA}	2.12±0.22 ^{bb}	2.35±0.51 ^{abA}	16.02±0.73 ^{bb}	50.62±5.68 ^a	123.95±13.78 ^{bb}
下部叶 Lower leaf	41.11±1.02 ^{bb}	5.94±0.15 ^{bA}	2.02±0.19 ^{bb}	2.83±0.60 ^{aA}	15.57±1.03 ^{bb}	45.46±4.58 ^a	96.65±6.53 ^{cC}

3 讨论与结论

从烟叶元素分析来看, 烟叶中元素存在较为广泛的变异, 其中硫、氯、钾 3 种元素的变异系数超过了 20%, 烟叶中氮元素的变异也达到了 16.20%, 由于此 4 种元素除了区域生态因素外, 在烟叶生产过程中施肥措施也会引入含有钾、氯、硫、氮元素的肥料, 因此烟叶中此 4 类元素变异较大^[1,16,21]; 区域间差异主要为钾、氧、硫、氯 4 中元素, 钾元素以福建、湖南、重庆最高, 氧元素以西南烟区云南、四川最高; 部位间的差异主要表现为碳、氢、氮、钾 4 种元素, 碳、氢、氮元素从上到下依次降低, 钾元素下部叶显著高于中上部烟叶; 品种间主要为氧元素存在显著差异, 云烟 85 氧元素含量显著高于其他品种。

从烟叶燃烧热解特性分析来看, 烟叶总燃烧热释放变异较小, 烟气一氧化碳释放量、烟气密度变异达到了 15% 左右, 烟叶燃烧热解特性的差异主要表现为部位间燃烧参数均存在显著差异; 其中,

总燃烧热释放上部叶显著高于中下部, 烟气密度表现为从上至下均存在显著差异, 而一氧化碳则部位间差异不显著。

由于烟叶中元素来源复杂多变, 影响因素众多, 同时烟叶的燃烧热解特性受到温度、物料和气氛等诸多因素的影响, 本研究仅在烟叶元素及燃烧热解特性差异方面做出了一定分析, 其背后的机理机制以及相互作用尚有待于进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 王程辉, 周顺, 徐迎波, 等. 再造烟叶丝、膨胀烟丝和膨胀梗丝的燃烧特性[J]. 烟草科技, 2013(1): 5-9.
- [2] 周顺, 宁敏, 徐迎波, 等. 多聚磷酸铵对造纸法再造烟叶热解燃烧特性和感官质量的影响[J]. 烟草科技, 2013(3): 61-66.
- [3] 段宾宾, 李永福, 容辉, 等. 氯离子含量对再造烟叶燃烧性的影响[J]. 现代食品科技, 2013(4): 752-755.
- [4] 钟仙芳, 刘春波, 陈永宽, 等. 烟叶的燃烧特性研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(18): 9868-9870.
- [5] 王剑, 李佳颖, 叶贤文, 等. 凉山烤烟淀粉含量状况及与感官质量的关系分析[J]. 山东农业科学, 2013, 45(2): 45-49.

- [6] 孙力, 李银科, 章新, 等. 钾素水平对烟叶化学成分和感官评吸质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(24): 13210-13214.
- [7] 李琰琰, 刘国顺, 冯小虎, 等. 氮营养水平对烤烟根际土壤酶活性及烟叶内在品质的影响[J]. 土壤通报, 2012(5): 1177-1182.
- [8] 徐茜, 陈爱国, 戴培刚, 等. 镁肥合理施用对烤烟生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2011(2): 33-37.
- [9] 李永忠, 蒋志宏, 刘雅婷, 等. 供 Mg 水平对烤烟累积 N、K、Ca、Mg 的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2002, 31(3): 294-296.
- [10] 宁敏, 周顺, 徐迎波, 等. 物理参数对造纸法再造烟叶纸基热降解和燃烧特性的影响[J]. 中国烟草学报, 2013(1): 15-20.
- [11] 王正洲, 袁宏永, 范维澄, 等. 烟叶的燃烧和着火特性的研究[J]. 火灾科学, 2000(1): 44-48.
- [12] 周顺, 王孝峰, 何庆, 等. 基于可控等值比法的烟草燃烧 CO 释放量分析装置. 中国:203759194U [P]. 2014-08-06.
- [13] 周顺, 徐迎波, 王程辉, 等. 柠檬酸在卷烟阴燃状态下的热解特性[J]. 烟草科技, 2011, 44(9): 45-49.
- [14] 周顺, 徐迎波, 王程辉, 等. 比较研究纤维素、果胶和淀粉的燃烧行为和机理[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(5): 1-9.
- [15] 葛巍巍, 张宏宇, 顾坚. 烟叶化学成分与燃烧特性的相关性[J]. 消防科学与技术, 2012(10): 1032-1035.
- [16] 程占刚, 叶明樵, 胡素霞, 等. 影响卷烟包灰能力的因素研究[J]. 烟草科技, 2011(2): 9-12.
- [17] 窦玉青, 汤朝起, 王平, 等. 北方烤烟钾氯含量及其与吸食品质的关系研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(17): 86-92.
- [18] 冉法芬, 许自成, 李东亮, 等. 我国主产烟区烤烟钾、氯、钾氯比与评吸质量的关系分析[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1147-1150.
- [19] 顾中铸. 烟草的燃烧与热解特性[J]. 烟草科技, 1997(3): 8-9.
- [20] ZHOU S, NING M, XU Y B, et al. Thermal degradation and combustion behavior of reconstituted tobacco sheet treated with ammonium polyphosphate[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2013, 100: 223-229.
- [21] ISO/TS 19700:2006 Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents[S].
- [22] 程晓兵, 李保江, 韩彦东. 世界新型烟草制品发展状况[J]. 中国烟草, 2014, 517(3): 38.
- [23] 周顺, 王程辉, 徐迎波, 等. 烤烟、白肋烟和香料烟的燃烧行为和热解气相产物比较[J]. 烟草科技, 2011, 44(2): 35-38.
- [24] 周顺, 宁敏, 王孝峰, 等. 基于可控等值比法实时分析低温加热状态下烟草 CO 释放量[J]. 烟草科技, 2015, 48(3): 23-27.
- [25] 周顺, 王孝峰, 郭东锋, 等. 低温加热状态下烤烟气溶胶释放特性及其影响因素[J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 34-40.