

# 滚筒干燥过程中筒壁温度对烟丝理化品质的影响

## Effect of different tube wall temperature on physicochemical properties of tobacco shred during drum drying

段 鵬      王 冰      陈孟起      王鹏飞      赵志伟

DUAN Kun    WANG Bing    CHENG Meng-qi    WANG Peng-fei    ZHAO Zhi-wei

罗灿选      赵声辰      毕浩洋      王宏伟      赵永振

LUO Can-xuan    ZHAO Sheng-chen    BI Hao-yang    WANG Hong-wei    ZHAO Yong-zhen

(河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南 郑州 450000)

(Technology Centerr of China Tobacco Henan Industry Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China)

**摘要:**采用方差分析和多重比较的方法对筒壁温度分别为 100, 120, 140, 150 ℃ 时烟丝填充值、烟丝弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质、总植物碱及总糖进行差异性分析, 并利用主成分分析方法研究理化指标的变化, 最后利用感官评价的方法对分析的结果进行验证。结果表明: 不同筒壁温度对烟丝理化指标的影响达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); 主成分分析后烟丝理化指标主成分综合得分呈降低趋势; 感官评吸的结果与方差分析与主成分分析结果较为一致。

**关键词:**筒壁温度; 理化品质; 方差分析; 主成分分析

**Abstract:** In order to study the effect of different wall temperature on the physicochemical properties of tobacco shred under drum drying conditions, variance analysis and multiple comparisons were conducted to explore the filling value, elasticity, proportion of long strands, the content of petroleum ether, aroma substances, total alkaloid and sugar and of tobacco shred under different drying conditions (drum wall temperatures were 100, 120, 140, and 150 ℃, respectively). In addition, principal component analysis was performed to identify the changes of physicochemical indexes. Finally, the consequences above were verified by sensory evaluation. The results showed that the difference of physicochemical indexes of tobacco shred under different drying conditions reached 0.05 significant level; the comprehensive score of physicochemical indexes presented a decreasing trend through principal component analysis.

**基金项目:** 国家烟草专卖局重点实验室科技项目 (编号: 110201603001)

**作者简介:** 段鵬, 男, 河南中烟工业有限责任公司中级工程师, 硕士。  
**通信作者:** 赵永振 (1973—), 男, 河南中烟工业有限责任公司中级工程师, 大专。E-mail: 1666931423@qq.com  
王宏伟 (1971—), 男, 河南中烟工业有限责任公司高级工程师, 硕士。E-mail: Wanghw326@sina.com

**收稿日期:** 2018-07-03

The results of sensory evaluation were consistent with those of variance and principal component analyses.

**Keywords:** wall temperature; physicochemical quality; variance analysis; principal component analysis

干燥是卷烟加工过程中的重要环节, 烟丝从外界吸收能量一部分用于脱去烟丝内部的水分, 另一部分用于提升烟丝内部的温度。这个过程不仅导致烟丝脱水发生卷曲, 还伴随着热裂解、热合成、热蒸馏以及美拉德反应的进行<sup>[1-3]</sup>。因此, 恰当的控制干燥过程对提高卷烟产品的内在品质十分必要。

赵静芬等<sup>[4]</sup>研究滚筒干燥过程中烟丝表面温度变化规律时发现, 随着含水率的降低, 烟丝表面温度历经了 3 个时期, 即快速升高期、缓慢升高期、迅速升高期; 段鵬等<sup>[5]</sup>在烟丝表面温度变化的基础上建立了特征温度模型, 用以表征烟丝受热程度, 发现填充值与特征温度明显正相关, 香味物质与特征温度明显负相关; 朴永革等<sup>[6]</sup>研究了烟丝中糖苷物质随干燥温度的变化规律, 发现在一定范围内烟丝中糖苷物质随干燥温度升高而降低; 秦国鑫<sup>[7]</sup>则发现滚筒干燥过程中筒壁温度是决定干燥速率最主要的因素; 张伟等<sup>[8]</sup>研究了不同控制变量与卷烟产品质量关系发现, 筒壁温度对卷烟感官质量的影响最大; 刘江生等<sup>[9]</sup>研究了两段式烘丝机 (KLD2-3 型) 热风流向对烟丝化学成分的影响, 发现不同的控制模式对卷烟化学成分的影响较大; 胡建军等<sup>[10]</sup>采用正交试验研究了烘丝参数与烘后烟丝质量的关系, 发现蒸汽压力对烘后叶丝的感官质量有较大影响, 热风温度高低与烘后叶丝的填充值关系显著。

滚筒干燥是卷烟干燥最常用的干燥方式, 筒壁温度又是其最重要的参数。上述研究也表明, 干燥参数变化会引起卷

烟理化品质、感官品质的变化。但是,相关的研究<sup>[7,10-11]</sup>发现,随着干燥温度变化卷烟的物理化学品质乃至感官品质的变化并不统一,甚至会出现一定的矛盾。因此,寻找一个能够评价卷烟理化乃至感官品质的综合指标就显得非常必要。鉴于此,本研究拟以2012年云南C3F切丝后的烟叶为试验原料,利用方差分析、多重比较、主成分分析等方法对卷烟的理化指标进行降维处理,以综合得分的方式,系统地研究筒壁温度对卷烟理化乃至感官品质的影响,旨在有效解决干燥过程中条件不适引起的相关质量问题,为提升卷烟加工的精细化水平提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与仪器

烤烟烟叶:云南C3F,切丝后调整烟丝含水率23%,在恒温恒湿的条件下平衡48 h待用,河南中烟工业有限责任公司黄金叶生产制造中心;

实验室批式滚筒复合传热干燥装置:装置的结构及原理详见参考文献<sup>[12]</sup><sup>[14-16]</sup>,郑州烟草研究院自行研制;

电子天平:Xs-365M-SCS型,感量0.000 1 g,瑞士普利赛斯公司;

烘箱:BINDER型,德国宾得公司;

填充值测定仪:YDZ430型,郑州烟草研究院;

叶丝弹性测定仪:YQ-66型,郑州烟草研究院;

连续流动分析仪:AA3型,哈尔滨德远科技开发有限公司;

同时蒸馏萃取装置:实验室自制;

旋转蒸发仪:R-215型,瑞士Buchi公司;

气质联用仪:Agilent 7890A/5975C GC-MS型,美国Agilent公司;

连续流动分析仪:Futura型,法国Alliance公司;

索氏提取器:LP-SE04型,无锡莱普仪器设备有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 装置的预热 接通电源,预热滚筒复合传热装置,分别设定筒壁温度为100,120,140,150℃,分别用A1,A2,A3,A4表示。待装置稳定后,取500 g含水率为23%的烟丝放入滚筒,同时开始计时,根据不同的干燥条件选取不同的时间间隔,用取样器对滚筒内的烟丝进行取样,采用烘箱法<sup>[13]</sup>测定不同干燥时刻烟丝的含水率。

#### 1.2.2 烟丝总糖、总植物碱的测定

(1) 总糖:按YC/T 159—2002《烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法》执行。

(2) 植物碱:按YC/T 160—2002《烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法》执行。

#### 1.2.3 烟丝石油醚提取物与香味成分含量的测定

(1) 石油醚提取物:按YC/T 176—2003《烟草及烟草制品 石油醚提取物的测定》执行。

(2) 香味成分:参照文献<sup>[12]</sup><sup>[38-40]</sup>。

1.2.4 感官评价 取不同干燥条件下的干燥烟丝(含水率12%)各100 g,手工打烟后在恒温恒湿间平衡48 h,由9位

评吸专家采用对比评吸<sup>[14]</sup>的方式对卷烟感官指标进行感官质量评价。

### 1.3 数据处理

使用SPASS 22.0软件对不同干燥条件下烟丝理化指标变化进行标准化处理,然后做Pearson相关性分析,根据相关性,进行主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥条件下烟丝理化品质方差分析

不同干燥条件下,将烟丝干燥至含水率12%时烟丝理化品质见表1(每个参数做平行试验10次),其方差分析及多重比较结果见表2。

由表2可以看出,不同干燥条件下烟丝填充值、弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质总量、总植物碱、总糖含量的标准偏差都较低,说明该试验的重复性较好;不同干燥条件下各指标总体均存在显著性差异,总糖、总植物碱、香味物质总量、石油醚提取物、整丝率、填充值变异程度较大,填充值随干燥温度升高呈增大趋势,而弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质总量则随着干燥温度的提高而降低,总植物碱呈降低趋势,总糖含量前后变化不明显。

### 2.2 不同干燥条件下烟丝理化品质主成分分析

对不同干燥条件下烟丝理化指标变化进行Z-Score标准化处理,然后做Pearson相关性分析,见表3。由表3可以看出,除总植物碱与填充值、弹性与填充值外各成分之间均存在较为显著的相关性,但需要进行KMO与Bartlett检验。由于KMO值为0~1,且越接近1,越适合做主成分分析,该试验的KMO测量为0.718,大于>0.700,且Bartlett球形度检验的Sig.<0.001,说明该试验理化指标数据之间存在相关性,可以进行主成分分析。

使用SPASS 22.0软件对不同干燥条件下烟丝理化成分数据进行主成分分析,结果见表4和图1。

由表4可以看出,不同干燥条件下烟丝理化指标前2个主成分的特征值分别为4.489和1.236,均>1,方差贡献率分别为64.130%和17.653%,前2个主成分的累计方差贡献率为81.783%,表明前2个主成分代表了原始成分81.783%的信息量,涵盖了大部分的信息量。由图1可以看出,成分1和成分2包含了大部分信息,从成分3开始就进入平台了,说明该降维处理是成功的。

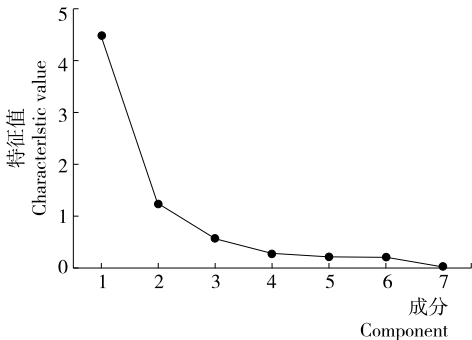


图1 烟丝理化指标数据碎石图

Figure 1 Physicochemical indexes of tobacco shred

2 个主成分的输出提取成分矩阵如表 5 所示。由表 5 可以看出,主成分 1 与烟丝的填充值、弹性、整丝率、碎丝率、石油醚提取物、香味物质总量、总植物碱、总糖存在显著的相关关系,属于综合性指标;主成分 2 则与烟丝填充值、总植物碱、总糖存在较强的相关关系,2 个主成分代表的意义均不

明确,为了更好地解释主成分与烟丝理化指标之间的关系,可将主成分进行旋转处理,结果如表 6 所示。经旋转处理后可以看出,主成分 1 代表烟丝的弹性、整丝率、碎丝率、石油醚提取物、香味物质总量、总植物碱的变化规律,主成分 2 则对烟丝填充值高低与总糖含量的变化做出解释。

表 1 不同干燥条件下烟丝理化品质的变化  
Table 1 The physicochemical properties of tobacco shred under different drying conditions

| 干燥条件 | 填充值/<br>(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | 弹性/%  | 整丝率/% | 石油醚<br>提取物/% | 香味物质总量/<br>(μg·g <sup>-1</sup> ) | 总植物碱/% | 总糖/%  |
|------|---------------------------------------------|-------|-------|--------------|----------------------------------|--------|-------|
| A1   | 3.59                                        | 58.03 | 79.75 | 4.84         | 35.77                            | 2.26   | 24.49 |
|      | 3.53                                        | 57.58 | 78.88 | 4.84         | 34.98                            | 2.26   | 24.50 |
|      | 3.66                                        | 57.95 | 79.47 | 4.97         | 35.07                            | 2.25   | 24.18 |
|      | 3.63                                        | 57.77 | 78.75 | 4.78         | 34.95                            | 2.25   | 23.86 |
|      | 3.52                                        | 58.31 | 78.88 | 4.87         | 35.31                            | 2.25   | 24.13 |
|      | 3.50                                        | 58.37 | 79.37 | 4.97         | 34.75                            | 2.26   | 23.59 |
|      | 3.59                                        | 57.63 | 80.27 | 4.87         | 36.25                            | 2.24   | 23.69 |
|      | 3.68                                        | 57.85 | 78.79 | 4.79         | 35.34                            | 2.24   | 23.70 |
|      | 3.60                                        | 58.90 | 80.19 | 4.93         | 35.93                            | 2.24   | 23.51 |
|      | 3.52                                        | 57.78 | 80.04 | 4.72         | 36.47                            | 2.24   | 23.68 |
| A2   | 3.86                                        | 57.94 | 79.67 | 4.89         | 32.94                            | 2.28   | 23.15 |
|      | 4.01                                        | 58.30 | 78.78 | 4.89         | 32.69                            | 2.28   | 23.07 |
|      | 3.76                                        | 58.64 | 79.48 | 4.88         | 32.06                            | 2.27   | 22.88 |
|      | 3.80                                        | 57.64 | 80.38 | 4.76         | 33.47                            | 2.28   | 22.20 |
|      | 3.77                                        | 57.26 | 79.01 | 4.87         | 32.87                            | 2.28   | 22.86 |
|      | 3.91                                        | 57.91 | 79.27 | 4.88         | 33.04                            | 2.28   | 22.75 |
|      | 3.68                                        | 57.74 | 79.55 | 4.72         | 32.32                            | 2.29   | 23.05 |
|      | 3.69                                        | 57.88 | 80.58 | 4.85         | 33.66                            | 2.27   | 22.44 |
|      | 3.99                                        | 57.22 | 79.33 | 4.98         | 32.64                            | 2.26   | 22.67 |
|      | 3.88                                        | 57.40 | 80.11 | 4.79         | 32.87                            | 2.27   | 22.23 |
| A3   | 3.63                                        | 56.25 | 79.04 | 4.74         | 25.93                            | 1.95   | 23.12 |
|      | 3.55                                        | 55.41 | 78.49 | 4.66         | 26.65                            | 1.95   | 23.13 |
|      | 3.63                                        | 56.21 | 78.45 | 4.89         | 26.12                            | 1.97   | 23.17 |
|      | 3.60                                        | 57.16 | 79.67 | 4.86         | 26.32                            | 1.96   | 23.29 |
|      | 3.64                                        | 55.56 | 79.43 | 4.75         | 27.04                            | 1.96   | 22.49 |
|      | 3.49                                        | 56.93 | 78.47 | 4.67         | 26.96                            | 1.96   | 22.90 |
|      | 3.51                                        | 56.42 | 78.21 | 4.77         | 26.00                            | 1.96   | 23.08 |
|      | 3.72                                        | 56.66 | 78.35 | 4.65         | 26.91                            | 1.95   | 23.19 |
|      | 3.62                                        | 55.55 | 78.26 | 4.86         | 26.33                            | 1.97   | 22.93 |
|      | 3.71                                        | 56.18 | 79.64 | 4.62         | 26.79                            | 1.95   | 23.26 |
| A4   | 4.11                                        | 56.28 | 77.59 | 4.40         | 26.36                            | 2.04   | 22.42 |
|      | 3.95                                        | 55.23 | 77.66 | 4.54         | 27.27                            | 2.00   | 22.23 |
|      | 3.81                                        | 56.75 | 77.85 | 4.52         | 25.88                            | 2.01   | 21.92 |
|      | 3.89                                        | 55.30 | 76.53 | 4.56         | 26.06                            | 2.00   | 21.98 |
|      | 4.14                                        | 57.04 | 77.95 | 4.55         | 25.68                            | 2.01   | 22.61 |
|      | 3.84                                        | 55.61 | 77.64 | 4.42         | 26.11                            | 2.01   | 21.99 |
|      | 3.95                                        | 56.98 | 77.82 | 4.48         | 26.37                            | 2.01   | 22.55 |
|      | 4.05                                        | 56.44 | 78.27 | 4.36         | 25.87                            | 2.02   | 22.48 |
|      | 3.89                                        | 57.17 | 76.70 | 4.34         | 25.74                            | 2.00   | 22.62 |
|      | 4.20                                        | 55.82 | 77.49 | 4.44         | 26.38                            | 2.01   | 21.89 |

根据烟丝理化指标数据载荷量及特征值,可以得到不同干燥条件下烟丝理化指标变化前 2 个主成分的计算公式:

$$PC_1 = 0.243Z_1 + 0.297Z_2 + 0.156Z_3 + 0.085Z_4 + 0.274Z_5 + 0.372Z_6 - 0.064Z_7,$$
$$PC_2 = -0.597Z_1 - 0.112Z_2 + 0.092Z_3 - 0.213Z_4 - 0.041Z_5 - 0.229Z_6 + 0.398Z_7,$$

式中:

表 2 不同干燥条件下烟丝理化品质的多重比较<sup>†</sup>

| Table 2 Multiple comparisons of physicochemical properties of tobacco shred under different drying conditions |                                             |                            |                           |                         |                                  |                         |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 干燥条件                                                                                                          | 填充值/<br>(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | 弹性/%                       | 整丝率/%                     | 石油醚<br>提取物/%            | 香味物质总量/<br>(μg·g <sup>-1</sup> ) | 总植物碱/%                  | 总糖/%                     |
| A1                                                                                                            | 3.58±0.06 <sup>Dd</sup>                     | 58.02±0.41 <sup>Aa</sup>   | 79.44±0.60 <sup>ABa</sup> | 4.83±0.08 <sup>Aa</sup> | 35.75±0.59 <sup>Aa</sup>         | 2.25±0.01 <sup>Bb</sup> | 23.93±0.37 <sup>Aa</sup> |
| A2                                                                                                            | 3.83±0.12 <sup>Bb</sup>                     | 57.79±0.45 <sup>Aa</sup>   | 79.62±0.58 <sup>Aa</sup>  | 4.85±0.08 <sup>Aa</sup> | 32.86±0.48 <sup>ABb</sup>        | 2.28±0.01 <sup>Aa</sup> | 22.73±0.34 <sup>Bc</sup> |
| A3                                                                                                            | 3.61±0.08 <sup>CDcd</sup>                   | 56.23±0.59 <sup>Cc</sup>   | 78.80±0.50 <sup>Bb</sup>  | 4.75±0.10 <sup>Ab</sup> | 26.50±0.42 <sup>CDcd</sup>       | 1.96±0.01 <sup>Dd</sup> | 23.06±0.24 <sup>Bb</sup> |
| A4                                                                                                            | 3.98±0.13 <sup>Aa</sup>                     | 56.26±0.37 <sup>BCbc</sup> | 77.55±0.54 <sup>Cc</sup>  | 4.46±0.08 <sup>Bc</sup> | 26.17±0.46 <sup>Dd</sup>         | 2.01±0.01 <sup>Cc</sup> | 22.27±0.30 <sup>Cd</sup> |

† 同列大小写字母不同分别表示差异达到 0.01 和 0.05 显著水平。

表 3 不同干燥条件下烟丝理化指标 Pearson 相关矩阵<sup>†</sup>

| Table 3 Pearson correlation matrix of physicochemical indexes of tobacco shred under different drying conditions |           |          |          |          |          |         |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|--|
| 标准化后烟丝指标                                                                                                         | 填充值       | Z-弹性     | Z-整丝率    | Z-石油醚提取物 | Z-香味物质总量 | Z-总植物碱  |  |
| Z-弹性                                                                                                             | -0.230    |          |          |          |          |         |  |
| Z-整丝率                                                                                                            | -0.439 ** | 0.609 ** |          |          |          |         |  |
| Z-石油醚提取物                                                                                                         | -0.535 ** | 0.584 ** | 0.713 ** |          |          |         |  |
| Z-香味物质总量                                                                                                         | -0.348 *  | 0.812 ** | 0.695 ** | 0.681 ** |          |         |  |
| Z-总植物碱                                                                                                           | -0.103    | 0.827 ** | 0.624 ** | 0.612 ** | 0.932 ** |         |  |
| Z-总糖                                                                                                             | -0.663 ** | 0.534 ** | 0.421 ** | 0.580 ** | 0.614 ** | 0.398 * |  |

† \* \*.相关性在 0.01 层上显著(双尾);\*. 相关性在 0.05 层上显著(双尾)。

表 4 烟丝理化指标数据特征值及方差贡献率

| Table 4 Characteristic value and variance contribution rate of physicochemical indexes of tobacco shred |       |        |         |        |        |         |           |        |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|
| 成分                                                                                                      | 起始特征值 |        |         | 提取的主成分 |        |         | 旋转处理后的主成分 |        |         |
|                                                                                                         | 特征值   | 贡献率/%  | 累计贡献率/% | 特征值    | 贡献率/%  | 累计贡献率/% | 特征值       | 贡献率/%  | 累计贡献率/% |
| 1                                                                                                       | 4.489 | 64.130 | 64.130  | 4.489  | 64.130 | 64.130  | 3.526     | 50.372 | 50.372  |
| 2                                                                                                       | 1.236 | 17.653 | 81.783  | 1.236  | 17.653 | 81.783  | 2.199     | 31.411 | 81.783  |
| 3                                                                                                       | 0.565 | 8.076  | 89.859  |        |        |         |           |        |         |
| 4                                                                                                       | 0.280 | 4.004  | 93.863  |        |        |         |           |        |         |
| 5                                                                                                       | 0.215 | 3.073  | 96.936  |        |        |         |           |        |         |
| 6                                                                                                       | 0.192 | 2.740  | 99.676  |        |        |         |           |        |         |
| 7                                                                                                       | 0.023 | 0.324  | 100.000 |        |        |         |           |        |         |

表 5 烟丝理化指标主成分输出提取成分矩阵

| Table 5 Principal component matrix of physicochemical indexes of tobacco shred |        |       |       |          |          |        |        |  |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|----------|----------|--------|--------|--|
| 标准化后烟丝指标                                                                       | Z-填充值  | Z-弹性  | Z-整丝率 | Z-石油醚提取物 | Z-香味物质总量 | Z-总植物碱 | Z-总糖   |  |
| 主成分 1                                                                          | -0.544 | 0.846 | 0.812 | 0.842    | 0.931    | 0.842  | 0.731  |  |
| 主成分 2                                                                          | 0.782  | 0.315 | 0.009 | -0.164   | 0.227    | 0.488  | -0.456 |  |

表 6 烟丝理化指标主成分输出提取旋转成分矩阵

| Table 6 Rotated component matrix of physicochemical indexes of tobacco shred |        |       |       |          |          |        |       |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|----------|----------|--------|-------|--|
| 标准化后烟丝指标                                                                     | Z-填充值  | Z-弹性  | Z-整丝率 | Z-石油醚提取物 | Z-香味物质总量 | Z-总植物碱 | Z-总糖  |  |
| 主成分 1                                                                        | -0.031 | 0.882 | 0.687 | 0.617    | 0.904    | 0.972  | 0.365 |  |
| 主成分 2                                                                        | -0.952 | 0.196 | 0.434 | 0.595    | 0.316    | 0.048  | 0.780 |  |

$Z_1 \sim Z_7$ ——分别表示烟丝的填充值、弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质总量、总植物碱、总糖的原始数据经过 Z-Score 法标准化变换的标准变量(均值为 0,标准偏差为 1)。

根据式(3)可以计算出不同干燥条件下烟丝填充值、弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质总量、总植物碱、总糖的前 2 个主成分的综合得分,公式为:

$$F=0.784PC_1+0.216PC_2。$$
 (3)

得到 A1 综合得分为 0.83、A2 综合得分为 0.74、A3 综合得分为-0.68、A4 综合得分为-0.88,结果见图 2。由图 2 可

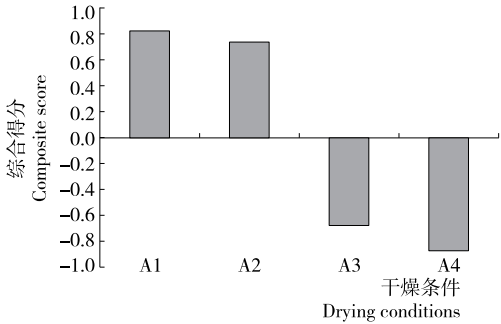


图 2 不同干燥条件烟丝理化指标主成分综合得分  
Figure 2 Comprehensive score of physicochemical indexes of tobacco shred of principal components under different drying conditions

知,随着干燥温度的升高烟丝理化指标主成分综合得分呈降低趋势。这与方差分析的结果较为一致,除总糖变化不明显,填充值呈增加趋势外,弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质总量、总植物碱含量都呈降低趋势。

随着干燥温度的提升,烟丝脱水速率加快,烟丝在应力的作用下弯曲变形,从而提高烟丝的填充值;而由于应力的作用烟丝变得更加脆弱<sup>[11]</sup>,故弹性呈降低趋势;由于脆性增加,在后续的加工过程中烟丝造碎势必会随之增加,因而整丝率呈降低趋势;石油醚提取物用水蒸气蒸馏可以得到两大类物质,一类是挥发油,包括大量低分子的烃类、醇类、酸类、酚类、酮类、脂类、低分子萜类等<sup>[15]</sup>,增加干燥温度必然会造成这些物质的挥发,而石油醚提取物则与烟丝香味物质呈正相关性,故随着温度的增加香味物质总量与石油醚提取物呈明显降低趋势;烟碱是一种易挥发、碱性较强的吡啶族生物碱,其中一部分以游离态的形式存在<sup>[16]</sup>,高强度的加工方式可能会导致这部分烟碱的损失。

2.3 不同干燥条件下烟丝感官质量的变化

为了进一步验证不同干燥条件下烟丝理化指标方差分析与主成分分析的结果,以 A1 处理条件的样品为对照样品,采用对比评吸的方式对卷烟的香气特性、烟气特性、口感特性三个方面进行评价,具体结果如表 7 所示。

由表 7 可以看出,随着干燥温度的提高卷烟香气质变

表 7 不同干燥条件下烟支感官质量变化<sup>†</sup>

Table 7 Sensory evaluation of cigarette under different drying conditions

| 干燥条件 | 香气质  | 香气量  | 杂气   | 透发性 | 劲头   | 浓度  | 细腻柔和程度 | 刺激程度 | 干燥程度 | 回甜   |
|------|------|------|------|-----|------|-----|--------|------|------|------|
| A1   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 0.0    | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| A2   | 0.0  | -0.5 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.5 | 0.5    | 0.0  | 0.0  | 0.5  |
| A3   | -0.5 | -0.5 | 0.0  | 0.5 | 0.0  | 0.0 | 0.0    | -0.5 | 0.0  | -0.5 |
| A4   | -0.5 | -1.0 | -0.5 | 1.0 | -0.5 | 0.5 | 0.5    | -0.5 | -0.5 | -1.0 |

<sup>†</sup> 空白样品各指标得分为 0.0,以 0.5 为计分单位,各指标变好为正,反之为负。

差,香气量逐渐减少,烟气干燥程度、刺激程度呈增大趋势,回甜感逐渐减少,但是卷烟烟气的透发性则呈现变好的趋势。不同干燥条件下卷烟感官质量的评价结果与方差分析与主成分分析的结果较为一致。

3 结论

不同干燥条件下烟丝理化指标变化均存在显著差异,填充值呈增大的趋势,而弹性、整丝率、石油醚提取物、香味物质总量则随着干燥温度的提高而降低,总植物碱呈降低的趋势,总糖含量变化不明显。主成分分析的结果显示,随着干燥温度的升高烟丝理化指标主成分综合得分呈降低趋势,卷烟感官质量的评价结果、方差分析和主成分分析的结果较为一致,筒壁温度为 100 ℃时卷烟的综合质量最优。

本次试验仅仅研究了筒壁温度对烟丝理化品质的影响,且研究对象为单等级的烟丝,故下一步可开展不同烘丝参数对全配方烟丝品质影响的研究,为提升卷烟加工水平提供参考。

参考文献

[1] 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 25-26.  
[2] 王超, 谭鹤群. 我国干燥技术的研究进展及展望[J]. 农机化研究, 2009, 31(12): 221-224.  
[3] 付莉, 李铁刚. 简述美拉德反应[J]. 食品科技, 2006, 31(12): 9-11.  
[4] 赵静芬, 李斌, 朱文魁, 等. 滚筒干燥过程中叶丝表面温度变化特征[J]. 烟草科技, 2011(6): 12-15.  
[5] 段鹏, 赵永振, 芦昶彤, 等. 对流干燥对烟丝表面温度及理化特性的影响[J]. 食品与机械, 2017(10): 184-189.  
[6] 朴永革, 李元实, 崔龙吉, 等. 气流干燥对烟丝中糖苷类致香成分的影响[J]. 农产品加工·学刊, 2010(7): 44-47.  
[7] 秦国鑫. 滚筒烘丝设备中烟丝轴向含水率分布与可控工艺参数关系研究[D]. 郑州: 郑州烟草研究院, 2013: 28-30.  
[8] 张伟, 毛多斌, 江家森, 等. 滚筒干燥不同控制变量对卷烟产品质量的影响[J]. 轻工学报, 2016, 31(2): 41-46.

(下转第 210 页)

埋或者吸附在包合物的表面,在包埋过程中造成损失。因此,如何进一步提高挥发油的包埋率和包埋得率,还需深入探讨。

参考文献

[1] 王岳峰, 范静娴, 许冬强. 野黄桂叶挥发性成分色谱-质谱联用分析[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(12): 2 923-2 924.

[2] 王岳峰, 曲方圆, 朱利平. 野黄桂叶油抗菌活性的实验研究[J]. 新中医, 2007, 39(5): 105-106.

[3] JUN Tian, BO Huang, XIU Li-luo, et al. The control of *Aspergillus flavus* with *Cinnamomum jensenianum* Hand-Mazz essential oil and its potential use as a food preservative[J]. Food Chemistry, 2012, 130(3): 520-527.

[4] LALLY J Y, VILHOEN A M, VAN S V. Potential interaction between the volatile and non-volatile fractions on the in vitro antimicrobial activity of three South African Pelargonium (Geraniaceae) species [J]. Natural Product Communications, 2010, 5 (9): 1 395-1 400.

[5] 李凤清. 植物精油的抑菌评价及其应用[D]. 南京: 南京师范大学, 2014: 1-10.

[6] ORLANDA J F F, NASCIMENTO A R. Chemical composition and antibacterial activity of *Ruta graveolens* L. (Rutaceae) volatile oils, from São Luís, Maranhão, Brazil [J]. South African Journal of Botany, 2015, 99: 103-106.

[7] YANG Yuan, ZHI Yan-kong, YING En-sun, et al. Complex co-acervation of soy protein with chitosan: Constructing antioxidant microcapsule for algal oil delivery [J]. LWT-Food Science and

Technology, 2017, 75: 171-179.

[8] 相聪坤, 张静宜, 李佳佳, 等. 白术、桂枝挥发油  $\beta$ -环糊精包合工艺研究及其包合物评价[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29 (1): 46-51.

[9] 韩春然, 张静, 李煜. 超声波法制备丁香精油- $\beta$ -环糊精微胶囊[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 97-100.

[10] 彭颖. 肉桂精油的提取及其微胶囊化的研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2012: 1-10.

[11] 陈琳皓, 单杨, 李高阳, 等. 复凝聚法制作甜橙香精微胶囊工艺研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 198-202.

[12] 刘光宪, 周巾英, 祝水兰, 等. 沙棘籽油微胶囊的制备及其性质研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 194-197.

[13] 强军锋. 壁材比例对复合凝聚法天然  $V_E$  微胶囊包埋效果的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 175-178.

[14] 方宇, 蒋生旺, 曹颖, 等. 复凝聚法制备茶油微胶囊[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 181-185.

[15] JANG S H, JANG S R, LEE G M, et al. Halloysite nanocapsules containing thyme essential oil: preparation, characterization, and application in packaging materials [J]. J Food Sci, 2017, 82(9): 2 113-2 120.

[16] 陈发河, 吴光斌, 陈志辉. 天然胡萝卜素  $\beta$ -环糊精微胶囊制备工艺的研究[J]. 中国食品学报, 2006(1): 110-115.

[17] REGIANE V B F, DIEGO A B, ERIC K S, et al. Cashew gum and inulin: New alternative for ginger essential oil microencapsulation[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 153: 133-142.

[18] 袁超, 祁鲲, 朱新亮, 等. 茉莉精油/羟丙基- $\beta$ -环糊精包合物的制备及表征[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 85-89.

(上接第 175 页)

[42] LIN Jia-jiang, SU Bin-lin, SUN Meng-qiang, et al. Biosynthesized iron oxide nanoparticles used for optimized removal of cadmium with response surface methodology [J]. The Science of Total Environment, 2018, 627(1): 314-321.

[43] 周歆, 周航, 曾敏, 等. 石灰石和海泡石组配对水稻糙米重金属积累的影响[J]. 土壤学报, 2014(3): 555-563.

[44] 谢运河, 纪雄辉, 吴家梅, 等. 不同有机肥对土壤镉锌生物有效性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 826-832.

[45] HUANG Bai-fei, XIN Jun-liang, DAI Hong-wen, et al. Effects of interaction between cadmium (Cd) and selenium (Se) on grain yield and Cd and Se accumulation in a hybrid rice (*Oryza*

*sativa*) system [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(43): 9 537-9 546.

[46] 袁知洋, 项剑桥, 吴冬妹, 等. 恩施富硒土壤区主要农作物硒镉特征以及和根系土硒镉关系研究[J]. 资源环境与工程, 2017, 31(6): 706-712.

[47] 梁程, 林匡飞, 张雯, 等. 不同浓度硫处理下硒镉交互胁迫对水稻幼苗的生理特性影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 857-866.

[48] 庞晓辰, 王辉, 吴泽赢, 等. 硒对水稻镉毒性的影响及其机制的研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(9): 1 679-1 685.

[49] 李虹颖, 唐杉, 王允青, 等. 硒对水稻镉含量及其在亚细胞中的分布的影响[J]. 生态环境学, 2016, 25(2): 320-326.

(上接第 204 页)

[9] 刘江生, 赖伟玲, 蔡国华, 等. KLD2-3 滚筒烘丝机筒壁温度不同控制模式对化学成分的影响[J]. 安徽农业学报, 2013, 41 (2): 824-826, 829.

[10] 胡建军, 周冀衡, 熊燕, 等. 烘丝工艺参数对烘后叶丝质量影响的研究[J]. 中国烟草学报, 2007, 13(6): 24-29.

[11] 段鹏. 烟丝变温干燥特性研究[D]. 郑州: 郑州烟草研究院, 2014: 28-45.

[12] 王岩. 叶丝滚筒分段变温干燥特性研究[D]. 郑州: 郑州烟草研

究院, 2015.

[13] 国家烟草专卖局. YC/T 31—1996 烟草及烟草制品试样的制备和水分的测定烘箱法[S]. 郑州: 国家烟草质量监督检验中心, 1996: 1-3.

[14] 国家烟草专卖局. YC/T 138—1998 烟草及烟草制品 感官评价方法[S]. 郑州: 国家烟草质量监督检验中心, 1998: 3-5.

[15] 王瑞新. 烟草化学[M]. 郑州: 中国农业出版社, 2003: 67-69.

[16] 明宁宁, 郭俊成, 刘强, 等. 烟草中生物碱的提取和分析方法研究进展[J]. 中国烟草学报, 2007, 13(3): 64-70.