

引文格式: 王发勇, 华一崑, 李思源, 等. 不同润叶模式对初烤烟叶化学成分的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(4): 91–98. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202210011](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202210011)

不同润叶模式对初烤烟叶化学成分的影响*

王发勇¹, 华一崑², 李思源², 王泽宇¹, 刘继辉²,
高占勇², 余森申^{3**}, 王玉真^{2**}

- [1. 红云红河烟草(集团)有限责任公司红河卷烟厂, 云南 弥勒 652399;
2. 红云红河烟草(集团)有限责任公司工艺质量部, 云南 昆明 650231;
3. 云南师范大学 能源与环境科学学院, 云南 昆明 650500]

摘要:【目的】探索不同等级烟叶原料的适宜打叶复烤润叶模式, 为卷烟品牌核心原料差异化润叶加工提供技术依据。【方法】以红河弥勒 K326 中桔一(C1F)和曲靖红花大金元上桔一(B1F) 2 种初烤烟叶为材料, 在二级润叶模式(蒸汽+湿热风)保持不变的情况下, 一级润叶模式设置蒸汽+水、干热风+水、蒸汽+湿热风+水、蒸汽+干热风+水共 4 种处理, 分析不同润叶模式下烟叶常规化学指标、挥发性致香物质、淀粉、果胶、石油醚提取物、总多酚、质体色素含量和化学成分可用性指数(chemical components usability index, CCUI)的差异。【结果】(1) 不同润叶模式下, 同一烟叶原料的出料温度及多项化学成分含量存在较大差异。(2) K326 C1F 初烤烟叶一级润叶适宜采用蒸汽+湿热风+水的润叶模式, 红花大金元 B1F 初烤烟叶一级润叶适宜采用蒸汽+干热风+水的润叶模式。【结论】不同润叶模式对相同烟叶原料化学成分的影响较大, 且不同烟叶原料适宜采用不同润叶模式。本研究为不同烟叶原料的差异化润叶加工提供了技术依据。

关键词: 初烤烟叶; 润叶模式; 化学成分

中图分类号: S572.01

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X(2024)04-0091-08

Effects of Different Moistening Modes on Chemical Components of Flue-cured Tobacco

WANG Fayong¹, HUA Yikun², LI Siyuan², WANG Zeyu¹, LIU Jihui²,
GAO Zhanyong², YU Senshen³, WANG Yuzhen²

- [1. Honghe Cigarette Factory, HongyunHonghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Mile 652399, China;
2. Process Quality Department, HongyunHonghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming 650231, China;
3. Faculty of Energy and Environment Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China]

Abstract: [Purpose] To explore suitable moistening modes for flue-cured tobacco leaves of different grades, providing a technical basis for differential moistening of core raw materials for cigarette brands. [Methods] Two kinds of flue-cured tobacco leaves (Honghe Mile K326 C1F and Qujing Honghuadajinyuan B1F) were selected as test materials. Under the condition that the secondary

收稿日期: 2022-10-10

修回日期: 2024-07-29

网络首发日期: 2024-08-30

*基金项目: 红云红河烟草(集团)有限责任公司科技项目(HYHH2021GY02, HYHH2021GY09); 云南中烟工业有限责任公司科技项目(2021YL02)。

作者简介: 王发勇(1990—), 男, 云南红河人, 硕士, 工程师, 主要从事烟草原料及卷烟工艺研究。

E-mail: fayol2014@126.com

**通信作者 Corresponding authors: 余森申(1993—), 男, 云南曲靖人, 博士, 讲师, 主要从事生物化工研究。E-mail: yusenshen@163.com; 王玉真(1985—), 女, 河南驻马店人, 硕士, 高级工程师, 主要从事烟草工艺研究。E-mail: 317311453@qq.com

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20240829.1730.007>



moistening mode (steam+damp hot wind) remains unchanged, four primary moistening modes were set as follows: steam+water, dry hot wind+water, steam+damp hot wind+water, and steam+dry hot wind+water. The differences in routine chemical indexes, volatile aromatic components, starch, pectin, petroleum ether extract, total polyphenols, plastid pigments, and the chemical components usability index (CCUI) of tobacco leaves under different moistening modes were analyzed. [Results] 1) There were obvious differences in the outlet temperature and the contents of many chemical components in the same flue-cured tobacco under different moistening modes. 2) The primary moistening of K326 C1F flue-cured tobacco was more suitable for the steam+damp hot wind+water mode, while the primary moistening of Honghuadajinyuan B1F flue-cured tobacco was more suitable for the steam+dry hot wind+water mode. [Conclusion] Different moistening modes have varied effects on the chemical components of the same tobacco raw materials, and different moistening modes are suitable for different tobacco raw materials. This study provides a technical basis for the differential moistening mode of different tobacco materials.

Keywords: flue-cured tobacco; moistening mode; chemical component

打叶复烤加工的第 1 道关键工序是润叶,其目的是增加烟叶温度和水分,使烟叶在打叶工序前充分松散,提高其耐加工性^[1]。打叶前一般需要进行两级润叶,一级润叶主要以增加烟叶水分为主,二级润叶主要以增加烟叶温度为主。润叶后的烟叶质量指标(如烟叶含水率、温度、松散率等)会对后续打叶及复烤工序的质量指标产生直接影响。近年来,已有较多关于打叶复烤润叶工序的相关研究。在润叶机设备系统改造及设计方面,主要包括润叶机加水系统改造^[2]、电控系统改造^[3]、实施统计过程控制^[4]、流量控制系统设计^[5]、润叶机进料方式改进^[6]、热风循环管道改造^[7]等。在润叶工序参数优化研究方面,李跃锋等^[8]和皇甫东有等^[9]通过研究润叶温度和含水率对打叶质量的影响,确定了适宜的润叶温度和水分;连长伟等^[10]通过研究润叶强度对烟叶色差、感官、梗叶分离情况以及能源消耗的影响,对润叶工序参数进行了优化;王发勇等^[11]通过对润叶工序参数组配控制模式进行优化,提升了烟片结构和保香效果;李京鑫等^[12-13]先后以 2 种烟叶模块为研究对象,各自以烟叶香味成分和综合品质得分为评价指标,分别使用综合平衡法和响应面优化法对润叶工艺参数进行优化,最终筛选出 2 种烟叶模块较优的润叶工艺参数组合。在不同润叶方式对烟叶内在质量的影响研究方面,龙明海等^[14]研究了蒸汽润叶和汽水混合润叶对不同初烤烟叶主要化学成分和感官质量的影响,发现不

同润叶方式对烟叶内在质量的影响存在较大差异。可见,针对打叶复烤润叶工序的研究,主要集中在润叶设备改进及润叶工艺参数优化方面,而关于通过设置多种润叶模式探究润叶后烟叶内在化学成分差异性的研究较少。

目前,国内打叶复烤企业对烟叶进行增温增湿的方式主要为蒸汽润叶和汽水混合润叶,为提高生产效率,不同等级的烟叶原料通常采用同一润叶模式进行加工。这种无差异化的润叶模式会导致部分烟叶出现加工不够或加工过度的问题,严重影响后续片烟加工质量及卷烟配方的稳定性。为探索不同润叶模式对加工质量的影响,本研究以弥勒 K326 中桔一(C1F)和曲靖红花大金元上桔一(B1F)2 种初烤烟叶作为试验材料,分析不同润叶模式下烟叶各项化学成分含量及其化学成分可用性指数(chemical components usability index, CCUI)的差异,旨在探索不同烟叶原料较适宜的润叶模式,为云烟品牌核心原料的精细化加工提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 2021 年云南红河弥勒产 K326 C1F 和曲靖产红花大金元 B1F 初烤烟叶。润叶试验前,各品种原料经专业分级人员鉴定,等级合格率达到 99% 以上。在开展试验前,分别对 2 种烟叶原料进行充分混匀,确保每组润叶试验前的

烟叶原料均匀一致。

1.2 试验方法

1.2.1 润叶模式设计

依托红云红河烟草(集团)有限责任公司昆明打叶复烤车间，设计了 4 种润叶模式，各模式的不同之处在于一级润叶的增温增湿方式及蒸汽喷

射的位置(表 1)；二级润叶的增温增湿方式均为蒸汽+湿热风，蒸汽喷射位置均为热风管道及滚筒的前后端。通过调节热风温度、蒸汽流量或加水量，确保 4 种润叶模式二级润叶后的出料烟叶质量指标均符合标准要求，即出料烟叶温度为 (53.0±5.0)℃，出料烟叶含水率为 (16.8±1.0)%。

表 1 4 种一级润叶模式设置
Tab. 1 Setting of four primary moistening modes

试验编号 test No.	增温增湿方式 methods of heating and humidifying	蒸汽喷射位置 location of steam injection
模式1 mode 1	蒸汽+水 steam+water	滚筒的前后端 the front and back ends of the roller
模式2 mode 2	干热风+水 dry hot wind+water	无蒸汽喷射 no steam injection
模式3 mode 3	蒸汽+湿热风+水 steam+damp hot wind+water	热风管道及滚筒的前后端 hot air duct, and the front and back ends of the roller
模式4 mode 4	蒸汽+干热风+水 steam+dry hot wind+water	滚筒的前后端 the front and back ends of the roller

1.2.2 试验样品制作

按照润叶模式设置，在开展每种润叶模式前调控相应的设备参数。将充分混匀的烟叶原料按编号分别投入打叶复烤生产线，每种润叶模式投入烟叶原料约 6 t，润叶工序流量约为 12 t/h，待每种模式的润叶工序稳定运行后进行取样。在二级润叶工序出口每隔约 2.5 min 取样 1 次，每次取样约 1.0 kg，每种模式取样 10 次。将每种润叶模式所取的 10 份烟叶样品充分混匀，再从 3 个不同位置各取样约 0.5 kg 作为待检样品。

1.2.3 化学成分含量的检测

按照烟草行业的标准^[15-23]，检测每个样品的常规化学成分、淀粉、石油醚提取物、多酚类化合物及质体色素含量；参照文献[24]，利用气相色谱/质谱联用仪(6890N/5975N)测定样品挥发性致香物质含量；参照文献[25]，利用 AA3 连续流动分析仪测定样品果胶含量。

1.2.4 烟叶化学成分的可利用性评价

(1) 烟叶化学成分可利用性指数 (CCUI)

将 6 项常规化学成分(总糖、还原糖、总氮、总植物碱、钾和氯)及其衍生指标(氮碱比、糖碱比和钾氯比)作为各烟叶样品化学品质的参评指标，根据各参评指标特征，运用模糊数学理论选择隶属度函数对其进行归一化处理^[26]；再按各参评指标对烟叶品质的贡献度大小赋予适当权重，得到烟叶的 CCUI，其数值越大，烟叶可利用性越

好，级别越高。CCUI 的计算公式为：

$$CCUI_i = \sum_{j=1}^9 f(x)_{ij} \times w_j。$$

式中：*i* 为烟叶样品，*i* = 1,2,3,⋯12；*j* 为参评指标，*j* = 1,2,3,⋯9；*f*(*x*) 为隶属度函数；*w* 为参评指标的权重系数。

(2) 隶属度函数的确定

根据烤烟化学成分实际情况，参考吴殿信等^[27]制定的烤烟各类化学成分含量分值表，并结合前人研究经验^[28-30]确定隶属度函数。其中总糖、还原糖、总氮、总植物碱、氯、糖碱比和氮碱比的隶属度函数类型为抛物线型，而钾氯比和钾的隶属度函数类型为 S 型。

对于抛物线型指标：

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x > x_4 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 - 0.9(x - x_3)/(x_4 - x_3) & x_3 < x \leq x_4 \end{cases}$$

对于 S 型指标：

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x > x_4 \\ 0.9(x - x_1)/(x_4 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

参考文献[31-32]确定各项参评指标的拐点值和权重系数(表 2)。

1.2.5 数据处理与统计分析

利用 SPSS 19.0 统计分析软件对试验数据进行方差分析。

表 2 9 项参评指标的函数类型、拐点及权重
Tab. 2 Membership function types, inflection points and weights of nine indexes

化学指标 chemical index	隶属度函数类型 membership function type	x_1	x_2	x_3	x_4	权重/% weight
总糖 total sugar	抛物线型 parabola type	10.0	20.0	28.0	35.0	4.7
还原糖 reducing sugar		12.0	23.0	26.0	33.0	19.6
总氮 total nitrogen		1.1	2.0	2.3	3.4	10.6
总植物碱 total alkaloids		1.2	2.1	2.4	3.5	38.9
氮碱比 nitrogen/alkaloids		0.6	1.0	1.1	1.5	7.1
糖碱比 sugar/alkaloids		4.0	10.5	11.5	17.0	14.9
氯 chloride	S型 S type	0.1	0.3	0.8	1.0	1.3
钾 potassium		0.8	—	—	2.5	1.4
钾氯比 potassium/chlorine	S type	0.8	—	—	8.0	1.5

注: x_1 、 x_2 、 x_3 和 x_4 分别表示各参评指标的下限值、最优值下限、最优值上限和上限值, 除氮碱比、糖碱比和钾氯比外, 其他指标的单位均为“%”。

Note: x_1 , x_2 , x_3 and x_4 represent the lower limit value, the lower limit of optimal value, the upper limit of optimal value and the upper limit value of each participating index, respectively; and except nitrogen/alkaloids, sugar/alkaloids and potassium/chlorine, the unit of other indexes is “%”.

2 结果与分析

2.1 不同润叶模式出料水分和温度的差异

不同润叶模式下, 烟叶出料水分及温度整体

存在较大差异 (表 3)。对于 2 种烟叶原料, 模式 3 和模式 4 的一级、二级润叶出料温度相对较高; 而 4 种润叶模式的出料水分无明显变化规律, 整体差异性相对较小。

表 3 不同润叶模式下烟叶的出料水分及温度的差异
Tab. 3 Differences of outlet moisture content and temperature of tobacco leaves with different moistening modes

烟叶 tobacco leaves	工序 process	指标 indexes	模式1 mode 1	模式2 mode 2	模式3 mode 3	模式4 mode 4
K326 C1F	一级润叶 primary moistening	水分/% moisture content	17.24±0.47 a	16.48±0.38 b	16.67±0.25 b	16.53±0.50 b
		温度/℃ temperature	50.3±0.3 d	51.6±0.2 c	54.3±0.2 b	55.8±0.4 a
	二级润叶 secondary moistening	水分/% moisture content	16.99±0.28 a	16.48±0.36 b	16.55±0.35 b	16.65±0.42 b
		温度/℃ temperature	51.1±0.6 c	52.5±0.5 b	55.0±0.3 a	55.3±0.4 a
红花大金元B1F Honghuadajinyuan B1F	一级润叶 primary moistening	水分/% moisture content	16.74±0.31 a	15.94±0.24 b	16.67±0.40 a	16.05±0.33 b
		温度/℃ temperature	50.8±0.5 c	52.3±0.5 b	54.9±0.6 a	55.5±0.4 a
	二级润叶 secondary moistening	水分/% moisture content	16.53±0.27 b	17.04±0.30 a	16.55±0.49 b	16.23±0.52 b
		温度/℃ temperature	51.6±0.3 b	49.5±0.3 c	55.2±0.5 a	55.7±0.6 a

注: 同行不同小写字母表示处理间有显著性差异 ($P<0.05$); B1F表示上桔一等级, C1F表示中桔一等级; 下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P<0.05$); B1F indicates upper orange one, C1F indicates middle orange one; the same as below.

2.2 不同润叶模式下烟叶常规化学指标的差异

不同润叶模式下的烟叶常规化学指标及其 CCUI 整体存在较大差异 (表 4)。对于 K326 C1F 烟叶, 模式 1 下, 总植物碱和钾含量及 CCUI 最高, 而总糖和还原糖含量以及糖碱比则最低; 模式 2 下, 总糖和还原糖含量以及糖碱比、钾氯比均显著高于其他模式, 但总氮和氯含量以及氮碱比、CCUI 显著最低; 模式 3 下, 总氮和氯含量及氮碱比、CCUI 最高, 而总糖含量及钾氯比最

低; 模式 4 下, 总植物碱含量最低, 其他指标处于中等水平。对于红花大金元 B1F 烟叶, 模式 1 下, 总植物碱和钾含量最高; 模式 2 下, 总氮和氯含量最高, 但总糖含量及钾氯比最低; 模式 3 下, 总糖和还原糖含量最高, 而 CCUI 最低; 模式 4 下, 钾氯比及 CCUI 最高, 而还原糖、总氮、钾和氯含量显著低于其他模式。综合考虑 CCUI, 模式 1、3 为 K326 C1F 烟叶较适宜的润叶模式, 模式 1、2、4 均可作为红花大金元 B1F

烟叶适宜的润叶模式。

2.3 不同润叶模式下烟叶致香物质含量的差异

由表 5 可知：测定出的 44 种致香物质包 括：醇类致香物质 11 种，醛类致香物质 10 种，烯类致香物质 1 种，酮类致香物质 20 种，酯类致香物质 2 种。

表 4 不同润叶模式下烟叶常规化学指标及化学成分可用性指数 (CCUI) 的差异

Tab. 4 Differences of routine chemical indexes and chemical composition usability index (CCUI) of tobacco leaves with different moistening modes

烟叶 tobacco leaves	指标 indexes	模式1 mode 1	模式2 mode 2	模式3 mode 3	模式4 mode 4
K326 C1F	总糖/% total sugar	33.10±0.20 c	37.10±0.20 a	33.10±0.20 c	34.20±0.30 b
	还原糖/% reducing sugar	31.80±0.10 c	34.80±0.10 a	32.00±0.40 bc	32.50±0.30 b
	总氮/% total nitrogen	1.93±0.01 a	1.81±0.02 c	1.94±0.02 a	1.87±0.01 b
	总植物碱/% total alkaloids	2.41±0.02 a	2.39±0.02 ab	2.36±0.01 bc	2.33±0.03 c
	钾/% potassium	1.96±0.04 a	1.79±0.02 b	1.84±0.02 b	1.86±0.06 ab
	氯/% chloride	0.39±0.01 ab	0.22±0.01 c	0.40±0.01 a	0.36±0.03 b
	糖碱比 sugar/alkaloids	13.73±0.13 c	15.50±0.16 a	14.05±0.10 c	14.64±0.24 b
	氮碱比 nitrogen/alkaloids	0.80±0.01 a	0.76±0.01 b	0.82±0.01 a	0.80±0.01 a
	钾氯比 potassium/chlorine	5.03±0.11 b	8.28±0.22 a	4.65±0.11 b	5.20±0.48 b
	化学成分可用性指数 CCUI	0.77±0.01 a	0.62±0.01 c	0.77±0.01 a	0.72±0.01 b
红花大金元 B1F Honghuadajinyuan B1F	总糖/% total sugar	35.90±0.20 ab	35.40±0.20 c	36.00±0.20 a	35.60±0.10 bc
	还原糖/% reducing sugar	31.90±0.20 a	31.80±0.10 a	32.10±0.20 a	31.00±0.10 b
	总氮/% total nitrogen	1.80±0.01 ab	1.82±0.01 a	1.78±0.02 b	1.75±0.02 c
	总植物碱/% total alkaloids	2.03±0.03 a	2.02±0.01 a	1.98±0.02 a	2.01±0.04 a
	钾/% potassium	1.95±0.06 a	1.89±0.06 a	1.89±0.05 a	1.74±0.06 b
	氯/% chloride	0.81±0.03 a	0.82±0.03 a	0.77±0.01 a	0.63±0.03 b
	糖碱比 sugar/alkaloids	17.71±0.23 b	17.58±0.11 b	18.16±0.25 a	17.69±0.29 b
	氮碱比 nitrogen/alkaloids	0.89±0.02 ab	0.90±0.01 a	0.90±0.01 a	0.87±0.01 b
	钾氯比 potassium/chlorine	2.41±0.06 b	2.31±0.08 c	2.46±0.03 b	2.77±0.10 a
	化学成分可用性指数 CCUI	0.65±0.01 a	0.65±0.01 a	0.63±0.01 b	0.66±0.02 a

不同润叶模式下，烟叶各类致香物质含量整体存在较大差异 (表 6)。对于 K326 C1F 烟叶，模式 1 下，醇类、烯类和酮类致香物质的含量最低；模式 2 下，醛类和酯类致香物质的含量显著低于其他润叶模式；模式 3 下，烯类和酯类致香物质的含量最高；模式 4 下，醇类、醛类和酮类致香物质的含量最高。对于红花大金元 B1F 烟叶，模式 1 下，醇类、烯类和酯类致香物质的含量最低；模式 2 下，醛类致香物质的含量最高，而酮类和酯类致香物质的含量最低；模式 3 下，酯类致香物质的含量最高；模式 4 下，醇类、烯类和酮类致香物质的含量最高，而醛类致香物质的含量最低。总体来看，K326 C1F 烟叶在模式 3、4 下的致香物质含量相对较高，而红花大金元 B1F 烟叶在模式 3、4 下的致香物质含量相对较高。

2.4 不同润叶模式下烟叶其他化学成分含量的差异

不同润叶模式下，烟叶的淀粉含量无显著差异，而果胶、石油醚提取物、总多酚及质体色素

含量整体存在较大差异 (表 7)。对于 K326 C1F 烟叶，模式 1 下，果胶、总多酚和叶黄素含量最高；模式 2 下，β-胡萝卜素含量最高，而石油醚提取物含量最低；模式 3 下，石油醚提取物含量最高，而果胶、总多酚、叶黄素和 β-胡萝卜素含量最低；模式 4 下，烟叶各项化学成分含量整体处于中间水平。对于红花大金元 B1F 烟叶，模式 1、3 下，烟叶各项化学成分的含量整体处于中间水平；模式 2 下，果胶、叶黄素和 β-胡萝卜素含量最高，而石油醚提取物含量最低；模式 4 下，石油醚提取物含量最高，而果胶、总多酚、叶黄素和 β-胡萝卜素含量最低。根据石油醚提取物含量以及果胶、多酚和质体色素的降解程度可知：模式 3 更适合于 K326 C1F 烟叶的润叶，而模式 4 更适合于红花大金元 B1F 烟叶的润叶。

2.5 最适润叶模式选择

综合考虑 CCUI、致香物质含量、石油醚提取物含量以及果胶、多酚和质体色素的降解程

度，模式 3 是 K326 C1F 烟叶的最适润叶模式，即一级润叶采用蒸汽+湿热风+水的模式；模式 4 是红花大金元 B1F 烟叶的最适润叶模式，即一级润叶采用蒸汽+干热风+水的模式。

表 5 致香物质的分类
Tab. 5 Classification of aromatic components

类型 types	致香物质 aromatic components	类型 types	致香物质 aromatic components
醇类 alcohols	3-甲基-1-丁醇 isoamylalcohol	酮类 ketones	1-戊烯-3-酮 ethyl vinyl ketone
	糠醇 furfuryl alcohol		2,3-戊二酮 2,3-pentanedione
	5-甲基糠醇 5-methyl furfuryl alcohol		3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone
	苯甲醇 benzyl alcohol		面包酮 2-methyltetrahydrofuran-3-one
	芳樟醇 linalool		4-环戊烯-1,3-二酮 4-cyclopentene-1,3-dione
	苯乙醇 benzyl ethanol		6-甲基-2-庚酮 6-methyl-2-heptanone
	寸拜醇 inch alcohol		6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one
	西柏三烯二醇A sibutrienediol A		氧化异佛尔酮 isophorone oxide
	西柏三烯二醇B sibutrienediol B		茄酮 solanone
	西柏三烯二醇C sibutrienediol C		β-大马酮 β-damascenone
	西柏三烯二醇D sibutrienediol D		β-二氢大马酮 β-2H-damascenone
醛类 aldehyde	正戊醛 N-amyl aldehyde		香叶基丙酮 geranyl acetone
	3-甲基-2-丁烯醛 3-methyl-2-butena		降茄二酮 norsoladione
	正己醛 hexanal		β-紫罗兰酮 β-ionone
	糠醛 furfural		巨豆三烯酮 A megastigmatrienone A
	苯甲醛 benzaldehyde		巨豆三烯酮 B megastigmatrienone B
	苯乙醛 phenylacetaldehyde		巨豆三烯酮 C megastigmatrienone C
	2,6-壬二烯醛 2,6-nonadienal		巨豆三烯酮 D megastigmatrienone D
	2-异丙基-己醛 2-isopropyl-hexanal	酯类 esters	螺岩兰草酮 solavetivone
烯类 alkenes	β-环柠檬醛 β-cyclocitral		金合欢基丙酮 farnesylacetone
	5-甲基糠醛 5-methylfurfural		丁内酯 butyrolactone
	新植二烯 neophydiene		二氢猕猴桃内酯 dihydroacti-nidiolide

表 6 不同润叶模式下烟叶致香物质含量的差异
Tab. 6 Differences of aromatic components contents of tobacco leaves with different moistening modes

烟叶 tobacco leaves	致香物质类型 types of aromatic components	模式1 mode 1	模式2 mode 2	模式3 mode 3	模式4 mode 4
K326 C1F	醇类 alcohols	18.77±0.37 c	23.06±0.42 b	24.51±0.43 a	25.49±0.44 a
	醛类 aldehyde	2.73±0.07 b	2.25±0.04 c	3.19±0.06 a	3.23±0.06 a
	烯类 alkenes	129.36±2.39 b	131.16±2.36 b	150.65±2.60 a	145.21±2.56 a
	酮类 ketones	24.02±0.46 d	25.89±0.47 c	27.20±0.47 b	28.49±0.49 a
	酯类 esters	0.56±0.01 b	0.47±0.01 c	0.70±0.01 a	0.68±0.01 a
红花大金元 B1F Honghuadajinyuan B1F	醇类 alcohols	15.67±0.27 d	16.61±0.29 c	17.83±0.32 b	24.68±0.43 a
	醛类 aldehyde	2.36±0.04 b	2.53±0.04 a	2.36±0.04 b	2.23±0.04 c
	烯类 alkenes	148.25±2.56 b	154.49±2.69 ab	155.36±2.71 a	157.88±2.78 a
	酮类 ketones	26.13±0.45 ab	25.51±0.44 b	27.01±0.47 a	27.10±0.50 a
	酯类 esters	0.65±0.01 b	0.65±0.01 b	0.74±0.01 a	0.71±0.01 a

3 讨论

2018 年，中国烟草总公司在启动的国内打

叶复烤技术升级重大专项中指出，要把不断提升卷烟品牌核心原料精细化加工水平作为打叶复烤企业的一项重点工作。核心原料精细化加

工既是各个品牌卷烟风格特色彰显和品质稳定的保障,也是扩大烟叶原料使用价值的重要手段。本研究依托红云红河烟草(集团)有限责任公司某打叶复烤生产线的润叶设备,并基于其

灵活多变的调控模式设置 4 种润叶模式,以 K326 C1F 和红花大金元 B1F 初烤烟叶为对象,探讨不同润叶模式下烟叶各项化学指标含量及 CCUI 的差异。

表 7 不同润叶模式下烟叶其他化学成分含量的差异
Tab. 7 Differences of other chemical components contents of tobacco leaves with different moistening modes

烟叶 tobacco leaves	化学成分 chemical components	模式1 mode 1	模式2 mode 2	模式3 mode 3	模式4 mode 4
K326 C1F	淀粉/% starch	6.08±0.21 a	5.78±0.07 a	5.79±0.04 a	5.96±0.14 a
	果胶/% pectin	5.12±0.09 a	4.74±0.08 b	3.98±0.07 c	4.84±0.08 b
	石油醚提取物/% petroleum ether extract	3.07±0.09 b	3.01±0.05 b	3.67±0.07 a	3.11±0.08 b
	总多酚/(mg·g ⁻¹) total polyphenols	47.59±1.01 a	46.86±0.93 a	37.19±0.84 c	43.00±0.74 b
	叶黄素/(μg·g ⁻¹) xanthophyll	555.99±9.54 a	543.47±9.32 a	306.50±5.26 b	545.68±9.36 a
	β-胡萝卜素/(μg·g ⁻¹) β-carotene	45.25±0.78 ab	46.88±0.80 a	30.15±0.52 c	44.02±0.75 b
红花大金元 B1F Honghuadajinyuan B1F	淀粉/% starch	5.18±0.15 a	5.25±0.18 a	5.30±0.11 a	5.16±0.04 a
	果胶/% pectin	4.53±0.08 b	4.82±0.10 a	3.70±0.06 c	3.54±0.06 c
	石油醚提取物/% petroleum ether extract	2.85±0.06 ab	2.70±0.06 b	2.79±0.05 ab	2.90±0.05 a
	总多酚/(mg·g ⁻¹) total polyphenols	45.40±0.78 a	46.29±0.98 a	42.67±0.95 b	42.00±0.72 b
	叶黄素/(μg·g ⁻¹) xanthophyll	675.41±11.58 a	677.20±11.61 a	624.59±10.71 b	572.99±9.83 c
	β-胡萝卜素/(μg·g ⁻¹) β-carotene	55.77±0.96 a	56.09±0.96 a	51.66±0.89 b	48.79±0.84 c

在热处理过程中,温度、水分及热处理时间是影响烟叶原料理化特性的主要因素。本研究表明:尽管 2 种烟叶原料在不同润叶模式下,其出料含水率、温度等质量指标均控制在标准范围内,且工艺流量保持一致(即物料受热处理时间相同),但润叶过程中烟叶的增温增湿方式及蒸汽喷射位置不同,仍然导致润叶后烟叶的温度及含水率出现显著差异,这与龙明海等^[14]的研究结果一致。对比 4 种润叶模式的出料温度可知:相较于蒸汽+水和干热风+水的润叶模式,蒸汽+湿热风+水和蒸汽+干热风+水这 2 种热风汽水混合的润叶模式具有更高的出料温度,加工强度也相对较大,这极有可能是导致不同润叶模式下烟叶化学成分含量发生变化的关键因素之一。特别是热处理过程中滚筒内温度的差异,对烟叶化学成分含量的影响尤为显著,这与龙明海等^[14]、廖世勇等^[33]的研究结果一致。烟叶原料经过一系列热处理工序后,出料温度在满足工艺标准的前提下,适当提高受热温度不仅能有效去除烟叶中的杂气,还有助于质体色素、多酚类化合物等致香前体物的降解,这与龙明海等^[14]的研究结果一致。这一过程中,还会进一步产生如 β-紫罗兰酮、β-大马酮、茄酮、氧化异佛尔酮、巨豆三烯酮等分子质量较低的挥发性致香物质^[34],从而丰富烟叶香气成分。

通过比较 2 种烟叶原料在 4 种润叶模式下的出料温度可知:模式 3 和模式 4 的出料温度较高,平均为 55 ℃;而模式 1 和模式 2 的出料温度相对较低,平均为 51 ℃。进一步比较 2 种烟叶原料在 4 种润叶模式下的内在化学质量可知:K326 C1F 烟叶的 CCUI 在模式 3 下最高,而在模式 2 下最低;红花大金元 B1F 烟叶的 CCUI 在模式 4 下表现最优,而在模式 3 下相对较低。这表明同一烟叶在不同润叶模式下内在化学质量存在一定差异。此外,分析致香成分、总多酚和质体色素含量的变化发现:模式 3 和模式 4 下,K326 C1F 和红花大金元 B1F 烟叶的致香成分总体含量较高,而总多酚和质体色素含量较低;相反,模式 1 和模式 2 下,总多酚和质体色素含量较高,而致香成分总体含量较低。这一结果显示:出料温度较高的润叶模式(即模式 3 和模式 4)有助于降低烟叶中总多酚和质体色素含量,同时提升小分子致香物质的含量。适当提高受热温度可以更有效地促进烟叶中大分子潜香物质向小分子致香物质的转化,这一结论与杨志忠^[35]和武圣江等^[36]的研究结果一致。然而,不同润叶模式对烟叶常规化学成分和石油醚提取物的影响也颇为显著,但其影响趋势与致香成分有所不同,其影响机理仍需进一步深入研究。

4 结论

同一烟叶原料在不同润叶模式下的化学成分含量总体存在较大差异；不同等级的烟叶原料适宜采用不同的润叶模式进行处理，K326 C1F 烟叶一级润叶适宜采用蒸汽+湿热风+水的模式，红花大金元 B1F 烟叶一级润叶适宜采用蒸汽+干热风+水的模式。在润叶质量指标满足工艺标准的前提下，出料温度较高的润叶模式有利于促进多酚、质体色素等大分子潜香物质降解为小分子挥发性致香物质。本研究可为不同烟叶原料差异化润叶加工提供参考，对于提高卷烟品牌核心原料的精细化加工水平和使用价值具有重要意义。

[参考文献]

- [1] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2016.
- [2] 李曼. 烟叶加工中润叶机加水系统的改造[J]. 机床与液压, 2003(4): 312. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2003.04.126.
- [3] 金剑, 金钊. 复烤润叶机电控系统改造[J]. 烟草科技, 2006(7): 17. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0861.2006.07.004.
- [4] HUANG P P, LIU H W. Application of SPC in the quality control of the leaf tobacco threshing and redrying production[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 109: 56. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.109.56.
- [5] 王磊, 张寿明, 汪芬. 润叶机控制及整线流量控制系统[J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(10): 43. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7241.2007.10.015.
- [6] 陈成, 周明, 杨兴成, 等. 改进润叶机进料方式的探讨[J]. 现代农机, 2019(6): 45. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5604.2019.06.019.
- [7] 王朝明. 新型热风润叶循环系统的设计及应用[J]. 设备监理, 2019(5): 48. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2465.2019.05.023.
- [8] 李跃锋, 姜焕元, 刘志平, 等. 烟叶温度和含水率与打叶质量的关系[J]. 烟草科技, 2005(2): 5. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0861.2005.02.002.
- [9] 皇甫东有, 刘丁伟, 王建民. 两次润叶水分、温度控制对打叶质量的影响[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2011, 26(2): 28. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1478.2011.02.008.
- [10] 连长伟, 张腾健, 卢敏瑞, 等. 不同润叶强度对打叶复烤在制品质量及能源消耗的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(15): 194. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.15.055.
- [11] 王发勇, 牛绍辉, 徐超, 等. 基于烟片结构和保香加工的润叶参数模式筛选[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(9): 223. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.042.
- [12] 李京鑫, 何力, 孙觅, 等. 润叶参数对烟叶香味物质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(5): 191. DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90110.
- [13] 李京鑫, 何力, 孙觅, 等. 响应面法优化烟叶复烤润叶工艺[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2022, 43(3): 123. DOI: 10.16872/j.cnki.1671-4652.2022.03.019.
- [14] 龙明海, 张晓龙, 汪显国, 等. 打叶复烤润叶方式对烟叶质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(1): 108. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.01.029.
- [15] YC/T 159—2019. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法[S].
- [16] YC/T 161—2002. 烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法[S].
- [17] YC/T 160—2002. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法[S].
- [18] YC/T 217—2007. 烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法[S].
- [19] YC/T 162—2011. 烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法[S].
- [20] YC/T 216—2013. 烟草及烟草制品 淀粉的测定 连续流动法[S].
- [21] YC/T 176—2003. 烟草及烟草制品 石油醚提取物的测定[S].
- [22] YC/T 202—2006. 烟草及烟草制品 多酚类化合物 绿原酸、茛菪亭和芸香苷的测定[S].
- [23] YC/T 382—2010. 烟草及烟草制品 质体色素的测定 高效液相色谱法[S].
- [24] 祁林, 唐习书, 刘静, 等. 不同长度梗丝色度值与致香成分的变化及相关性分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(4): 650. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202003037.
- [25] 白晓莉, 侯英, 张朗, 等. 基于响应面分析法对烟叶中果胶测定方法的优化[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(5): 85. DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.05.016.
- [26] 李柏年, 吴礼斌. Matlab数据分析方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [27] 吴殿信, 袁志永, 闫克玉, 等. 烤烟各等级烟叶质量指数的确定[J]. 烟草科技, 2001(12): 9. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0861.2001.12.003.
- [28] 丁云生, 何悦, 曹金丽, 等. 大理州烤烟主要化学成分特征及其可用性分析[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(3): 16. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2009.03.003.
- [29] 张勇刚, 吴键, 项波卡, 等. 基于改进模糊灰色关联分析法的烤烟化学品质评价[J]. 烟草科技, 2014(10): 84. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0861.2014.10.021.
- [30] 王育军, 周冀衡, 李强, 等. 曲靖烟叶化学成分可用性及其对感官评吸质量的影响[J]. 烟草科技, 2014(11): 70. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0861.2014.11.014.
- [31] 佟道儒. 烟草育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [32] 蒋佳磊, 陆扬, 苏燕, 等. 我国主要烟叶产区烤烟化学成分特征与可用性评价[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(2): 14. DOI: 10.16472/j.chinatobacco.2016.123.
- [33] 廖世勇, 李瑞东, 黄文勇, 等. 基于响应曲面法的云产烟叶模块化打叶复烤工艺优化[J]. 烟草科技, 2022, 55(12): 69. DOI: 10.16135/j.issn1002-0861.2022.0185.
- [34] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1993.
- [35] 杨志忠. 卷烟加工过程对烟草质体色素含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 6093. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2011.10.160.
- [36] 武圣江, 谢己书, 潘文杰, 等. 不同湿度条件下不同成熟度烤烟散叶密集烘烤生理变化研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2012, 27(5): 733. DOI: 10.3969/j.issn.1004-390X(n).2012.05.020.

责任编辑: 何承刚