

网络出版时间:2017-10-09 09:39

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.11.005

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20171009.0939.010.html

烟叶烘烤过程中流水线烤房的空气介质分析

宋朝鹏,武劲草,路晓崇,李生栋,魏 硕,蒋博文,官长荣

(河南农业大学 烟草学院,河南 郑州 450002)

【摘 要】 【目的】了解流水线烤房烘烤介质中温度、相对湿度以及风速的变化,明确各参数之间的影响。【方法】以 8 隧道 30 m 流水线烤烟烤房为研究对象,测定烘烤过程中的温度、相对湿度和风速。【结果】1)流水线烤房烘烤过程中变黄期时间为 40~47 h,定色期时间为 43~48 h,干筋期时间 45~52 h。2)在烤烟烘烤过程中,流水线烤房的 I 区、II 区与 VI 区 4 路烟叶的温度无显著性差异,III 区~V 区 4 路烟叶表现为两侧温度大于中间温度;各区段 4 路烟叶的相对湿度有相对较大差异;整个烘烤过程叶间风速的变化趋势比较复杂,总体表现为 C 路烟叶的叶间隙风速最小,两侧烟叶的风速保持在较高水平;但各路烟的烘烤环境均能满足烘烤需求,且烤后烟的品质差异不大。3)各区段流水线烤房内的风速对温湿度的变化有不同程度影响。4)与普通密集烤房相比,流水线烤房能够提高烟叶品质,降低光滑烟的比例。【结论】流水线烤房能够很好地满足当前烟叶生产的需求,进一步提高烟叶生产的经济效益。

【关键词】 烤烟;流水线烤房;风速;温度;相对湿度

【中图分类号】 S572

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)11-0036-07

Analysis of air medium in pipelined flue-cured tobacco curing barn during curing process

SONG Zhaopeng, WU Jincao, LU Xiaochong, LI Shengdong,
WEI Shuo, JIANG Bowen, GONG Changrong

(College of Tobacco, Henan Agriculture University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the environment temperature, humidity and wind changes in the line curing barn and the interactions between parameters. 【Method】 A 30 m pipeline tunnel drying room was selected to measure temperature, humidity, and wind speed during curing process. 【Result】 1) In the curing process, yellowing stage was 40—47 h, color fixing time was 43—48 h, and the drying time was 45—52 h. 2) There was no significant difference in temperature between the 4 ways of tobacco in I zone, II zone and VI zone, but the bilateral temperature of III zone—V zone was greater than middle temperature. The relative humidity of 4 ways had relatively larger difference while the change of wind speed was complex in the whole curing process. The wind speed between tobacco leaves of C way was the minimum while on sides of leaves was high. The curing environment of all 4 ways could meet the curing requirements, and there was small difference in tobacco quality. 3) The wind speed of pipeline curing barn had different influences on temperature and humidity. 4) Compared with the ordinary bulk curing barn, the pipelined flue-cured tobacco curing barn could improve tobacco quality, and the proportion of solid and stiff tobacco was decreased. 【Conclusion】 The pipelined flue-cured tobacco curing barn could meet the demand of

〔收稿日期〕 2016-09-08

〔基金项目〕 中国烟草总公司项目“浓香型烤烟调制关键技术研究”(Ts-01-2011006)

〔作者简介〕 宋朝鹏(1978—),男,河南邓州人,副教授,博士,主要从事烟叶调制研究。E-mail: ycszp@163.com

〔通信作者〕 官长荣(1948—),男,河南荥阳人,教授,主要从事烟草调制与加工研究。E-mail: gongchr009@126.com

tobacco curing, and improve the economic benefit of tobacco production.

Key words: flue-cured tobacco; pipelined flue-cured tobacco curing barn; wind speed; temperature; relative humidity

流水线烟叶烤房经国家烟草专卖局组织鉴定已达到世界领先水平,该系统装备在烟草行业烤烟装备上属于革命性创新,从根本上改变了传统燃煤、固定式静止烤烟模式,实现了节能环保的要求^[1]。烟叶的烘烤是通过控制烘烤环境来调节烟叶变黄与干燥,进而影响烟叶组织水分与内含物质的变化来实现的^[2-6]。因此在线监测流水线烤房烘烤过程中的烤烟环境参数,分析其变化规律及分布特征,明确各参数之间的影响,对调节烤烟烘烤工艺、保障烤烟品质和提高生产效益具有较大意义。

目前关于烟叶烘烤环境的研究主要集中在密集烤房^[7-11]。宫长荣等^[12]研究表明,控制适宜的温度,并延长 54 ℃ 时的烘烤时间,能够明显促进类胡萝卜素的降解,烤后烟叶的颜色深、色度浓、香气量足、吃味醇和。黄晓因等^[13]和蔡宪杰等^[14]研究表明,烘烤环境的相对湿度也是影响烟叶烘烤的主要因素,烤房相对湿度高低决定了烟叶水分外扩散的速度,进而保障烟叶失水速率与烟叶变化相协调。王松峰等^[15]、代丽等^[16]和宫长荣等^[17]的研究也表明,烘烤前期需要保持较高的相对湿度,才能保障烟叶的顺利变黄、叶片化学物质的充分转化,进而保持水分外扩散与内扩散的速度基本平衡。刘闯等^[18]研究表明,烘烤过程中在变黄阶段、定色阶段和干筋阶段的烟叶间隙风速分别为 (0.22 ± 0.05) , (0.35 ± 0.12) 和 (0.40 ± 0.17) m/s 时,烤后烟外观质量较好。流

水线烟叶烤房作为新型烤房对未来烟叶的烘烤模式有一定的引导性^[1],但关于流水线烤房中风速、温度和相对湿度等烘烤环境的研究尚未见报道。为此,本研究以 8 隧道 30 m 流水线烤房为研究对象,对烘烤过程中热空气的风速、温度与相对湿度进行研究,分析风速对温度、相对湿度的影响,以期为流水线烤房的推广应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料和装置

试验于 2015 年在河南邓州市裴营乡丰奇集团进行,供试烤烟品种为云烟 87。试验烤房由邓州丰奇集团研发,满载运行时可满足约 67 hm² 烟叶的同时烘烤。如图 1 所示,烤房整体上由装烟区、准备区、降温区、烤烟区以及卸烟区 5 部分组成,烤房长 30 m,宽 3.5 m,高 3.5 m,两端开设观察门,烤烟区依据干燥要求分为 I 区、II 区、III 区、IV 区、V 区、VI 区 6 个隧道,相邻区之间安装高清摄像头。

装烟设备采用直径 5 mm 的钢筋焊接而成,宽 70 cm,高 250 cm,厚 15 cm,上方有悬挂孔;装烟层数为 3 层,每层夹持鲜烟 70~80 片;在烤房中将夹好的烟叶悬挂在传送装置的挂钩上面,每排可同时悬挂 4 路烟叶,从左向右依次命名为 A 路烟、B 路烟、C 路烟以及 D 路烟(如图 2 所示)。并以两座普通密集烤房作为试验对比。

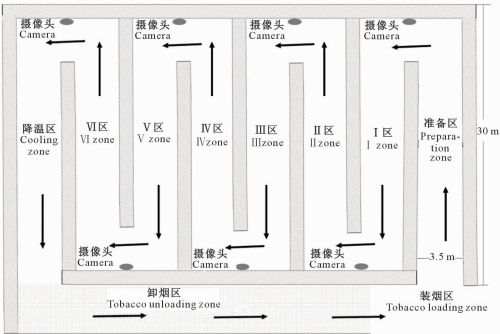


图 1 流水线烤房俯视图

Fig. 1 The plan viewport of pipelined curing barn

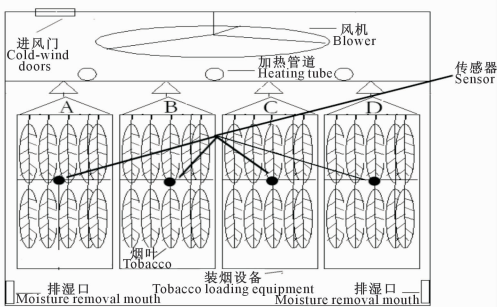


图 2 流水线烤房前视图

Fig. 2 The front viewport of pipelined curing barn

如图 2 所示,流水线烤房主要由传动系统、供热

系统及通风系统组成。烟叶在传动系统的驱动依据

烟叶变化,4 排夹烟设备同时运行。烤烟区通风系统由循环风机和排湿风机组成,循环风机为 7 排轴流风机,转速 960 r/min。根据烘烤过程中烟叶对环境的需求,分别在 I 区~Ⅵ区安装不同数量的风机,风机平均分布,其中 I 区 3 个循环风机,Ⅱ区 4 个循环风机,Ⅲ区 6 个循环风机,Ⅳ区 5 个循环风机,Ⅴ区 4 个循环风机,Ⅵ区 4 个循环风机。供热系统由加热管组成,加热介质为热水。I 区~Ⅵ区烤房内温度与相对湿度基本稳定在一定范围内,其中 I 区:温度 36~39 ℃,相对湿度 90% 以上;Ⅱ区:温度 39~43 ℃,相对湿度 75%~85%,Ⅲ区:温度 43~47 ℃,相对湿度 55%~65%;Ⅳ区:温度 47~56 ℃,相对湿度 40%~45%;Ⅴ区:温度 56~60 ℃,相对湿度 30%~40%;Ⅵ区:温度 65~70 ℃,相对湿度 10%~20%。

1.2 试验方法

叶间风速采用日本加野 KA23 便携式风速计测定,分辨率为 0.01 m/s;温度和相对湿度采用中国计量学院研发的烤烟多功能参数仪测定,温度的分辨率均为 0.1 ℃,而相对湿度的分辨率为 0.1%,为了保障电量供给,分别给两仪器配置了 50 000 mA 的锂电池。传感器的安装位置位于夹烟设备中间的烟叶内(如图 2 所示位置),跟随传送装置一起运行,在线监测烘房 A~D 4 路烟叶中的温度、相对湿度与风速,数据采集时间间隔设置为 30 min。

烘烤结束后,采用 WSC-3 型全自动测色色差计(北京光学仪器厂)对 A~D 各路烟叶的 L^* (明度值)、 a^* (红度值)、 b^* (黄度值)、 C (饱和度)、 H (色相角)5 个参数进行测定,并邀请当地烟草公司的专业分级人员对 4 路烟的等级比例进行鉴定统计。然后对流水线烤房和密集烤房两种烤房上部叶与中部叶的等级结构进行鉴定,并依据当年的收购价格计算两种烤房烟叶的均价,评价流水线烤房的烘烤效果。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据整理和图表绘制,利用 Mathematica 10 对试验数据进行多重比较和相关分析。

2 结果与分析

2.1 流水线烤房各区段的运行时间

由图 3 可知,烘烤过程中烟叶经过各区段的时间有所差异,可知流水线烤房的传动系统不是匀速运转。依据三段式烘烤理论,可知 I 区与Ⅱ区为烟叶的变黄期,阶段时间为 43.9 h;Ⅲ区与Ⅳ区为定色

期,阶段时间为 44.6 h;Ⅴ区与Ⅵ区为干筋期,阶段时间 52.7 h,合计 141.2 h。

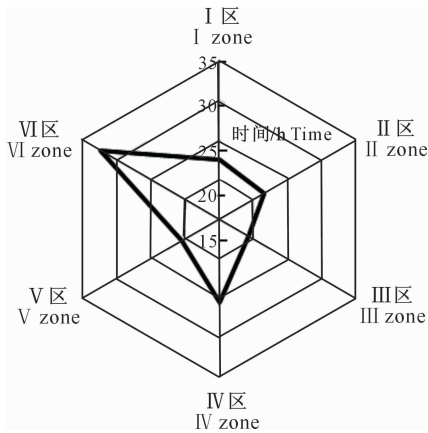


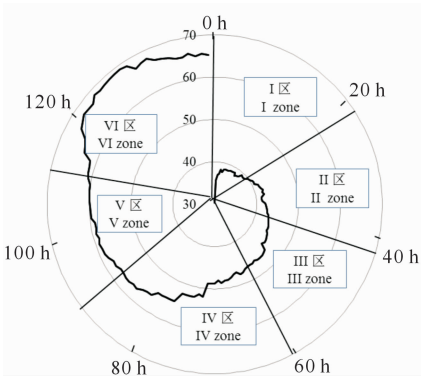
图 3 烘烤过程中烟叶在各区段的运行时间
Fig. 3 The runtime of tobacco in each zone in curing process

2.2 流水线烤房烘烤环境分析

2.2.1 烤房温度 由图 4 可知,流水线烤房内的温度随着烘烤的进行先呈阶段性上升趋势,在接近结束后逐渐降低,各区段平均温度(T)分别为: T_I (38.19 ℃), T_{II} (42.04 ℃), T_{III} (45.85 ℃), T_{IV} (52.00 ℃), T_V (58.88 ℃), T_{VI} (66.31 ℃)。烘烤区入口温度为 30.02 ℃,在 I 区温度沿烤烟运行方向先快速上升至 38 ℃左右,然后基本保持不变,在干燥距离 30 m(20 h 左右)处升至 40.22 ℃;Ⅱ区温度缓慢上升,在干燥距离 60 m(40 h 左右)处升至 43.86 ℃;Ⅲ区(45~63 h)温度直线上升,但稳定在 43~46 ℃;Ⅳ区(64~89 ℃)温度保持上升,但在 75 h 左右上升速率加快;Ⅴ区(90~110 h)温度仅有小幅度上升;Ⅵ区(111 h 之后)烤房温度呈抛物线变化,最高温度为 69.08 ℃,且末端的干燥温度显著高于初始干燥温度。

2.2.2 烤房相对湿度 由图 5 可知,烤房内的相对湿度呈现锯齿状波动式降低,末端变化较为平缓。各区平均相对湿度(RH)分别为: RH_I (90.88%), RH_{II} (77.77%), RH_{III} (57.51%), RH_{IV} (45.32%), RH_V (34.18%), RH_{VI} (16.34%)。在烘烤过程中, I 区的主要任务是促进烟叶的变化,烟叶含水率较高,空气的相对湿度较大,基本保持在 92% 左右;Ⅱ区的主要任务是提高烟叶变黄程度,适当减少烟叶水分,因此相对湿度呈直线下降,Ⅱ区段末的相对湿度为 69.75%;Ⅲ区是烟叶干燥脱水量最多的区段,空气相对湿度的降低速率为 1.07%/h;Ⅳ区~Ⅴ区的相对湿度随着烟叶的运行基本上呈直线减少趋

势;Ⅵ区的相对湿度快速降低后基本保持不变。

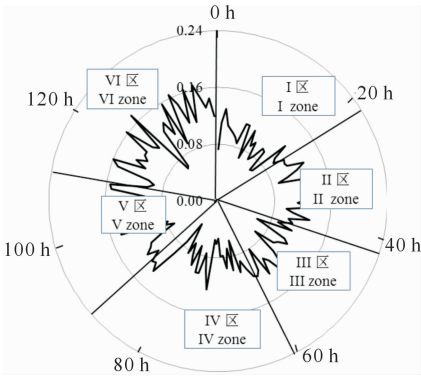


从圆心向外依次为 30,40,50,60,70 ℃
From the center to outside 30,40,50,60, and 70 ℃

图 4 流水线烤房温度的变化

Fig. 4 The change of temperature in pipelined curing barn

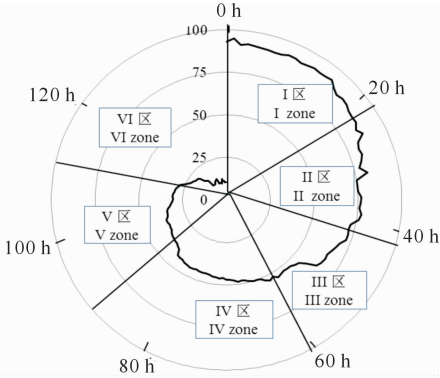
2.2.3 烤房叶间间隙风速 由图 6 可知,烤房内平均风速为 0.04~0.17 m/s,多数位置的风速处于 0.07~0.14 m/s。随着烘烤的推进,风速沿烤烟运动的方向呈锯齿状波动式先升高后降低,其波形特征与烟叶所处的位置有关;风速较大的位置(波峰)为隧道中间位置,风速较小的位置(波谷)处于相邻 2 个隧道之间。



从圆心向外依次为 0.00,0.08,0.16,0.24 m/s
From the center to outside 0.00,0.08,0.16, and 0.24 m/s

图 6 流水线烤房叶间间隙风速的变化

Fig. 6 The change of wind speed in pipelined curing barn



从圆心向外依次为 0%,25%,50%,75%,100%
From the center to outside 0%,25%,50%,75%,and 100%

图 5 流水线烤房相对湿度的变化

Fig. 5 The change of relate humidity in pipelined curing barn

烤房内Ⅰ区的平均叶间间隙风速是 0.10 m/s,变异系数是 19.18%;Ⅱ区的平均风速是 0.12 m/s,变异系数是 13.71%;Ⅲ区的平均风速是 0.10 m/s,变异系数是 19.86%;Ⅳ区的平均风速是 0.08 m/s,变异系数是 29.31%;Ⅴ区的平均风速是 0.11 m/s,变异系数是 20.81%;Ⅵ区的平均风速是 0.13 m/s,变异系数是 22.28%。各区平均风速(V)的大小顺序为: $V_{VI} > V_{II} > V_V > V_I = V_{III} > V_{IV}$ 。

2.2.4 干燥介质参数的差异 烘房内各干燥阶段 A、B、C 与 D 4 路烟叶的温度、相对湿度、风速在各区段的分布如表 1 所示。由表 1 可以看出,在 6 个烘烤区段中,4 路烟叶的温度在各区段的变异系数均较小;各路烟叶的温度在Ⅰ区、Ⅱ区与Ⅵ区无显著性差异,Ⅲ区左右两侧显著高于中间,而Ⅳ区和Ⅴ区 C 路烟叶显著低于 A 和 D 2 路烟叶。4 路烟叶相对湿度在Ⅰ区与Ⅱ区表现为两侧无显著性差异,中间 2 路无显著性差异;Ⅲ区~Ⅵ区 4 个区段的 D 路烟叶显著小于中间 2 路烟叶。各路烟叶的叶间间隙风速在各区段的变异系数均较大,在Ⅰ区与Ⅴ区两侧烟叶均大于中间 2 路烟叶;且Ⅰ~Ⅵ区 6 个区段 C 路烟叶的风速均为最小值。

表 1 各区段不同位置烘烤环境温度、相对湿度与风速参数的差异分析

Table 1 Variance analysis of temperature, relate humidity and wind speed in different zones in curing process

烘烤区段 Curing zone	位置 Position	温度 Temperature		相对湿度 Relate humidity		风速 Wind speed	
		测定值/℃ Measured value	变异系数/% CV	测定值/% Measured value	变异系数/% CV	测定值/(m·s ⁻¹) Measured value	变异系数/% CV
Ⅰ区 I zone	A	38.06 a	5.42	92.32 a	2.84	0.11 a	40.93
	B	38.30 a	5.25	89.85 b	2.85	0.09 b	44.63
	C	38.21 a	4.81	90.87 ab	1.79	0.08 b	51.90
	D	38.19 a	5.27	90.49 ab	3.17	0.10 a	44.99

表 1(续) Continued table 1

烘烤区段 Curing zone	位置 Position	温度 Temperature		相对湿度 Relate humidity		风速 Wind speed	
		测定值/℃ Measured value	变异系数/% CV	测定值/% Measured value	变异系数/% CV	测定值/(m·s ⁻¹) Measured value	变异系数/% CV
Ⅱ区 Ⅱ zone	A	42.18 a	2.69	77.47 ab	7.24	0.11 b	39.79
	B	42.19 a	2.17	78.19 a	6.30	0.13 ab	43.94
	C	41.94 a	3.14	78.51 a	6.43	0.06 c	39.85
	D	41.84 a	2.01	76.91 b	6.56	0.17 a	22.00
Ⅲ区 Ⅲ zone	A	46.84 a	3.31	57.34 b	10.64	0.10 a	33.72
	B	45.92 b	2.50	57.78 ab	11.38	0.14 a	42.08
	C	45.96 b	2.33	58.32 a	11.68	0.04 c	35.82
	D	46.69 a	2.96	56.58 c	11.06	0.13 a	26.10
Ⅳ区 Ⅳ zone	A	53.54 a	6.27	45.08 b	6.03	0.11 a	38.59
	B	52.47 ab	7.15	45.60 ab	6.06	0.08 ab	53.59
	C	51.21 b	6.79	46.43 a	6.03	0.05 b	42.49
	D	53.07 a	6.98	44.17 c	6.37	0.09 ab	42.85
Ⅴ区 Ⅴ zone	A	59.23 a	1.74	33.96 b	8.47	0.16 a	37.72
	B	58.86 ab	2.43	34.76 ab	7.52	0.09 b	41.32
	C	58.23 b	1.81	35.19 a	8.47	0.05 b	40.52
	D	59.18 a	2.19	32.83 c	8.75	0.15 a	21.07
Ⅵ区 Ⅵ zone	A	66.43 a	2.98	15.20 c	36.26	0.10 b	43.90
	B	66.72 a	3.68	16.88 b	39.30	0.15 a	42.28
	C	66.33 a	4.59	17.83 a	38.25	0.09 b	37.98
	D	65.76 a	3.31	15.16 c	41.15	0.17 a	40.35

注:同列数据后标不同小写字母者表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。表 3 同。

Note:Different lowercase letter indicates significant difference at $P<0.05$ level. The same for table 3.

2.2.5 风速对烘房内温度和相对湿度的影响 风速对烘房内温度和相对湿度的影响结果见表 2。

表 2 各区段烘烤环境温度、相对湿度与风速的相关性
Table 2 Correlations between temperature, relate humidity with wind speed in different zones in curing process

烘烤区段 Curing zone	相关系数 Correlation coefficient	
	温度与风速 Wind speed and temperature	相对湿度与风速 Wind speed and relate humidity
I 区 I zone	-0.654 *	0.733 **
Ⅱ区 Ⅱ zone	0.721 **	-0.751 **
Ⅲ区 Ⅲ zone	0.584 *	-0.682 *
Ⅳ区 Ⅳ zone	0.633 *	0.793 **
Ⅴ区 Ⅴ zone	0.752 **	-0.585 *
Ⅵ区 Ⅵ zone	0.641 *	-0.378

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平显著, ** 表示在 $P<0.01$ 水平极显著。

Note: * indicates significant at $P<0.05$ level, ** indicates very significant at $P<0.01$ level.

由表 2 可知,流水线烤房内的叶间隙风速对温

度与相对湿度有显著影响。在 I 区,风速与温度显著负相关,与相对湿度极显著正相关;在Ⅱ区、Ⅲ区和Ⅴ区风速与温度显著或极显著正相关,与相对湿度显著或极显著负相关;在Ⅳ区风速与温度和相对湿度显著或极显著正相关;在Ⅵ区风速与温度显著正相关,与相对湿度相关性不显著。

2.2.6 不同位置烤后烟叶的颜色差异 各路烟夹烤后烟叶的颜色差异以及等级比例如表 3 所示。由表 3 可知,流水线烤房各路烤后烟叶的颜色参数中, L^* (明度值)、 a^* (红度值)、 b^* (黄度值)以及 H (色相角)均无显著性差异,但 C (饱和度)略有差异,表现为 A 路烟和 D 路烟均与 B 路烟有显著性差异,而与 C 路烟无显著性差异,且 B、C 2 路烟无显著性差异。上等烟比例以 A 路烟最大,但仅比 B 路烟提高 1.2%,比 C 路与 D 路烟提高 0.9%;各路烟在中等烟与下等烟的比例上也有一定的差异,但总体而言差异较小。

表 3 各路烟夹烤后烟叶的颜色差异与等级比例

Table 3 Difference of color and rating scale of tobacco in different ways

位置 Position	颜色参数 Color parameter					等级比例/% Rating scale		
	L^*	a^*	b^*	C	H	上等烟 Finest	中等烟 Medium	下等烟 Inferior
A	67.49 a	12.03 a	40.09 a	41.86 a	1.38 a	42.1	48.0	9.9
B	66.27 a	11.82 a	40.90 a	43.04 b	1.32 a	41.6	48.6	9.8
C	66.72 a	12.20 a	41.68 a	42.09 ab	1.34 a	41.7	48.2	10.1
D	67.17 a	12.14 a	41.10 a	41.11 a	1.37 a	41.7	47.7	10.6

2.3 流水线烤房的烘烤效果

由表 4 可知,流水线烤房中中部叶的黄烟率略低于密集烤房,橘色烟比例则高于密集烤房,烤糟烟的比例略高于密集烤房,含青烟、挂灰烟均低于密集烤房,而且没有光滑烟(密集烤房为 12.0%)。对于上部叶,流水线烤房的黄烟率和橘色烟比例都略高

于密集烤房,烤糟烟的比例也略高于密集烤房,含青烟、挂灰烟均明显低于密集烤房,没有光滑烟(密集烤房为 8.5%)。与普通密集烤房相比,流水线烤房的中部叶与上部叶的烟叶均价分别提高 1.36 和 1.13 元/kg,提高幅度分别为 6.04%和 5.08%。

表 4 不同类型烤房烤后烟叶的等级结构
Table 4 Hierarchical structure of tobacco in different curing barns

烟叶部位 Tobacco part	烤房类型 Type of curing barn	等级结构/% Hierarchical structure						均价/(元·kg ⁻¹) Average price
		黄烟 Yellow	橘色烟 Orange	含青烟 Little green	挂灰烟 Dusting	烤糟烟 Badly	光滑烟 Solid	
中部叶 Middle leaves	流水线烤房 Pipelined curing barn	87.5	58.0	3.2	6.4	4.8	0	23.89
	密集烤房 Bulk curing barn	88.9	53.5	9.6	9.8	3.3	12.0	22.53
上部叶 Upper leaves	流水线烤房 Pipelined curing barn	89.3	76.3	4.3	11.5	5.6	0	23.38
	密集烤房 Bulk curing barn	86.8	68.8	10.8	13.6	4.3	8.5	22.25

4 结论与讨论

1)流水线烤房的运动为变速运动,变黄期(Ⅰ区与Ⅱ区)时间为 43.9 h,定色期(Ⅲ区与Ⅳ区)时间为 44.6 h,干筋期(Ⅴ区与Ⅵ区)时间 52.7 h,共计烘烤时间为 141.2 h,这与密集烘烤的时间基本一致^[19]。

2)在烤烟烘烤过程中,流水线烤房的Ⅰ区、Ⅱ区与Ⅵ区 4 路烟叶的温度无显著性差异,平均温度分别为 38.19,42.04,66.31℃,前端与后端的温度差分别为 10.24,3.87,3.5℃;Ⅲ区~Ⅴ区 4 路烟叶表现为两侧温度大于中间温度。与温度相比,各区段 4 路烟叶的相对湿度差别相对较大,但 D 路烟叶的相对湿度一直保持在最低水平,Ⅱ区~Ⅵ区均表现为两侧相对湿度小于中间两路烟叶的相对湿度;且Ⅲ区~Ⅳ区烤房的相对湿度下降幅度最大。整个烘烤过程中叶间隙风速的变化趋势比较复杂,但Ⅰ~Ⅵ区 6 个区段 C 路烟叶的风速均为最小值,而两侧烟叶的风速保持在较高水平。A~D 各路烤后烟叶的颜色值以及等级比例基本上差异不大,表明烤房内各路烘烤环境虽然有所差异,但相对稳定,均在烟叶的正常烘烤范围内^[19],均能满足烟叶的烘烤需求,对烤后烟叶品质的影响不大。

3)各区段流水线烤房内的风速对温湿度的变化有较大影响。Ⅰ区风速与温度显著负相关,与相对湿度极显著正相关;在Ⅱ区、Ⅲ区和Ⅴ区风速与温度显著或极显著正相关,与相对湿度显著或极显著负相关;Ⅳ区风速与温度和相对湿度显著或极显著正相关;在Ⅵ区风速与温度显著正相关,与相对湿度相关性不显著。

4)近年来随着密集烘烤的推进,光滑烟和僵硬烟的比例有所增加,降低了烟叶的可用性^[19]。与普通密集烘烤相比,无论中部叶的烘烤还是上部叶的烘烤,流水线烤房均能在一定程度上提高烟叶品质,增加烟叶经济效益,降低含青烟、挂灰烟等烤坏烟的比例,有效避免光滑烟的出现,这可能是由于流水线烤房的烟夹宽度小,每层夹持的烟叶少,烟叶在烘烤过程中有足够的空间收缩干燥。

[参考文献]

[1] 河南佰衡节能科技股份有限公司. 国家烟草专卖局在南阳成功组织隧道式烤烟房鉴定会[EB/OL]. [2015-09-03]. http://www.hnbhjn.com/news/4_61.
Henan B E P T Inc. Tobacco monopoly administration of Chinese was successful in organizing pipelined flue-cured tobacco curing barn in Nanyang [EB/OL]. [2015-09-03]. http://www.hnbhjn.com/news/4_61.

[2] 张潇骏,王万能,谭兰兰,等. 不同烘烤工艺对烟叶淀粉含量及淀粉酶活性的影响[J]. 烟草科技,2015(5):57-60,79.
Zhang X J,Wang W N,Tan L L,et al. Effects of curing means on starch content and amylase activity in flue-cured tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2015(5):57-60,79.

[3] Wu J,Yang S X,Tian F. A novel intelligent control system for flue-curing barns based on real-time image features [J]. Biosystems Engineering,2014,123(7):77-90.

[4] 宋朝鹏,武圣江,高远,等. 烤烟密集烘烤变黄期类胡萝卜素及其降解香气成分的变化[J]. 中国农业科学,2010,43(20):4246-4254.
Song C P,Wu S J,Gao Y,et al. The degradation mechanism of carotenoids in flue-cured tobacco and the changes of the related aroma components in the yellowing stage during the bulk curing process [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(20):

4246-4254.

[5] 路晓崇,宋朝鹏,典瑞丽,等. 烤烟散叶堆积烘烤过程中烘烤因素与叶温变化的通径分析 [J]. 河南农业大学学报,2014,48(6):684-688.

Lu X C,Song C P,Dian R L,et al. Path analysis of leaf temperature and curing factors of accumulation of loose leaf cured tobacco in curing process [J]. Journal of Henan Agricultural University,2014,48(6):684-688.

[6] 贺帆,王涛,王战义,等. 变黄期不同温湿度对烘烤中烟叶蛋白质降解及酶活性的影响 [J]. 中国烟草学报,2014,20(5):80-86.

He F,Wang T,Wang Z Y,et al. Effects of temperature and humidity on protein degradation and related enzyme activities in tobacco leaf in yellowing stage [J]. Acta Tabacaria Sinica,2014,20(5):80-86.

[7] 陈献勇,王新旺,刘建阳,等. 密集烤房加热设备材质与结构优化设计研究 [J]. 中国烟草科学,2012,33(3):77-80.

Chen X Y,Wang X W,Liu J Y,et al. Studies on the design optimization of heat system and heat dispersion systems made of different materials in the bulk curing barn [J]. Chinese Tobacco Science,2012,33(3):77-80.

[8] 蔡瑞林,陈万明,朱广华,等. 我国烟草种植业的效率评价 [J]. 中国烟草学报,2015,21(4):121-129.

Cai R L,Chen W M,Zhu G H,et al. Efficiency evaluation of tobacco production sector in China [J]. Acta Tabacaria Sinica,2015,21(4):121-129.

[9] 郭春明,崔昌范,吴国贺,等. 吉林省烤烟种植气候资源分析及适宜种植气候区划 [J]. 吉林大学学报(地球科学版),2008,38(S1):182-185.

Guo C M,Cui C F,Wu G H,et al. Analysis of agro-climatic resources and the climate divisions of flue cured tobacco suitably planting in Jilin province [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition),2008,38(S1):182-185.

[10] 路晓崇,黄元炯,宋朝鹏,等. 基于模糊 DEMATEL 的烤烟烘烤影响因素分析 [J]. 烟草科技,2015(9):21-26.

Lu X C,Huang Y J,Song C P,et al. Analysis of factors influencing curing of flue-cured tobacco with fuzzy DEMATEL method [J]. Tobacco Science & Technology,2015(9):21-26.

[11] 赵华武,崔国民,赵永振,等. 密集烘烤过程中烤房叶间风速指标的灰色关联聚类分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版),2011,33(11):140-145.

Zhao H W,Cui G M,Zhao Y Z,et al. Gray correlation cluster analysis of wind speed index between tobacco leaves in bulk curing barns [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition),2011,33(11):140-145.

[12] 官长荣,刘霞,王卫峰. 密集烘烤温湿度条件对烟叶生理生化特性和品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(6):77-82.

Gong C R,Liu X,Wang W F. Effects of temperature and humidity condition on main physiological characteristics and quality of cured leaf by using bulk curing barn [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2007,35(6):77-82.

[13] 黄晓因,周平. 烤烟房空气相对湿度计算方法研究 [J]. 农业工程学报,2006,22(1):164-166.

Huang X Y,Zhou P. Method for calculating relative humidity in flue-cured tobacco chamber [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(1):164-166.

[14] 蔡宪杰,尹启生,王信民,等. 烘烤过程中温湿度对烤烟淀粉酶活性的影响 [J]. 烟草科技,2006(12):43-45.

Cai X J,Yin Q S,Wang X M,et al. Effects of temperature and humidity on amylase activity in flue-cured tobacco during curing [J]. Tobacco Science & Technology,2006(12):43-45.

[15] 王松峰,王爱华,毕庆文,等. 烘烤过程中湿度条件对烤烟生理指标及烤后质量的影响 [J]. 中国烟草科学,2008,29(5):52-56.

Wang S F,Wang A H,Bi Q W,et al. Effects of different humidity during curing on physiological traits and quality of flue-cured tobacco leaves [J]. Chinese Tobacco Science,2008,29(5):52-56.

[16] 代丽,黄永成,宫长荣,等. 密集式烘烤条件下不同变黄温湿度对烤后烟叶致香物质的影响 [J]. 华北农学报,2008,23(6):148-152.

Dai L,Huang Y C,Gong C R,et al. Effects of different temperature and humidity yellowing conditions on aroma constituents of tobacco leaves during bulk curing [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2008,23(6):148-152.

[17] 宫长荣,潘建斌. 热泵型烟叶自控烘烤设备的研究 [J]. 农业工程学报,2003,19(1):155-158.

Gong C R,Pan J B. Heat pump type of auto control equipment for tobacco leaf flue-curing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2003,19(1):155-158.

[18] 刘闯,陈振国,赵华武,等. 密集烘烤中风机转速变化对烟叶中性致香物质的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2010,36(6):640-643.

Liu C,Chen Z G,Zhao H W,et al. Effect of fan speed changes on neutral aroma components of flue-cured tobacco during bulk curing [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences),2010,36(6):640-643.

[19] 宫长荣,杨焕文,艾复清,等. 烟草调制学 [M]. 北京:中国农业出版社,2003.

Gong C R,Yang H W,Ai F Q,et al. Tobacco flue-curing [M]. Beijing:Chinese Agricultural Press,2003.