



李俊业, 郑荣豪, 王晓宾, 等. 密集烤房非金属耐火材料供热设备的设计及烘烤效果[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(6): 110-116.

密集烤房非金属耐火材料供热设备的设计及烘烤效果

李俊业¹, 郑荣豪², 王晓宾², 邹韬韵³, 周振超¹, 邓世媛¹, 陈建军¹
(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 广东省烟草专卖局, 广东 广州 510610;
3 韶关市永明机电实业有限公司, 广东 韶关 512023)

摘要:【目的】解决烤烟密集烤房 418 型换热器易腐蚀、使用寿命短等问题, 优化密集烤房供热设备的结构和性能。【方法】选用一种传导性优良的非金属耐火材料制作换热器, 其结构为圆形横向双列管道, 3 层排布, 同一纵向平面的 3 条换热管呈现 S 形连通, 并配以一次性加煤方拱型火炉(炉盖为铸铁)。以金属供热设备为对照, 研究密集烤房非金属材料供热设备的性能及烘烤效果。【结果】空载下采用非金属材料供热设备密集烤房的升温速度($5.36\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$)显著低于对照的($21.73\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$), 但降温速度($1.28\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$)缓慢, 表明其温度稳定性能好, 在 3 个烘烤关键温度点($38、42、55\text{ }^{\circ}\text{C}$)也呈现同样趋势; 在烘烤过程中非金属材料供热设备密集烤房平面及垂直温差较小; 与对照相比, 中部叶、上部叶烘烤的综合热效率分别提高 12.42% 和 6.74%, 煤耗分别降低 22.50% 和 15.13%, 烤后每千克干烟均价分别提高 0.84、0.20 元, 中上等烟比例高, 节能提质效果显著。【结论】试验采用传导性优良的非金属耐火材料制作的供热设备具有良好的烘烤性能, 且耐腐蚀, 可为烤烟密集烤房供热设备的更新提供依据。

关键词:烤烟; 密集烤房; 非金属材料; 耐火材料; 换热器; 一次性加煤火炉; 热效率
中图分类号:S226.6;S572 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2016)06-0110-07

Design of nonmetallic refractory heating equipment in bulk curing barn and its baking effects

LI Junye¹, ZHENG Ronghao², WANG Xiaobin², ZOU Taoyun³,
ZHOU Zhenchao¹, DENG Shiyuan¹, CHEN Jianjun¹
(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2 Guangdong Tobacco Monopoly Administration, Guangzhou 510610, China; 3 Shaoguan Yongming
Industrial Limited Company, Shaoguan 512023, China)

Abstract:【Objective】To overcome the defects of 418-type heat interchanger in bulk curing barn, such as being susceptible to corrosion and having short service life, and to optimize the structure and performance of heating equipment in bulk curing barn. 【Method】A nonmetallic refractory material with high conductivity was chosen to make the heat interchanger. The heat interchanger was structured with three layers of circular horizontal dual pipelines and three heating interchange pipelines in the same vertical plane were connected by an S-shape connector. The heat interchanger was equipped with a squared and vaulted stove (with a cast iron cover) feeding disposable coal. Using bulk curing barn with metal heating equipments as the control, the performances and baking effects of the nonmetallic refractory heating equipment in bulk curing barn were studied. 【Result】The heating rate of bulk curing barn installed with

the nonmetallic refractory heating equipment ($5.36\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$) was significantly lower than the control ($21.73\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$) without loading tobacco, while its cooling rate was slower than the control. The results showed that bulk curing barn installed with nonmetallic refractory heating equipment showed great temperature stability and the trends at three key point temperatures ($38, 42, 55\text{ }^{\circ}\text{C}$) were the same. Its plane and vertical temperature difference was less than the control during curing. Compared with the control, the heat efficiencies of baking the middle and upper tobacco leaves increased by 12.42% and 6.74%, the coal consumption rates reduced by 22.50% and 15.13%, the average prices of the dried tobacco leaves after curing increased by 0.84 and 0.20 yuan per kilogram respectively, the proportion of medium-high grade tobacco leaves increased, and the effects of energy saving and quality improving was obvious in the bulk curing barn with nonmetallic refractory heating equipment. 【Conclusion】 The heating equipment made of nonmetallic refractory material with high conductivity has excellent baking performance and high corrosion resistant, and can be applied for heating equipment update in bulk curing barn.

Key words: flue-cured tobacco; bulk curing barn; nonmetallic material; refractory material; heat inter-changer; stove feeding disposable coal; heat efficiency

与自然通风烤房相比,烤烟密集烤房具有装烟密度大、强制通风、温湿度自控等特点^[1]。密集烤房的供热设备由火炉、换热器和烟囱3部分组成,换热器是主要的供热部件^[2]。自国家烟草专卖局发布施行《密集烤房技术规范(试行)》(国烟办综[2009]418号)后,我国密集烤房建造更加规范,烟叶烘烤标准化水平明显提高^[3],但是这类标准化密集烤房采用的金属供热设备存在易腐蚀、使用寿命短、更新成本高等问题,如何克服这些缺陷,研发供热设备的新材料成为目前亟待解决的问题^[4-8]。

据调查,仅广东烟区,由于密集烤房供热设备老化损毁严重,加工工艺得不到保证,造成烟叶质量问题从而引起的烟农损失约达20%。宫长荣^[9]¹¹⁹⁻¹²⁰研究表明非金属材料供热设备具有不易锈蚀、热容量较大、供热稳温能力良好、造价较低等优点,但其换热性能相对较低、材质韧性差。杨威等^[10]研究表明密集烤房配套双制通风结构可以提高供热系统的稳定性、耐用性和热效率。陈献勇等^[11]选用铸铁和碳化硅陶瓷耐腐蚀材料制作了烤房供热设备,有效地降低了烘烤过程中装烟室的温差,具有易于清灰、安装、保养的优点。曾中等^[12]采用碳纤维增强水泥基复合材料制作了供热设备,提高了非金属换热器的导热系数和热效率,具有较好的耐腐蚀能力、升温稳温性能强、可提高烤后中上等烟比例、减少烘烤能耗。但鲜见采用传导性优良的非金属耐火材料制作密集烤房供热设备的研究报道。

本试验选用一种无机非金属耐火材料制作密集烤房供热设备,其换热器的设计结构为圆形横向立式双列,3层排布,同一纵向平面的3条换热管呈现

S形连通,配以一次性加煤方拱型火炉(炉盖为铸铁)建造一种新型的密集烤房供热设备,探讨其烘烤效果,为优化和更新烤房供热设备提供新思路 and 参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

试验于2013—2014年连续2年在韶关市始兴县斜潭村进行。供试土壤为牛肝土田,试验田地势平坦、肥力中等均匀、灌排方便,具有代表性。

烟草 *Nicotiana tabacum* L. 供试品种为 K326。为保证供试烟叶的一致性,打顶后留叶数20片,对叶位进行标记,由下往上数,8~11叶为中部叶,14~17叶为上部叶。烟叶成熟后采收,单独编竿,将编好的15竿烟叶作标记后分别挂置在供试烤房中层中部进行烘烤,按试验方案取样测定。田间管理按照当地优质烤烟生产方案进行。

本试验密集烤房风机采用 SGHT-40N07[#], C 式传动,配套功率为三相 2.2 kW, 由标准控烤仪带变频器连接,并配备济南数能电子有限公司生产的 SN-1-S/D 型密集烤房控制器,在烘烤过程中采取一致的烘烤曲线与变频风速。烘烤用煤为统一购买的同一煤矿同一批次原煤。

本试验换热器材料采用高铝黏土,高铝黏土以含铝量高、杂质少、耐高温为特征,是不可多得的耐火材料^[13],工业指标为质量分数为 50% 的 Al_2O_3 , Fe_2O_3 质量分数低于 3%,耐火度大于 $1\ 770\text{ }^{\circ}\text{C}$,主要成分为一水硬铝石,次要成分为高岭石和一水软铝石^[14]。经测定本试验换热器材料抗压强度 14 MPa,

导热系数为 $2.5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 密度为 $2.48\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

1.2 方法

不同材料供热设备试验处理设计见表 1, 设置 2 个处理, A 处理: 采用按照国家烟草专卖局(2009) 418 号文件标准设计的金属翅片换热器, 配以一次性加煤方拱型炉膛(炉盖为 JNS 耐露点钢)的供热设备; B 处理: 设计并采用传导性优良的非金属耐火材料制作换热器, 配以一次性加煤方拱型炉膛(炉盖为铸铁)的供热设备。每个处理重复 3 次。试验密集烤房为气流下降式, 装烟室大小为 $8\,000\text{ mm}\times 2\,700$

$\text{mm}\times 3\,490\text{ mm}$, 挂烟架 3 棚。
烤房最大供热量及非金属耐火材料供热设备炉膛容积与换热器面积的计算参照宫长荣^{[9]90-97}的方法, 本试验供试烤房最大供热量为: $481\,542.52\text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}$; 炉膛容积设计至少为 0.80 m^3 ; 换热器散热面积设计至少为 13.38 m^2 , 烤房加热炉炉膛容积必须大于 0.80 m^3 , 换热器散热管面积必须大于 13.38 m^2 , 才能满足烤房的供热要求, 本试验设计采用的非金属耐火材料供热设备炉膛容积为 0.88 m^3 , 换热器散热管面积为 16.39 m^2 。

表 1 不同材料供热设备试验处理设计
Tab.1 Experimental treatments using heating equipments made with different materials

处理	设备或材料	炉膛容积 /m ³	换热器散热 面积/m ²	单位装烟室平面 对应容积/m ³	单位装烟室平面 对应面积/m ²
A	一次性加煤方拱型炉膛(炉盖为 JNS 耐露点钢) + 金属翅片换热器	1.05	12.50	0.05	0.58
B	一次性加煤方拱型炉膛(炉盖为铸铁) + 圆形横向塔式非金属换热器	0.88	16.39	0.04	0.76

1.2.1 供热设备设计 非金属耐火材料供热设备见图 1, 包括一次性加煤方拱形炉膛, 在炉膛顶端的出火口处设置换热器。换热器包括铸铁炉盖、烟囱、6 根换热管和固定换热管的耐高温支架; 换热管分 3 层排布, 每层 2 根, 同一纵向平面的 3 根换热管呈现 S 形连通; 铸铁炉盖连通最底层 2 根换热管的中间, 烟囱连通最顶层 2 根换热管的一端。换热管的两端设有可打开的端盖。炉膛长 $2\,700\text{ mm}$, 宽 500 mm , 高 650 mm , 容积为 0.88 m^3 , 炉底和左右炉墙材料为红砖, 墙宽 180 mm , 并设 1 个圆形出火口与换热器相连。铸铁炉盖顶端的中间段截面呈半圆状, 内径为 530 mm , 两端逐渐收窄。铸铁炉盖和换热管的总高度为 $1\,350\text{ mm}$, 总宽度为 $1\,083\text{ mm}$, 烟囱的横向段长度为 600 mm , 纵向段铸铁炉盖的总长为 $2\,980\text{ mm}$ 。换热管长 $2\,200\text{ mm}$, 直径 270 mm , 厚度 10 mm 。换热管层间距为 100 mm , 同一层换热管间距为 400 mm , 散热面积为 16.39 m^2 ; 铸铁炉盖长度为 $1\,900\text{ mm}$ 。本试验供热设备已取得国家实用新型专利, 专利号: ZL201520133385.9^[15]。

1.2.2 温度相关参数测定 采用北京宏海永昌技术开发中心生产的 DTM-280LCD 数显温度计测定烘烤过程中烤房内各棚的温度, 每棚安装 9 个热电偶感温探头, 分别安装在装烟室棚的前(距装烟室前墙内壁 200 mm)、中(烤房中部)、后(距烤房门内壁 200 mm)部, 3 棚共 27 个测温点, 参照李伟等^[16]的方法测定计算不同处理升温稳温性能及烘烤温差。每棚测温点位置见图 2。

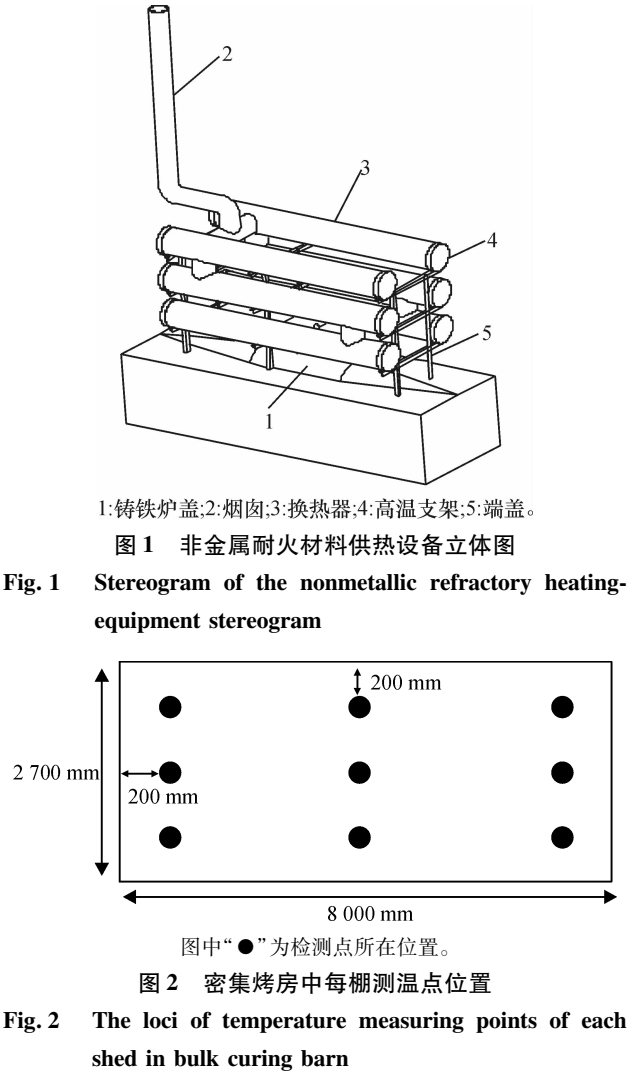


图 2 密集烤房中每棚测温点位置
Fig.2 The loci of temperature measuring points of each shed in bulk curing barn

1.3 数据处理

计算烤后单位质量烟叶的耗煤量和耗电量。各处理烤后烟叶按烤烟国家标准(GB2635—1992)进行分级,记录各等级烟叶叶片数和质量,计算等级比例,按照当地当年烟叶收购价格计算均价。

烤房热效率(热能利用率)测定公式为:
综合热效率(η) = $m_{\text{水}} \times 2\,590 / m_{\text{煤}} \times Q$,
式中, $m_{\text{水}}$ 表示烘烤过程中排出的水分质量,kg;烤房中每排出烟叶内1 kg水分约耗热量2 590 kJ; $m_{\text{煤}}$ 表示烘烤过程中燃烧煤的质量,kg; Q 表示单位用煤的低位发热量,kJ·kg⁻¹,经广东省质量监督煤炭检验站测定,本试验单位用煤低位发热量为19 340 kJ·kg⁻¹;烘烤过程中烟叶内排出的水分可以通过烘烤前后每竿烟质量的变化估算得到^[8, 11]。

数据用SPSS 22.0进行独立样本分析,Excel 2013制图。

2 结果与分析

2.1 空载下不同材料供热设备温度相关性能的比较

不同材料供热设备空载下的温度性能的比较结果见表2,不同处理空载平均升温速度有明显的差异,A处理升温速度显著高于B处理,这与A处理供热设备的导热系数较高有关,但B处理升温速度依然能满足每小时升温大于3℃的密集烤房基本性能要求^{[9]119-120}。B处理在空载下的稳温性能显著优于A处理,稳温速度为1.28℃·h⁻¹。由此可见,B处理升温性能良好,稳温性能强,有利于烟叶烘烤工艺条件的准确控制。

表2 不同材料供热设备空载升温及稳温性能的比较¹⁾
Tab.2 Comparison of heating performances and temperature stabilities of heating equipments made with different materials without loading

处理	$t_{\text{升温}2})/\text{h}$	升温速度/ (℃·h ⁻¹)	$t_{\text{稳温}3})/\text{h}$	稳温速度/ (℃·h ⁻¹)
A	1.40±0.20a	21.73±3.14a	15.00±0.36a	2.00±0.05a
B	5.60±0.15b	5.36±0.14b	23.50±1.25b	1.28±0.07b

1)同列数据后凡具有一个相同字母者,表示差异不显著($P>0.05$, t 检验);2)升温时间是指从38℃升至68℃所需的时间;3)稳温时间是指从68℃降至38℃所需时间。

进一步对2个处理在3个关键温度点(38、42、55℃)的稳温能力进行比较(表3)。从表3可以看出,停止加煤3 h后,B处理烤房平均温度皆高于A处理烤房,变化幅度较低,特别是在烘烤关键温度点

55℃时,表现出更好的保温控温性能,这有利于烤烟致香物质的生成和防止烟叶酶促棕色化反应的发生^[17-18]。

表3 不同材料供热设备关键温度点稳温性能的比较
Tab.3 Comparison of temperature stabilities of heating equipment made with different materials at key point temperatures

关键温度点/℃	处理	停止加煤时温度	3 h后温度	变化幅度 ¹⁾
38	A	38.10±0.10	37.30±0.26	0.80±0.26a
	B	38.07±0.15	37.33±0.31	0.73±0.21a
42	A	42.13±0.15	40.87±0.21	1.27±0.25a
	B	42.17±0.21	41.40±0.26	0.77±0.23a
55	A	55.23±0.15	50.73±0.12	4.50±0.10a
	B	55.07±0.06	53.77±0.23	1.30±0.17b

1)同一关键温度点不同处理后凡具有一个相同字母者,表示差异不显著($P>0.05$, t 检验)。

2.2 烘烤过程中不同材料供热设备温差的比较

烤房温差大小与烟叶变黄和脱水的一致程度相关,烤房内平面和垂直温差越小,同炕烟叶变化越趋于一致^[16],并有利于烘烤工艺的准确实施。不同材料供热设备处理平面温差和垂直温差基本呈现倒“V”形变化趋势。以中部叶烘烤为例,对两处理烤房内27个测量点进行平面温差和垂直温差测定,结果如表4和表5所示。

由表4可知,在平面温差中,42℃时A处理烤房上棚平面温差显著高于B处理,其余温度两处理差异不显著。随烘烤温度的升高,中棚两处理的差异逐渐显著,除38℃外,B处理其余温度点中棚平面温差明显低于A处理。42、47℃时,B处理的下棚平面温差显著低于A处理,其余温度点两处理差异不显著。结果表明B处理烤房同一棚温度分布较A处理更为均匀。

由表5可知,在垂直温差中,除38℃中棚与下棚、上棚与下棚,42℃上棚与下棚的垂直温差外,B处理烤房其余各棚垂直温差均小于A处理,层间温度变化幅度较小,两处理上棚与下棚垂直温差相差较大。B处理各棚垂直温差变化幅度为0.50~2.78℃,A处理各棚垂直温差变化幅度为0.22~3.91℃。在烘烤大排湿阶段(变黄末期~定色期),两处理平面温差和垂直温差均有增大趋势,此时两种温差均达到峰值。总体来说,B处理在烘烤过程中装烟室温度分布更均匀,这与其稳温性能良好相关,有助于减少同炕烟叶烘烤过程中的差异。

表 4 不同材料烘烤设备烘烤平面温差的比较¹⁾

Tab.4 Comparison of difference in curing plane temperatures of heating equipments made with different materials						
温度/℃	上棚/℃		中棚/℃		下棚/℃	
	A	B	A	B	A	B
38	0.42 ± 0.05a	0.60 ± 0.01a	0.38 ± 0.04a	0.36 ± 0.01a	0.31 ± 0.05a	0.33 ± 0.06a
42	0.43 ± 0.02a	0.07 ± 0.03b	3.27 ± 0.10a	0.82 ± 0.03b	2.33 ± 0.21a	0.20 ± 0.04b
47	0.77 ± 0.14a	0.98 ± 0.02a	3.32 ± 0.11a	1.13 ± 0.06b	3.63 ± 0.14a	1.51 ± 0.13b
55	1.54 ± 0.09a	0.82 ± 0.02a	2.40 ± 0.13a	0.58 ± 0.08b	1.93 ± 0.17a	1.40 ± 0.03a
60	0.58 ± 0.04a	0.73 ± 0.07a	1.84 ± 0.07a	0.78 ± 0.01b	2.42 ± 0.19a	2.02 ± 0.16a
68	1.02 ± 0.05a	0.87 ± 0.09a	1.61 ± 0.06a	0.73 ± 0.02b	2.10 ± 0.11a	1.76 ± 0.16a

1) 同一温度同一棚不同处理间凡具有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, t 检验)。

表 5 不同材料烘烤设备烘烤垂直温差的比较¹⁾

Tab.5 Comparison of difference in curing vertical temperatures of heating equipments made with different materials						
温度/℃	上棚 - 中棚/℃		中棚 - 下棚/℃		上棚 - 下棚/℃	
	A	B	A	B	A	B
38	0.83 ± 0.04a	0.79 ± 0.05a	0.22 ± 0.05a	0.50 ± 0.01a	1.06 ± 0.01a	1.29 ± 0.08a
42	2.80 ± 0.13a	2.13 ± 0.04a	1.00 ± 0.06a	0.64 ± 0.22a	2.63 ± 0.21a	2.78 ± 0.21a
47	2.03 ± 0.21a	1.39 ± 0.12b	1.91 ± 0.17a	1.30 ± 0.11b	3.77 ± 0.29a	2.69 ± 0.13b
55	1.16 ± 0.05a	0.88 ± 0.17a	2.10 ± 0.21a	0.72 ± 0.21b	3.26 ± 0.32a	1.60 ± 0.09b
60	2.03 ± 0.04a	0.71 ± 0.09b	1.88 ± 0.06a	1.75 ± 0.06a	3.91 ± 0.31a	2.34 ± 0.16b
68	1.17 ± 0.06a	0.77 ± 0.60a	2.40 ± 0.21a	1.63 ± 0.09b	3.57 ± 0.24a	2.40 ± 0.06b

1) 同一温度同一棚不同处理间凡具有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, t 检验)。

2.3 不同材料供热设备综合热效率及烘烤能耗的比较

烟叶烘烤综合热效率可以反映烘烤过程中的有效耗热^[19]。中、上部烟叶烘烤过程中热效率测定结果见表 6,B 处理综合热效率显著高于 A 处理,中部叶、上部叶烘烤的综合热效率分别高 12.42% 和 6.74%,这与非金属材料供热设备热容量大、稳温性能较好、烘烤无效耗热少有关,有助于节约用煤、减少烘烤烟气排放。

由表 6 可知,从烘烤能耗角度来看,在中部叶烘

烤中,B 处理的耗煤量与耗电量均低于 A 处理,且耗煤量差异显著;每千克干烟电耗和电耗成本两烤房处理差异不明显,其余每千克干烟能耗中,B 处理均优于 A 处理,每千克干烟平均煤耗为 1.38 kg,煤耗较 A 处理降低 22.50%,每千克干烟煤耗成本降低 0.46 元,总成本降低 0.51 元。在上部叶烘烤中,B 处理的耗煤量与耗电量均低于 A 处理,且耗煤量差异显著;每千克干烟平均煤耗为 1.29 kg,煤耗较 A 处理降低 15.13%,每千克干烟煤耗成本较 A 处理降低了 0.27 元,总成本降低了 0.30 元。

表 6 不同材料供热设备综合热效率及烘烤能耗的比较¹⁾

Tab.6 Comparison of heat efficiencies and energy consumptions of heating equipments made with different materials during curing

烟叶部位	处理	综合热效率/%	每千克干烟能耗 ²⁾				
			电耗/(kw · h)	煤耗/kg	电耗成本/元	煤耗成本/元	总成本/元
中部叶	A	41.84 ± 0.86a	0.48 ± 0.03a	1.78 ± 0.07a	0.38 ± 0.02a	1.98 ± 0.10a	2.36 ± 0.22a
	B	54.24 ± 1.12b	0.41 ± 0.05a	1.38 ± 0.06b	0.33 ± 0.03a	1.52 ± 0.05b	1.85 ± 0.03b
上部叶	A	47.69 ± 0.59a	0.43 ± 0.01a	1.52 ± 0.10a	0.34 ± 0.01a	1.69 ± 0.09a	2.03 ± 0.08a
	B	54.43 ± 1.40b	0.39 ± 0.04a	1.29 ± 0.10b	0.31 ± 0.02a	1.42 ± 0.07b	1.73 ± 0.09b

1) 同部位烟叶同列数据后的数据后凡具有一个相同字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, t 检验); 2) 所用煤为原煤制作的蜂窝煤,煤价为 1.1 元 · kg⁻¹; 电价为 0.8 元 · (kw · h)⁻¹。

2.4 不同材料供热设备烤后烟叶经济性状比较

烤后烟叶经济性状如表7所示,中部叶烤后烟叶经济性状中,B处理的上等烟叶比例较A处理高8.34%,中等烟比例较A处理高1.80%,下等烟比例较A处理低10.14%,均价较A处理每千克干烟提高0.84元。上部叶烤后经济性状中,B处理上等烟

比例较A处理高0.69%,中等烟比例较A处理高5.13%,下等烟比例较A处理少5.82%,均价较A处理每千克干烟提高0.20元。结果表明使用非金属材料烘烤设备可以在一定程度上改善烤后烟叶的经济性状。

表7 不同材料供热设备烤后烟叶经济性状的比较¹⁾

Tab.7 Comparison of economic traits of tobacco leaves after curing of heating equipments made with different materials

烟叶部位	处理	上等烟比例/%	中等烟比例/%	下等烟比例/%	均价/(元·kg ⁻¹) ²⁾
中部叶	A	42.48±2.43a	37.08±1.46a	20.44±3.89a	16.44±0.44a
	B	50.82±1.60b	38.88±3.41a	10.30±6.92a	17.28±0.06b
上部叶	A	46.43±3.20a	32.74±3.03a	20.83±0.17a	14.41±0.42a
	B	47.12±0.21a	37.87±1.41b	15.01±3.47b	14.61±0.66a

1)同一部位烟叶同列数据后凡具有一个相同字母者,表示差异不显著($P>0.05$, t 检验);2)均价按2014年始兴县烟叶收购价格以每千克干烟计算。

3 讨论与结论

本研究设计的密集烤房非金属材料供热设备炉膛为一次性加煤方拱型炉膛(炉盖为铸铁),炉膛长2700mm,宽500mm,高650mm,容积为0.88m³。铸铁炉盖截面呈半圆状,长2980mm,内径530mm,炉膛容积为理论值的1.1倍。换热器由传导性优良的高铝耐火粘土制作,包括6条换热管和用于固定的耐高温支架。换热管长2200mm,直径270mm,厚度10mm。换热管圆形横向立式双列,3层,S形走向的方式连接,总散热面积为16.39m²,为理论值的1.2倍。换热器为可拆卸结构,运输和安装方便,且两端设有可打开的端盖,便于打扫和清理换热管内的灰尘和污垢,其耐腐蚀性弥补了金属换热管容易腐蚀生锈的缺陷。

非金属材料供热设备升温与降温速度较慢,更符合目前密集烘烤工艺中慢速升温 and 稳温的需要^[20-21],同时也有利于烘烤工艺操作的准确实施。在各烘烤温度关键点(38、42、55℃),非金属材料供热设备均表现出良好的稳温性能,可以满足密集烘烤工艺中42、55℃阶段的稳温需要。在该阶段保持较长时间,温度变化波动小,有利于淀粉、叶绿素、类胡萝卜素等物质的降解及小分子物质转化为香气物质^[22],并有助于调控烟叶酶促棕色化反应^[18]。

烤房内温度分布是否均匀,是评判烤房性能的重要指标^[8],本试验非金属材料供热设备各烘烤阶段的平面温差、垂直温差均不大于金属材料供热设

备的,温湿度较为均衡,两处理平面温差和垂直温差呈现出基本一致的倒“V”形变化趋势。烤房内温湿度场的稳定,有利于烟叶内物质转化与失水协调一致,有利于提高烘烤烟叶整体质量水平^[23]。对比前人^[7,11,16]研究,本试验定色期至干筋期2个处理烤房温差都相对偏大,但与杨威等^[24]研究结果基本一致。分析可能有以下原因:烟叶采收前为湿润多雨天气,烟叶含水量较高,变黄末期至定色中期烤房排湿压力较大,加热室供应的热气流在移动过程中被快速地用于烟叶排湿,从而使得烤房内部热量分配不均;在定色末期至干筋期,为防止风速过大使得烟叶香气物质散失,变频器控制风机转速随烤房内相对湿度降低而下降,从而使得热气流对流速度降低,烤房温差较大^[25]。

换热器材料及结构的改变,降低了中、上部叶烘烤能耗指标。与本试验使用的金属供热设备相比,非金属材料供热设备烟叶烘烤经济性能良好,其中、上部叶烘烤的综合热效率分别提高12.42%和6.74%,煤耗分别降低22.50%和15.13%,每千克干烟均价分别提高0.84、0.20元,中上等烟比例高。本试验设计的非金属耐火材料供热设备在广东烟区具有良好的推广应用前景,可为烤烟密集烤房供热设备的更新提供依据。

参考文献:

[1] 詹军,樊军辉,宋朝鹏,等. 密集烤房研究进展与展望[J]. 南方农业学报, 2011, 42(11): 1406-1411.
[2] 徐明勇,徐增汉,黄刚,等. 不同火炉密集烤房的烘烤
<http://xuebao.scau.edu.cn>

效应研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25(5): 1895-1899.

[3] 国家烟草专卖局. 密集烤房技术规范(试行)修订版: 国烟办综【2009】418号[S]. 2009.

[4] 宋朝鹏, 陈江华, 许自成, 等. 我国烤房的建设现状与发展方向[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(3): 83-86.

[5] 李志民, 罗会龙, 钟浩, 等. 烟叶密集烤房供热设备分析比较及发展方向[J]. 煤气与热力, 2011, 31(7): 12-14.

[6] 裴晓东, 李帆, 谢鹏飞, 等. 不同材质散热器对密集烤房烘烤效益的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(12): 63-65.

[7] 何昆, 刁朝强, 黄宁, 等. 非金属复合耐火材料供热设备在密集烤房中的应用效果[J]. 贵州农业科学, 2011(5): 56-58.

[8] 陈献勇, 张秀衢, 靖军领, 等. 不同材质换热器密集烤房能效试验研究[J]. 海峡科学, 2009, 36(12): 18-21.

[9] 宫长荣. 密集烤房[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[10] 杨威. 双制通风新材料密集烤房的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 8-9.

[11] 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.

[12] 曾中, 汪耀富, 肖春生, 等. 密集烤房碳纤维增强水泥基复合材料供热设备的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 61-67.

[13] 中华人民共和国国土资源部. 高岭土、膨润土、耐火粘土地质勘查规范: DZ/T0206—2002[S]. 北京: 地质出版社, 2002.

[14] 时永志, 吕国芳, 宋锋, 等. 高铝黏土矿勘查开发问题分析[J]. 中国矿业, 2015, 24(7): 8-10.

[15] 陈建军, 李俊业, 邹韬韵, 等. 密集烤房换热系统: ZL201520133385.9[P]. 2015-08-12.

[16] 李伟. 密集烤房换热器材料和结构对烟叶烘烤的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012: 11-12.

[17] 樊军辉. 烤烟密集烘烤关键工艺条件优化研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011: 30-31.

[18] 宫长荣, 周义和, 杨焕文. 烤烟三段式烘烤工艺导论[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 149-150.

[19] 宋朝鹏, 贺帆, 王战义, 等. 提高烤房热能利用率的途径初探[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(18): 7743-7744.

[20] 王能如, 徐增汉, 尹永强, 等. 烤烟烘烤温湿度与相关酶活性关系的研究进展[J]. 广东农业科学, 2013, 40(19): 14-16.

[21] 刘海轮. 烤烟三段式烘烤低温慢变黄机理的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(3): 45-47.

[22] 宫长荣. 烟草调制学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 67-68.

[23] 舒中兵. 不同变黄环境对烤烟淀粉酶、蛋白酶活性及其相关化学成分的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009: 52-53.

[24] 杨威, 赵松义, 朱列书, 等. 新型无机非金属材料烤房的研究[J]. 作物研究, 2011, 21(2): 110-113.

[25] 刘闯. 变频调速对密集烤房流场及烟叶烘烤质量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011: 33-34.

【责任编辑 霍 欢】