

热泵型烟叶自控密集烤房的应用研究^{*}

潘建斌, 王卫峰, 宋朝鹏, 李 伟, 宫长荣

(河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450002)

[摘 要] 对热泵型烟叶自控密集烤房与普通烤房的性能及其所烤烟叶的品质进行了对比试验。结果表明, 热泵型烟叶自控密集烤房性能较好, 平面温差和垂直温差较小, 风速适宜, 通风排湿顺畅, 烤房的能耗及用工减少; 所烤烟叶颜色加深且色度均匀, 平衡含水率和填充值适宜, 出丝率高, 化学成分间比例协调, 香气质好, 香气量足; 说明热泵型烟叶自控密集烤房较普通烤房显著提高了烟叶的烘烤质量。

[关键词] 烟叶; 热泵; 自控密集烤房; 烘烤质量

[中图分类号] S572 092

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)01-0025-05

美国北卡罗莱纳州立大学的 Johnson 等^[1]于 1960 年进行了密集烤房试验研究, 之后该种烤房便在生产中迅速得到推广应用。目前, 先进的烤烟生产国基本上已淘汰了能耗高的小型普通烤房, 而主要使用热能利用率高的大型密集化、连续化、工厂化烘烤设备^[2]。我国也早在 20 世纪 60 年代便由河南省烟草甜菜工业科学研究所进行了密集烤房试验研究, 但由于密集烤房本身的因素和历史条件的限制, 未能大面积推广应用, 目前我国使用的大多仍为自然通风的普通烤房^[3]。随着我国烟叶生产水平的提高, 烟叶生产适度规模化种植成为我国烤烟生产发展的主流。为了使我国的烟叶烘烤设备适应时代发展的需要, 密集烤房的研究与应用必将成为我国烘烤设备发展的方向。为此, 本试验对热泵型烟叶自控密集烤房(以下简称热泵自控烤房)和普通烤房的性能及其所烤烟叶品质进行了对比研究, 现将研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2004 年在河南农业大学科教园区进行。试验用烟叶取自河南省伊川县, 试验田土壤质地为红粘土, 土壤肥力中等。供试品种为中烟 101, 05-01 移栽, 种植行距 120 cm, 株距 50 cm。土壤含碱解氮 49.52 mg/kg, 速效磷 6.8 mg/kg, 速效钾 145.31 mg/kg, pH 为 8.49。施纯氮 45.0 kg/hm², m_N

m_{P₂O₅} m_{K₂O} = 1 2 3。田间管理按优质烤烟栽培生产技术规范进行, 烟叶成熟后采收。

普通烤房规格 2.7 m × 2.7 m, 装烟 5 层 2 路, 约 900 kg; 热泵自控烤房规格为加热室 1 m × 2.8 m × 2.3 m, 装烟室 6 m × 2.8 m × 2.3 m, 装烟 3 层 2 路, 约 3 000 kg。热泵自控烤房由热泵加热系统、冷凝除湿系统、热风循环系统、温湿度自控系统组成^[4]。工作原理如下, 在加热室内, 热泵运转将电能转化为热能, 加热空气并由风机强制送入进风道, 经分风板进入装烟室, 均匀经过烟层后, 到达回风道, 再进入加热室进行循环。当需排湿时, 装烟室内湿空气进入冷凝除湿系统, 将湿热空气中的水分冷却除去, 热量释放到装烟室内, 烘烤进程由温湿度自控系统中存储的烟叶烘烤专家系统曲线调控。

1.2 试验设计

在烤房的底层、中层、上层各挂 6 个温湿度计, 分别放置在烤房的四角及中位线处, 分别检测在 38, 42, 47, 54, 60 和 68 时的湿度。以自控监控仪显示的温湿度作为对照。

普通烤房按三段式烘烤工艺进行烘烤, 热泵自控烤房根据烟叶不同部位、不同素质选择一条合适的烘烤专家曲线进行烘烤。

1.3 测定项目与方法

干湿球温度用温湿度计(河南美惠科技发展有限公司)检测, 风速用风速计(上海仪博仪器厂)测量, 总氮、烟碱、蛋白质、淀粉、总糖、还原糖、钾等含

^{*} [收稿日期] 2005-05-24

[基金项目] 国家烟草专卖局资助项目(110200302007)

[作者简介] 潘建斌(1962-), 男, 河南洛阳人, 副教授, 主要从事电工与自控技术研究。

[通讯作者] 宫长荣(1948-), 男, 河南荥阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草调制与加工研究。

量均按王瑞新等^[5]的方法测定,物理特性采用常规法测定^[6],烟叶评吸按文献^[7]的方法测定。

2 结果与分析

2.1 热泵自控烤房与普通烤房的性能比较

2.1.1 空载和负载条件下的平面温差与垂直温差

(1) 空载条件下的平面温度差与垂直温差。表 1 表

表 1 空载条件下 2 种烤房的平面温差与垂直温差

Table 1 Level and vertical temperature under the unloaded condition in curing barn

温度/ Temperature	平面温差 L evel temperature						垂直温差 V ertical temperature	
	底层 Bottom layer		中层 M id-layer		上层 Top-layer			
	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 Ordinary curing barn	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 Ordinary curing barn	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 Ordinary curing barn	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 Ordinary curing barn
38	- 0.2	1.5	0.1	2.0	0.2	3	0.4	1.5
42	0	1.4	0.2	2.1	0.3	3.1	0.3	1.7
47	0.1	1.6	0.3	1.9	0.4	3.5	0.3	1.9
54	0.2	1.2	0.4	1.8	0.5	3.2	0.3	2.0
60	0.4	2.2	0.5	4.0	0.5	6.2	0.1	4.0
68	0.7	3.0	- 0.2	4.6	- 0.2	8.9	0.5	5.9
平均 A erage	0.2	1.8	0.2	2.7	0.3	4.7	0.3	2.8

(2) 负载条件下的平面温差与垂直温差。表 2 表明,在烘烤过程中,热泵自控烤房和普通烤房在 38, 42, 47, 54, 60 和 68 几个代表性温度点处,底层、中层、上层的平面温差平均值分别为 0.4, 0.5, 0.9 和 1.8, 2.1, 2.4, 垂直温差平均分别为 0.5 和 2.9, 热泵自控烤房的平面温差变幅在 0.1~ 1.6

明,在烤房空载条件下,热泵自控烤房在 38, 42, 47, 54, 60 和 68 几个代表性温度点处,底层、中层、上层的平面温差平均值分别为 0.2, 0.2 和 0.3, 分别较普通烤房的 1.8, 2.7, 4.7 低 1.6, 2.5, 4.4; 垂直温差平均为 0.3, 比普通烤房的 2.8 低 2.5。

,垂直温差变幅在 0.4~ 0.8。可见,热泵自控烤房的密封性能良好,受外界环境影响较小,平面温度基本均匀一致,垂直温差进一步缩小,烤房内各点处于比较均衡的温湿度场,从而使烤房内烟叶酶促物质转化和失水干燥的速度协调一致,能有效提高烟叶的整体烘烤质量。

表 2 负载条件下 2 种烤房的平面温差与垂直温差

Table 2 Level and vertical temperature under the load condition in curing barn

温度 Temperature	平面温差 L evel temperature						垂直温差 V ertical temperature	
	底层 Bottom layer		中层 M id-layer		上层 Top-layer			
	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 O rdinary curing barn	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 O rdinary curing barn	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 O rdinary curing barn	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	普通烤房 O rdinary curing barn
38	0.1	1.2	0.2	1.6	0.9	2.0	0.4	1.8
42	0.1	1.5	0.1	1.6	0.6	2.2	0.5	1.4
47	0.2	1.8	0.5	1.9	0.6	1.8	0.8	3.6
54	0.9	3.4	1.2	3.0	1.6	3.8	0.7	5.0
60	0.5	2.0	0.7	2.8	1.1	2.4	0.6	3.6
68	0.3	1.0	0.2	1.5	0.7	2.1	0.4	2.1
平均 A verage	0.4	1.8	0.5	2.1	0.9	2.4	0.5	2.9

2.1.2 负载条件下进风口、排湿口及叶间隙风速

表 3 结果表明,热泵自控烤房进风口、排湿口和叶间隙风速在变黄期分别比普通烤房的大 1.7, 0.6 和 0.12 m/s,在定色期分别比普通烤房的大 2.4, 1.3 和 0.12 m/s,在干筋期分别比普通烤房的大 1.6, 0.5 和 0.08 m/s。自控密集烤房的叶间隙风速为 0.2~ 0.3 m/s,在适宜范围内^[1]。可见,热泵自控烤

房风速明显增强,且通风排湿顺畅,能使烟叶在烘烤干燥过程中蒸发出的水分及时排出,有效避免烤黑、烤青、挂灰等烤坏烟现象,使烤后烟叶颜色更鲜亮、色度更均匀。

2.1.3 能耗及用工 表 4 结果表明,热泵自控烤房烘烤时间 121 h,烘烤成本 0.96 元/kg,分别比普通烤房减少 19 h 和 0.47 元/kg,耗电量增加,但耗煤

费和烘烤用工减少, 烘烤成本明显降低, 同时烤烟时间缩短, 能源消耗减少。这是由于热泵自控烤房采用热泵加热, 1 kW 电能可产生相当于正常条件下 4~8 kW 电能产生的热能^[3], 烤房的热效率得到很大提高。

表 3 负载条件下 2 种烤房进风口、排湿口及叶间隙的风速

Table 3 Wind velocity of air inlet, humidified air exhausting outlet and leaf interval under the load condition in curing barn										m/s
烤房 Curing bar	变黄期 Yellowing stage			定色期 Color fixing stage			干筋期 Stem drying stage			
	进风口 Air inlet	排湿口 Humidified air exhausting outlet	叶间隙 Leaf interval	进风口 Air inlet	排湿口 Humidified air exhausting outlet	叶间隙 Leaf interval	进风口 Air inlet	排湿口 Humidified air exhausting outlet	叶间隙 Leaf interval	
热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	3.1	1.5	0.24	4.2	2.6	0.27	2.6	1.1	0.18	
普通烤房 Ordinary curing barn	1.4	0.9	0.12	1.8	1.3	0.15	1.0	0.6	0.10	

表 4 热泵自控烤房与普通烤房的能耗及用工

Table 4 Consumption of the fuel and labor of curing barn							
烤房 Curing bar	耗时/h Consuming time	干烟耗煤/ (kg · kg ⁻¹) Coal consumption	耗煤费/ (元 · kg ⁻¹) Coal cost	干烟耗电量/ (kW · h · kg ⁻¹) Power consumption	耗电费/ (元 · kW ⁻¹ · h ⁻¹) Power cost	用工/ (元 · kg ⁻¹) Labor	烘烤成本/ (元 · kg ⁻¹) Flue-curing cost
热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	121	0	0	1.1	0.66	0.3	0.96
普通烤房 Ordinary curing barn	140	2.0	0.6	0.05	0.03	0.8	1.43

注: 散煤价格为 300 元/吨, 电价为 0.60 元/(kW · h), 劳力价格为每人 20 元/日。
Note: The price of coal is 300 yuan per ton; the price of power is 0.60 yuan per kW · h; the price of labor is 20 yuan per one person.

2.2 热泵自控烤房与普通烤房所烤烟叶质量比较
2.2.1 外观质量 由表 5 可知, 由热泵自控烤房所烤的烟叶外观质量比普通烤房的好, 其中橘黄色烟占 40%, 比普通烤房高 16%; 柠檬色烟比普通烤房低 19%; 橘红色烟及杂色烟与普通烤房相当; 油分, 身份中等, 优于普通烤房。可见, 热泵自控烤房能够很大程度地改善烟叶的外观质量。

表 5 热泵自控烤房与普通烤房所烤烟叶的外观质量(中部叶)

Table 4 Appearance quality of tobacco leaf in heat pump type of autocontrol bulk curing barn and ordinary curing barn (cutters)									
烤房 Curing bar	成熟度 Maturity	柠檬色/% Lemon	橘黄色/% Orange	橘红色/% Tangerine	其他颜色/% Other color	油分 Oil	叶片结构 Leaf structure	身份 Body	杂色烟/% variegated leaf
热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	成熟 Ripe	30	40	16	14	有 Oily	疏松 Open	中等 Medium	14
普通烤房 Ordinary curing barn	尚熟 Mature	49	24	12	15	稍有 Less oily	疏松 Open	稍薄 Less thin	18

2.2.2 物理特性 烟叶的物理特性与烟叶组织结构和烟叶内含物质的充实程度密切相关, 是烟叶质量的重要体现^[8]。由表 6 可知, 热泵自控烤房所烤烟叶的叶片厚度为 0.12 mm, 与普通烤房相比相差不大; 叶质重为 77.26 g/m², 普通烤房的为 69.12 g/m², 说明热泵自控烤房的烟叶在烘烤过程中的物质损耗相对较少; 平衡含水率大于普通烤房烤的烟叶, 且在适宜的范围内, 表明热泵自控烤房所烤烟叶的吸湿性能较好; 热泵自控烤房所烤烟叶的填充值较大, 出丝率高, 含梗率较低, 表明烟叶加工经济性

较好。总体而言, 热泵自控烤房所烤烟叶的物理特性 优于普通烤房。

表 6 热泵自控烤房与普通烤房所烤烟叶的物理特性(中部叶)

Table 5 Physical property of tobacco leaf in heat pump type of autocontrol bulk curing barn and ordinary curing barn (cutters)

处理 Treatment	叶片厚度/mm Leaf thickness	叶质重 (g·m ⁻²) Density of leaf fabric	平衡含水率/% Equilibrium moisture content	填充值/ (cm ³ ·g ⁻¹) Filling power	出丝率/% Ratio of cut tobacco yield	含梗率/% Stem percentage	拉力/N Pulling force
热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	0.12	77.26	12.58	5.89	90.22	29.02	1.52
普通烤房 Ordinarycuring barn	0.10	69.12	12.07	5.03	88.15	33.46	1.41

2.2.3 化学成分 烟叶化学成分是决定烟叶质量的内在因素。表 7 表明, 热泵自控烤房在一定程度上降低了总氮、烟碱、蛋白质和淀粉含量, 而总糖、还原糖、钾含量有不同程度的增加, 烟叶化学成分含量均在适宜的范围内, 成分间比较协调。这可能是由于热泵自控烤房内部热风循环, 烤房内温湿度均匀一致, 通风排湿顺畅, 使烟叶内碳水化合物和含氮化合物能够充分降解, 烟叶内的主要化学成分指标适宜、协调, 从而提高了烟叶的烘烤质量。

表 7 热泵自控烤房与普通烤房所烤烟叶的化学成分

Table 6 Chemical composition of tobacco leaf in heat pump type of autocontrol bulk curing barn and ordinary curing barn

化学成分/(g·kg ⁻¹) Chemical composition	热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn				普通烤房 Ordinary curing barn			
	下部叶 Lower leaf	中部叶 Cutter	上部叶 Upper leaf	平均 Average	下部叶 Lower leaf	中部叶 Cutter	上部叶 Upper leaf	平均 Average
总氮 Total N	16.2	17.3	17.6	17.0	18.8	19.1	15.5	17.8
烟碱 Nicotine	23.2	24.8	28.4	25.5	26.7	27.5	33.1	29.1
蛋白质 Protein	35.6	31.3	36.3	34.4	38.6	39.8	39.7	39.4
总糖 Total sugar	216.1	231.9	229.1	225.7	180.2	201.2	209.9	197.1
还原糖 Reducing sugar	193.7	218.5	204.1	205.4	160.2	189.1	174.1	174.5
淀粉 Starch	44.5	45.4	43.5	44.5	47.1	51.8	52.9	50.6
钾 Potassium	18.7	17.1	17.4	17.7	15.6	16.5	16.1	16.1
糖碱比 Reducing sugar/ nicotine ratio	8.35	8.81	7.19	8.05	6.00	6.88	5.26	6.00

2.2.4 评吸质量 烟叶评吸是确定烟叶质量的最终方法, 其结果反映了烟叶的香味质量特色。根据国际型优质烟评吸质量标准, 烟气香气质好, 香气量足, 劲头适中, 杂气、刺激性小, 燃烧性好, 灰白为佳^[9]。从表 8 可知, 总体评价以热泵自控烤房的处理效果为佳, 热泵自控烤房所烤中部烟叶的各个指标均优于普通烤房, 体现出烟叶的香吃味。

表 8 热泵自控烤房与普通烤房所烤烟叶的评吸质量(中部叶)

Table 6 Smoking quality of tobacco leaf in heat pump type of autocontrol bulk curing barn and ordinary curing barn (cutters)

烤房 Curing barn	香气质 Aroma quality	香气量 Aroma quantity	杂气 Offensive odor	劲头 Strength	刺激性 Irritancy	余味 After taste	评价 Evaluation
热泵自控烤房 Heat pump autocontrol curing barn	好- Pleasant-	有+ + A bit+ +	少+ A bit-	中 Moderate	有- A bit-	尚舒适+ Cozy+	好+ Pleasant+
普通烤房 Ordinarycuring barn	中+ Moderate+	有+ A bit+	有 A bit	中+ Moderate+	有 A bit	尚舒适 Cozy	好- Pleasant-

3 结论与讨论

(1) 热泵自控烤房由于热风循环, 密封性能好, 烤房在空载和负载条件下平面温差和垂直温差均较小, 平面温差变幅在 $0.1 \sim 1.6$, 垂直温差变幅在 $0.4 \sim 0.8$, 烤房内各点间基本上不存在温湿度梯度; 烤房内风速适宜, 通风排湿顺畅, 叶间隙风速在 $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$; 由于采用热泵加热, 热能利用率高, 烘烤成本降低。总之, 热泵自控烤房性能优良, 能有效保证烘烤工艺的实施, 适应优质烟叶烘烤的需要。

(2) 热泵自控烤房所烤烟叶成熟度好, 烟叶颜色

均匀一致, 组织结构疏松, 油分足; 平衡含水率和填充值适宜, 出丝率高, 含梗率低, 具有良好的工业可用性; 烟叶的化学成分指标含量适宜, 主要化学成分比例协调; 评吸质量为好+, 香气质、香气量提高, 杂气和刺激性减少。

热泵自控烤房采用热泵加热方式, 烤房全部以电能供热, 避免了因烧煤而产生的大气污染; 以冷凝除湿系统进行排湿, 减少了烘烤排湿的热损失, 受外界环境影响较小, 提高了烘烤的安全性; 同时, 热泵自控烤房性能优良, 烟叶的烘烤质量得到改善。因此, 该种烤房具有广阔的推广应用前景。

[参考文献]

- [1] Johnson W H, Henson W H, Hassler F J, et al Bulk curing of bright-leaf tobacco[J]. Tob Int, 1960, 12: 262-269
- [2] 徐增汉, 王能如, 崔焰, 等. 我国烟叶烤房的节能改革[J]. 安徽农业科学, 2000(6): 795-798
- [3] 宫长荣. 烟草调制学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [4] 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(1): 155-158
- [5] 王瑞新, 韩富根, 杨素勤, 等. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1990
- [6] 于建军. 卷烟工艺[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [7] 闫克玉, 李兴波, 厉昶坤, 等. 烤烟(40级)各等级河南烟叶评吸质量和配方特点的研究[J]. 烟草科技, 1995(5): 6-9
- [8] 闫克玉, 王海燕, 李兴波, 等. 烤烟国家标准(40级)河南烟叶叶片厚度、叶质重及叶片密度研究[J]. 郑州轻工业学院学报, 1999(2): 45-50
- [9] 史宏志, 刘国顺. 烟草香味学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998

Applied research on heat pump type of autocontrol bulk curing barn for tobacco leaf

PAN Jian-bin, WANG Wei-feng, SONG Chao-peng, LI Wei, GONG Chang-rong

(College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: The quality of the cured leaves between pump type of autocontrol bulk curing barn and ordinary curing barn was compared. The result showed that the heat pump type of autocontrol bulk curing barn produced better leaves. The level and vertical temperature difference was relatively little, the wind speed was proper, the ventilation and humidity exhaustion was smoother, the consumption of the fuel and labor was reduced. The color of tobacco leaf was deep and uniform, equilibrium moisture content and filling power were appropriate, ratio of cut tobacco yield was high. The chemical composition was harmonized and aroma quantity was good, aroma quality was sufficient, and the quality of cured tobacco leaves was remarkably improved.

Key words: flue-cured tobacco; heat pump; autocontrol bulk curing barn; quality of flue-tobacco