

烟草设备

生物质燃烧锅炉热水集中供热烤烟设备的
研制及效果分析

王建安, 刘国顺

河南农业大学烟草学院, 郑州市文化路 95 号 450002

摘要: 为解决传统燃煤密集烤房污染大、成本高、效益差等问题, 设计开发了一套以生物质燃料为能源, 采用锅炉热水集中供热方式, 通过散热器进行烘烤的设备。试验表明: 与燃煤密集烤房相比, 使用该设备烘烤可节煤 0.37 kg/kg 干烟叶, 节约能耗费用 0.18 元/kg 干烟叶, 节约用工 1.75 个/房, 增加经济效益 5.6 万元/年·30 座烤房。

摘要: 烤烟; 集中供热; 生物质燃料; 热水锅炉; 密集烘烤

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2012.06.007

中图分类号: TS443

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2012)06-0032-06

Development of tobacco-curing system centrally heated by biomass-fueled hot water boiler

WANG Jian-an, LIU Guo-shun

College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: A new type of tobacco curing equipment with biomass-fueled hot water boiler and radiators was developed to solve pollution, high costs and poor efficiency of traditional coal-fueled tobacco-curing system. Results showed that the equipment saved coal by 0.37 kg and energy costs by 0.18 RMB per kilogram of dry tobacco leaves, and realized labor-saving by 1.75 per bulk cured barn compared with control. Preliminary estimation indicated that a 30-seat barn can save about 56,000 RMB a year.

Keywords: flue-cured tobacco; central heating; biomass fuel energy; hot water boiler; bulk curing

烟叶烘烤是一个大量耗热的过程, 传统方法普遍使用燃煤的方式, 把炉膛内的热量通过火管散发加热空气进行烟叶烘烤, 污染严重。当今世界各国都越来越强调节能减排、发展低碳经济^[1]。中国是烟叶生产大国, 烤烟的生产也正在由小户种植到规模发展阶段迈进, 并逐步推广密集烤房, 截至 2009 年底, 中国烟区共推广密集烤房 41.05 万座, 计划到 2012 年全部实行密集化烘烤^[2]。在密集烤房的推广过程中, 国内很多的科研人员不断研发推出新式烘烤设备结构和供热方

式^[3-7]。

在烘烤能源的利用上, 目前密集烘烤设备普遍采用燃煤供热, 热利用率低, 耗煤量高, 通常 1 kg 干烟叶耗煤量 1.5 ~ 2.5 kg 标煤^[8]。而同时, 常见农林废弃物一般通过露天焚烧处理, 污染了环境, 浪费了资源, 如果制成生物质燃料替代煤炭, 能够节约大量的化石燃料^[9]。

基于此, 本文利用现代工业上成熟技术和方法, 设计开发了一套利用农林废弃物为燃料的热水集中供热烤烟设备, 以期达到节能环保, 增加效益的目的。

1 系统设计及工作原理

该烤烟系统由生物质燃料生产系统和烤烟系统两大部分组成, 系统工艺流程见图 1。

基金项目: 国家烟草专卖局资助项目(110200302007)

作者简介: 王建安(1974—), 硕士, 实验师, 主要从事烟草调制和加工的研究, Tel: 0371-63558381, E-mail: wjanwyh@163.com

收稿日期: 2011-11-01

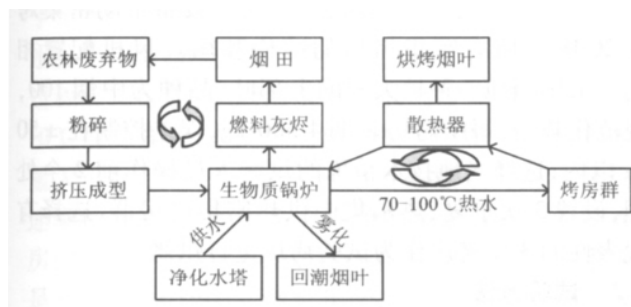
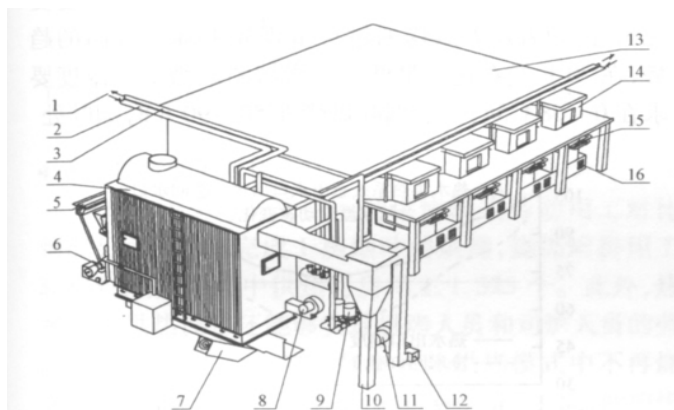


图1 生物质燃料热水锅炉集中供热烤烟系统流程图

在上述系统中,热水集中供热锅炉燃烧烘烤系统是本文重点研究部分。该系统主要由生物质燃烧锅炉(河南德润:BBDF 生物质热水常压2 t 锅炉)、动力水泵(河南博山:DG 系列2 级泵,11 kW·h)、管网(热水管材:主管道 $\Phi 110$ mm,支管道 $\Phi 60$ mm)、自动控制仪(江苏科地现代烟草农业有限公司制造)、电动控水阀门(郑州金科同力:PN-30)、热水散热器(仿北方暖气片,自制)、风机(辽宁海蒂升密集烤房专用风机)、密集烤房群等(国家烟草专卖局2009 年规格结构中的气流下降式密集烤房)组成^[1],见图2。

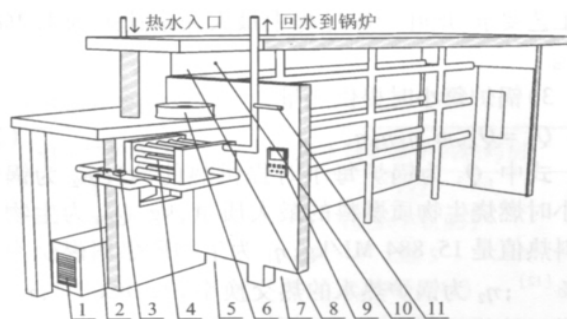


1. 连接烤房群管道接口 2. 热水回水管道 3. 热水排出管道 4. 生物质锅炉 5. 自控加燃料框 6. 燃烧传输链条电机 7. 自控出灰设备 8. 鼓风机 9. 动力水泵 10. 干粉除尘器 11. 引风机 12. 连接烟囱接口 13. 烤房装烟室 14. 烤房加热室 15. 电动控水阀门 16. 排湿窗

图2 生物质集中供热烤房群结构示意图

系统的工作原理是:农林废弃物经过粉碎,挤压成型为生物质燃料,在生物质锅炉里面燃烧加热水至70~100℃,热水在动力水泵的带动下,经过管道输送到密集烤房群,密集烤房(图3)配备有温湿度自动控制仪,在自动控制仪的控制下,需要热量烤房的电动控水阀门自动打开,热水在烤房加热室散热器管道内流动,

通过散热器加热空气,热空气在循环风机带动下经过热风口和回风口在烤房装烟室和加热室内流动,达到需要的温度;当不需要热量时,电动控水阀门自控关闭。经过散热器散发热量后的热水水温下降,在动力水泵的作用下流到锅炉内,重新被加热进行下一轮的循环。烤烟的工艺温度从室缓慢地上升到68℃需要100 h 以上的时间^[1],为了减少能量的散失,用隔热材料包裹管网的外壁。将热水引入管道有2 个方面的作用,一是烘烤烟叶,二是在气候较为干燥的烟区,可以从锅炉的出水口引出管道,回潮烟叶,缩短回潮时间。



1. 排湿窗 2. 手动控水阀 3. 电动控水阀 4. 热水散热器 5. 回风口 6. 循环风机 7. 排湿出口 8. 热风出口 9. 微电脑自动控制仪 10. 热风出口温度变化测量点 11. 回潮管道接口

图3 密集烤房内部结构 14. 5°剖面示意图

系统存在2 个循环:农林废弃物矿质元素烟田循环和热水重复使用的循环。经干粉除尘器净化后的烟气在引风机的辅助下通过烟囱排放到大气;当水温达到烤烟工艺要求后,鼓风机和引风机可以停止工作节约能源;自控出灰设备出来的灰是含K 量很高的肥料,可以直接施用于烟田。稳定的热水供应能够保证烤房内温度稳定,使烤烟按照理想的烘烤工艺进行。生物质体是在太阳光作用下由植物合成的,避免了传统烧煤排放大量SO₂ 等污染气体的问题,是一种环保型的烤烟烘烤模式。

2 系统热量配备分析

为了方便计算,本试验设计采用了2 t 生物质燃烧锅炉,以烤房群烘烤烟叶需要的热量计算需要配套的辅助设施,密集烤房采用2009 年国家烟草专卖局统一规格建造的气流下降式结构烤房(图3)。

1) 单座密集烘烤1 房烟叶需热量

$$Q_1 = cm_1wf \quad (1)$$

式中, Q_1 为单座密集烤房需要热量, kJ; c 为烟叶在正常烘烤过程平均汽化蒸发热为 2.6×10^3 kJ/kg^[1]; m_1 为鲜烟失水质量, 装烟室内平面面积为 8.0×2.8 m², 高 3.5 m, 分 3 棚装烟。一次可装鲜烟叶 5000 kg 左右; wf 为鲜烟叶经过烘烤失水, 一般为 85% ~ 90%, 扣除编烟和装烟环节失水 5%, 烤房内失水按 83% 计算。

代入各参数得:

$$Q_1 = 2.6 \times 10^3 \times 5000 \times 83\% = 1.08 \times 10^7 \text{ kJ}$$

2) 密集烤房每小时最大失水耗热量

$$Q_2 = 1.2\% \times Q_1 = 1.29 \times 10^5 \text{ kJ} \quad (2)$$

式中, Q_2 为单座密集烤房每小时失水耗热需要热量, kJ; 1.2% 为烤烟烘烤失水不是均衡进行, 按烟叶烘烤工艺要求, 烟叶干燥过程中最大失水速度为 1.2% / h^[1]。

3) 锅炉每小时提供热量

$$Q_3 = Q_{GW} m_2 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (3)$$

式中, Q_3 为锅炉每小时提供热能, kJ; m_2 为锅炉每小时燃烧生物质燃料的最大质量, kg; Q_{GW} 为生物质燃料热值是 15.884 MJ/kg; η_1 为生物质燃料燃烧率为 99%^[12]; η_2 为锅炉热水的热交换率 81.18%^[12]; η_3 为管道运输热量效率 98.5%^[13]。

代入各参数得:

$$Q_3 = 15.884 \times 300 \times 99\% \times 81.18\% \times 98.5\% = 3.77 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

4) 集中供热锅炉负荷密集烤房数量

$$n = Q_3 / Q_2 \quad (4)$$

式中, n 为密集烤房数量; Q_3 为锅炉每小时提供热能, kJ; Q_2 为单座密集烤房每小时最大失水耗热需要热量, kJ。

代入各参数得:

$$n = 3.77 \times 10^6 / 1.29 \times 10^5 = 29.22$$

为了验证这种热水生物质燃烧锅炉供热性能, 采取与当前生产中普遍使用的烘烤设备, 在热风出口温差、能耗、劳动用工和烘烤质量等方面利用对比的方法进行了试验。为了便于分析热水集中供热和燃煤单座密集烤房的能耗, 利用燃煤密集烤房使用生物质作为燃料进行烘烤, 进行了单座烤房能耗的对比。

3 材料与方法

3.1 试验材料

试验于 2010 年 9 月在平顶山郏县薛店建造的生物质热水集中供热密集烤房群烘烤试验, 设置了 3 个处理: 燃煤烤房(单座密集烤房烧煤烘烤); 生物质燃料烤房(单座密集烤房按单体炉膛燃煤的方式烧生物

质燃料烘烤); 集中供热烤房(本研究设备带动密集烤房 20 座), 所有密集烤房的结构和循环风机配置相同。采用当地一种植大户的上部叶, 品种为中烟 100, 规范化栽培, 每座烤房装烟 4 500 kg, 误差控制在 ± 50 kg 以内; 选择当地技术精炼的烘烤人员操作前 2 个处理, 设置 3 次重复, 热水集中供热密集烤房群, 选择有代表性的 3 座烤房作为试验烤房进行烘烤。

3.2 试验方法

采用热敏电阻对距离生物质锅炉为 1 m 的总管道内的热水出水、回水和密集烤房的热风口居中位置的温度(见图 3)进行测量, 利用 2 个通道, 记录频率为 10 分钟的热电偶温度记录仪(深博瑞, KTT300)对热风出口居中位置温度记录。采用精度为 0.05 kg 的称重磅对燃料和烟叶称质量, 按照烤烟分级国标(GB2635-96)对烘烤的烟叶进行分级。同时对劳动用工情况进行了调查。

4 结果与分析

4.1 热风出口温度稳定性对比

图 4A 显示热水从锅炉出来的温度(总出水口)和热水经过烘烤散热后流到锅炉(总回水口)的温度变化情况, 两者随着烘烤的进行呈现先下降后升高的趋势, 在 70 h 左右达到最低点。烤烟的烘烤工艺温度要求在 0 ~ 68℃ 间, 一般烟叶烘烤在 50 ~ 90 h 时烟叶处

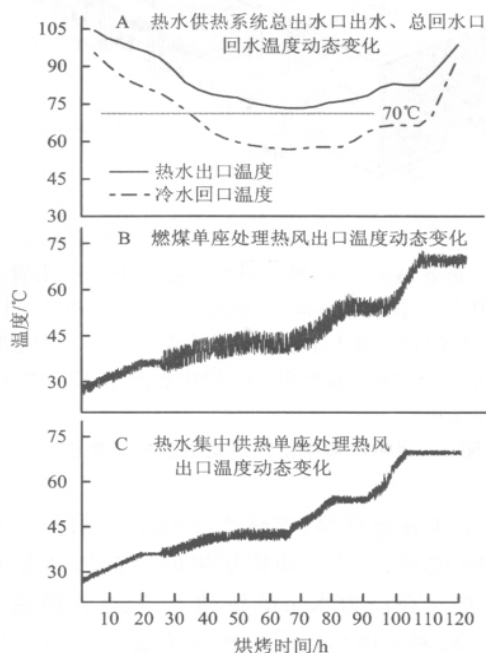


图 4 测量点温度的动态变化

于定色期,此时需要大量的能量排除烟叶内部大量的水分^[4],是烟叶排湿的重要时期,也是整个烟叶烘烤过程的关键期,从总出水口最低温度点热水水温高于70℃情况分析,本试验的设备最大负荷密集烤房的数量大于29座。上面式(4)中是按照烟叶最大的失水速率计算的,这种情况一般发生在定色期。烟叶在烤房内变黄、定色和干筋3个不同的烘烤阶段失水速率是不同的,生产中大型密集烤房群所有烤房很少在一个相同的烘烤阶段同时出现,即使出现,也是刚刚开始的下部烟叶烘烤,但是下部烟叶的单叶质量决定了每房烟叶很少超过4 000 kg,另一方面由于鲜烟整理、回潮和出烟等时间的空隙,密集烤房群会出现空烤的现象,因此利用公式(4)计算结合图4A热水总出水口温

度推算,本次设计的2 t生物质锅炉提供的能量可以配套30座密集烤房同时的烘烤需求。

烘烤过程中,加热室内经过热交换的热空气,在循环风机的带动下经过热风出口进入装烟室,满足烘烤工艺的需求^[3]。从图4B、C看,热水集中供热烤房的热风出口温度在单位时间内(10分钟)较燃煤密集烤房更为稳定。

4.2 能源消耗情况对比

为了精确计算集中烤房系统的热效率,以燃煤加热设备燃烧生物质燃料单个密集烤房为对照,对比热水集中供热设备单座密集烤房的能耗,能源消耗情况见表1,可知,热水锅炉集中供热烤房比烧煤烤房每千克干烟叶可节省0.18元能耗。

表1 不同模式单座密集烤房能源消耗情况对比

指标	燃煤烤房	燃生物质燃料烤房	热水锅炉集中供热烤房
烘烤时间/h	131	128	122
耗燃料/kg	960	2033(960)	1675(790.95)
耗电/(kW·h)	267	259	336.5
1 kg干烟叶耗燃料/(kg·kg ⁻¹)	1.5	3.18(1.5)	2.396(1.13)
1 kg干烟叶耗电/(kW·h·kg ⁻¹)	0.418	0.406	0.481
1 kg干烟叶能耗费用/元	1.17	1.16	0.99

注:1. 括号中数字为所耗燃料相当于煤的质量,折算公式基于相同烟叶素质失水干燥的试验结果;2. 煤价为600元/t,电价为0.65元/(kW·h),下同;3. 热水锅炉集中供热烤房的电能消耗分两部分,一是三种方式共有的循环风机运转,二是独有的供热设备动力水泵和锅炉运行。

4.3 劳动用工对比

20座密集烤房采用两种烘烤模式劳动用工对比情况见表2。每完成1房烟叶的烘烤,烧煤烤房用工3.275个,热水集中供热烤房用工1.525个。此外,热水集中供热设备还能够实现烘烤人员和司炉人员的劳动分离,烘烤人员在热水集中供热烘烤模式中不再烧火,有利烘烤专业人员集中精力观察烟叶变化,调控烤房内的温湿度,实施精细化烘烤,降低劳动强度,提高工作效率。

表2 两种烘烤模式劳动用工对比

烘烤模式	燃煤烤房群	集中供热烤房群	
人员配置	烘烤及烧火人员	烘烤人员	司炉工
配备人员数/名	4	2	3
值班人员数/名	4	1	1
烘烤时间/h	131	122	
总用工数/个	65.5	30.5	
单位烤房用工数/(个/房)	3.275	1.525	

注:1个劳动用工按照1个人工作8h计算。

4.4 烘烤效益对比

两种烘烤模式效益对比见表3。可以看出,对比燃煤烤房,集中供热烤房可提高烤后干烟叶质量、上等烟比例、中等烟比例和均价。

推测其原因是集中供热烤房散热片温度变化范围小(70℃~100℃),热源稳定(图4B、C),不像燃煤烤房那样易受人为主观因素影响。因此烟叶外观质量好,提高了均价,烘烤时间缩短(表1、图4B、C),提高了出烟率。

表3 集中供热烘烤结果的效益

烘烤模式	燃煤烤房群	集中供热烤房群
每公斤鲜烟出干烟叶质量/g	172.73	173.64
上等烟比例/%	34	35.2
中等烟比例/%	46.5	49.1
均价/(元·kg ⁻¹)	10.61	10.95

4.5 成本效益分析

据前所述,2 t锅炉能够负载30座烤房的烘烤,表4以30座的烤房群为例分析了燃煤模式与热水集中

供热模式的建造成本。相对于烧煤密集烤房群,热水集中供热密集烤房群需要另外购置热水管道、阀门、保温材料、动力水泵、锅炉及附属配件等设备,增加约 5.7 万元的投资费用。而且为了保持设备的顺利运转,正常情况下需要每年支付 1% 的维修费用^[3],用于锅炉、管道检修及保温材料等易耗品的更换。

表 4 两种供热方式的 30 座烤房群建造成本对比 (万元)

烘烤模式	燃煤烤房群		热水集中供热烤房群 + 热水供热设备
	单价	合计	
烤房结构	同一结构	—	同一结构
门、窗和挂烟梁	同一标准	—	同一标准
散热器、进气门和自控仪器	1.05	31.50	16.50
热水管道、阀门及保温材料	—	—	2.10
锅炉及附属配件	—	—	18.00
动力水泵	—	—	0.60
合计		31.50	37.20

注:设备费用按照 2010 年价格统计。

一般 30 座密集烤房能够满足 33.33 hm² 烟田的烘烤需求,按照规范化管理,1 hm² 烟田能够产出 2250 kg 的干烟,综合表 1、2、3 数据,表 5 对燃煤烘烤和热水集中供热烘烤两种模式进行了效益对比分析,显示虽然热水集中供热在设备购置较高,但是在设备使用的寿命期间,30 座热水集中供热的烤房群每年能够产生 5.59 万元的经济效益。中国每年烤烟的数量为 230 万 t,如果热水集中供热烘烤设备能够在中国 30% 的烟区推广,每年的经济效益能够达到近 5 亿元,而且能够大量减少 CO₂ 的排放。

表 5 两种供热方式 30 座密集烤房群的经济效益对比分析

烘烤模式	燃煤烤房群(A)	集中供热烤房群(B)	增加效益(B-A)/万
干烟质量/kg	74 992.5	75 387.58	—
烟叶销售收入/万	79.57	82.55	2.98
能耗费用/万	-8.79	-6.68	2.11
用工费用/万	-1.64	-0.76	0.88
维修费用/万	—	-0.37	-0.37
合计			5.6

5 讨论

5.1 热水集中供热燃料节约方面的探讨

锅炉的燃料燃烧率和热交换率是影响燃料的能量向烘烤能量转化的重要因素^[12],在锅炉的选型方面,需要根据生物质燃烧特性,尽量选择燃料燃烧率高和热能交换率高的锅炉,减少能量的无效消耗;热水管道是烘烤过程中热量向外界散失的重要途径,需要严格隔热密封,尽量减少管道的裸露部分;烤烟烘烤的上限温度是 70℃,在减少热损耗的措施中,管道中热水的温度在上限温度范围内,水温越低越有利减少热量向外界散失。

5.2 热水集中供热烤房电耗费分析

本套系统需要额外的电耗提供热水循环动力水泵和锅炉运行,在这种满足烘烤需求设备需要正常的运转情况下,同时工作的烤房数量越多越节约电能,反之,使用的烤房数量越少电能耗越大。因此这种烘烤设备的推广需要一定的种植规模相配套,在烤房数量较少时配置较小的锅炉及动力水泵;烤房数量较多时,加大锅炉及动力水泵的配置。在目前生产中许多烟区出现快速发展的种烟 0.67 ~ 2 hm² 左右农户、10 ~ 30 hm² 左右的产业化农场、烟草科教园区、紧密型厂办基地单元建设等情况下,热水集中供热烘烤是值得推广一种烘烤设备。

5.3 热水集中供热设备烟叶烘烤后质量提高的原因分析

植物残体在脱离母体后,在一定条件下仍然在酶的作用下进行新陈代谢^[14]。鲜烟叶作为生命有机体,在烤房内烘烤过程中外观颜色从绿色变成黄色,同样是在酶的作用下进行物质的分解和合成。酶是生命蛋白质,其活性受温度的影响较大,于建军等^[17]研究了利用不同温湿度发酵条件处理晒黄烟的晾晒过程,发现对发酵后晒黄烟中性致香物质和内含物消耗的影响是非常明显的。热水集中供热设备单座密集烤房在烘烤过程中,热风出口的温度较普通燃煤单座密集烤房变化差异小(图 4),更适合于密集烤房中酶促作用下烟叶淀粉等大分子物质的降解,并有利于烟叶优良品质的物质合成,可能是本试验提高烟叶的外观品质的主要原因。

5.4 热水集中供热烘设备式对促进烟草集约化生产模式分析

燃煤密集烤房温度的控制是人工烧火的,虽然有微电脑控制的鼓风机辅助进行控制,但烧火受烘烤人员经验性操作的影响较大^[18],与国外燃气或燃油控制

烟叶烘烤相比^[9],烤房内温度控制较为粗放。同时受烘烤环节劳动强度的限制,一位熟练的烘烤人员正常条件下仅能同时操作5座密集烤房的烘烤和烧火,在中国劳动用工费用日益上涨的情况下,势必会影响到烟叶的稳定发展。随着中国现代烟草农业建设的推进,近几年全国烟区建造了大量20座以上的密集烤房群^[9]。热水集中供热设备利用现代成熟的热热水供热技术,能够精确控制烤房内的温度,而且实现了烘烤和司炉的分离,有利于烟叶规模化和工厂化生产。

6 结论

对照燃煤密集烤房烘烤,采用集中供热设备烘烤,密集烤房内热风出口在烘烤过程中温度波动差异较烧煤密集烤房小,恒定的热水供应能够使烤房内的温度处在理想的烘烤工艺状态,能够提高上中等烟比例3.8%;采用工业上成熟工程技术,能够提高能量的利用率,烘烤每千克干烟节煤0.37 kg;能够实现烘烤烟叶和烧火操作工作的分离,降低烘烤环节的劳动强度,每房烟叶烘烤平均节约劳动用工为1.75个,虽然热水集中供热密集烤房群投资时增加了5.7万元的额外设备费用,但是每年能够产生5.6万元的经济效益。

参考文献

- [1] 孙钰. 哥本哈根 在失意中积聚希望 [EB/OL]. (2010-01-08) [2012-07-16]. <http://yusun8088.blog.163.com>.
- [2] 刘建利. 以实现“基地化、特色化、现代化”为目标努力推动原料保障上水平//2009年度国家烟草生理生化研究基地年会 [C]. 郑州: 国家烟草生理生化研究基地, 2010.
- [3] 官长荣,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.
- [4] 崔志军,孟庆洪,刘敏,等. 烟草秸梗气化替代煤炭烘烤烟叶研究初报 [J]. 中国烟草科学, 2010, 31(3): 70-72, 77.
- [5] 张百良,雷春鸣,赵建林,等. 烟叶节能初烤房系列设计 [J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 70-75.
- [6] 张百良,赵廷林,雷春鸣,等. PJK-200 平板式节能烤烟房研究和设计 [J]. 农业工程学报, 1991, 7(4): 102-111.
- [7] 杨世关,张百良,杨群发,等. 生物质气化烤烟系统设计及节能与品质改善效果分析 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 207-209.
- [8] 宋朝鹏,孙福山,许自成,等. 我国专业化烘烤的现状与发展方向 [J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 73-77.
- [9] 唐莉娜,陈顺辉. 循环农业: 现代烟草农业可持续发展的必然选择 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15(5): 58-61.
- [10] 中国烟叶总公司. 密集烤房技术规范(修订版) [Z]. 2009-10-12.
- [11] Kamal M S. Analysis of a malakisi barn used for tobacco curing in east and southern Africa [J]. Energy Conversion and Management, 2001, 42: 483-490.
- [12] BBDF 生物质承压热水锅炉简介 [EB/OL]. [2012-07-16]. http://www.haderun.com/cpzs_content.asp?id=237.
- [13] 郑瑞澄. 民用建筑用热水系统工程技术手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 231-233.
- [14] 官长荣. 密集式烘烤 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [15] 经丹. 不同变黄程度下烤烟主要酶活性变化及对化学成分的影响 [D]. 延吉: 延边大学, 2010.
- [16] 刘晓军,王群,张云川. 冬枣湿冷贮藏过程中生理生化变化的研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 215-217.
- [17] 于建军,杨永锋,李琳,等. 不同温湿度发酵条件对晒黄烟中性致香物质的影响 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 279-282.
- [18] 庞全,杨翠容. 烟叶初烤计算机控制系统 [J]. 农业工程学报, 1997, (4): 174-178.
- [19] Gerald F P. 美国北卡州烤烟生产技术手册(1998) [M]. 关经国,译. 贵阳: 贵州科技出版社, 2000: 166-170.
- [20] 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.