

# 密集烤房使用不同类型燃煤烘烤效果研究

张聪辉<sup>1</sup>, 赵宇<sup>2</sup>, 苏家恩<sup>3\*</sup>, 王德勋<sup>3</sup>, 徐成龙<sup>1</sup> (1. 大理州烟草公司祥云县分公司, 云南祥云 672100; 2. 云南农业大学, 云南昆明 650201; 3. 云南省烟草公司大理州公司, 云南大理 671000)

**摘要** [目的] 结合大理州烟叶烘烤使用燃料的现状, 研究密集烤房使用不同类型燃煤的烘烤效果。[方法] 以普通蜂窝煤为对照, 自制蜂窝煤、生物质燃料、褐煤、贫煤、无烟煤 5 种在用燃料为处理, 试验重复 5 次, 研究标准密集烤房烘烤过程中各种燃煤的烘烤效果。[结果] 试验表明, 高发热值无烟块煤烘烤效果最好, 相对对照 1 kg 干烟降低烘烤成本 0.26 元, 提高均价 1.62 元, 减少硫排放 52%; 褐煤虽然烘烤成本最低, 但均价也最低, 比对照少 2.81 元/kg, 温湿度控制也最不准确, 是所有参试燃料中最差的一种; 除生物质燃料外, 烘烤过程中随着燃料燃烧值的提高, 烘烤燃料成本逐步降低, 温湿度控制准确性逐步提高。[结论] 研究可为大理州地区烘烤燃料科学使用提供借鉴依据。

**关键词** 密集烤房; 燃煤; 烘烤效果

**中图分类号** S572 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)01-246-02

## Intensive Curing Barn with Different Type Coal Baking Effect Research

ZHANG Cong-hui<sup>1</sup>, ZHAO Yu<sup>2</sup>, SU Jia-en<sup>2\*</sup> et al (1. Xiangyun Branch of Dali State Tobacco Company, Dali, Yunnan 672100; 2. Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201; 3. Dali Branch of Yunnan Provincial Tobacco Corporation, Dali, Yunnan 671000)

**Abstract** [Objective] Combined with fuel utilizing status in tobacco curing process in Dali State, the baking effect of various coals in intensive curing barn was studied. [Method] With ordinary honeycomb briquette as control, homemade honeycomb briquette, biomass fuel, lignite, lean coal, anthracite as treatment, repeating 5 times, the baking effect of various coals in standard intensive curing barn was studied. [Result] The test results showed that the higher calorific smoke-free lump coal has the best baking effect, compared with controls reduce the baking cost 0.26 yuan per kilogram of dry smoke, improve the average price of 1.62 yuan, reduce sulfur emissions by 52%; Lignite, while the lowest cost of baking, average price is the lowest, less than 2.81 yuan per kilogram, control temperature and humidity control is also the least accurate, is one of the worst of all the volunteers' fuel; In addition to the biomass fuel, with the improvement of fuel combustion value during the process of baking, baking gradually reduce fuel costs, temperature and humidity control accuracy improved. [Conclusion] The study can provide reference basis for scientific use of baking fuel in Dali State area.

**Key words** Intensive curing barn; Coal; Bake effect

自 2003 年以来, 密集烤房的研究与应用进入快速发展阶段, 逐步实现规范化、科学化和现代化, 密集烤房以其装烟密度大、自动化程度高、操作简单、省工省时、产质量高等优点, 受到广大烟区干部群众的欢迎。密集烤房在烟叶烘烤过程中主要使用燃煤作为燃料, 若按每烤 1 kg 干烟叶平均消耗标准煤 1.2 kg 估算<sup>[1]</sup>, 云南每年烤烟耗标煤量可达 90 万 t 以上。燃煤按其形成时间的长短、煤化程度的高低可分为褐煤、烟煤、贫煤和无烟煤, 每种煤炭由于发热量、组分特性等不同, 价格和烟气排放物也有很大差别。电力系统已对不同类型的燃煤使用效果开展了相关研究<sup>[2-3]</sup>, 但燃料使用效果差异性受地域和设备条件影响, 针对密集烤房不同类型燃料烘烤效果有待深入研究, 为此笔者特结合大理州烟叶烘烤使用燃料的现状, 开展此次不同类型燃煤的烘烤效果试验研究, 以期为大大理州地区烘烤燃料科学使用提供借鉴依据。

## 1 材料与与方法

**1.1 材料** 试验于 2013 年 7~9 月在云南省大理州红花大金元科研研发基地烘烤工场进行, 选取 6 座气流下降式烤房 (2010 年按 418 号文标准建设, 控制仪为辽宁海帝升公司 2013 年新生产) 进行试验。供试烟叶为当地 133.33 hm<sup>2</sup> 核心示范

区内同一部位、同一时间采收且外观质量相同或相近的烟叶, 供试品种为红花大金元, 装烟量 450 竿/房, 每台 150 竿。

**1.2 试验设计** 试验燃煤类型分为 6 个处理 (表 1), 5 次重复, 每个处理选取 1 座烤房试验, 3 名烧火人员预先烧火一炉后正式开展试验, 烧火过程最大限度保持实测温湿度与目标温湿度差值 ≤ 2 ℃。

表 1 各处理设定及详细情况

| 处理                  | 类型    | 热值<br>kJ/kg | 规格  |
|---------------------|-------|-------------|---|
| T <sub>1</sub> (CK) | 普通蜂窝煤 | 17 305      | 普通无烟蜂窝煤, 规格直径 16 cm, 重量 2 kg/个, 价格 1.6 元/个              |
| T <sub>2</sub>      | 自制蜂窝煤 | 23 387      | 粉状无烟煤自加工, 加入 9% 的红土, 规格直径 16 cm, 重量 2 kg/个, 价格 1.95 元/个 |
| T <sub>3</sub>      | 生物质燃料 | 15 934      | 2012 年烟秆压制, 直径 32 mm, 价格 800 元/t                        |
| T <sub>4</sub>      | 褐煤    | 7 837       | 块状散煤, 价格 260 元/t  |
| T <sub>5</sub>      | 贫煤    | 11 704      | 块状散煤, 价格 640 元/t  |
| T <sub>6</sub>      | 无烟煤   | 27 905      | 块状散煤, 价格 1 500 元/t                                      |

注: 热值检测单位大理州水泥厂。

## 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 能耗测定方法。** 在每种燃料烤房前放置一个木柜, 每天向木柜内添加燃料, 每次加料都记重, 累加计算单炉燃料消耗量; 以烘烤前后电表读数差值计算耗电量。

**1.3.2 烤后烟叶质量测定方法。** 烘烤烟叶根据国家技术监督局《烤烟》GB2635-1992 分级标准评定。

**1.3.3 硫排放量测定方法。** 根据通常情况下生物质燃料不含

**基金项目** 云南省烟草公司科技计划项目 (2012YN53)。  
**作者简介** 张聪辉 (1970-), 男, 云南大理人, 助理农艺师, 从事烟叶生产技术指导工作。\* 通讯作者, 农艺师, 硕士, 从事烘烤技术研究及推广工作。  
**收稿日期** 2014-11-10

硫、褐煤为低硫含量煤,硫含量约为 0.84%,贫煤与无烟煤为高硫含量煤,硫含量分别约为 1.62% 与 1.87%<sup>[4-8]</sup>,根据这一理论基础,对各个处理间烟气排放物中硫排放量进行计算。

**1.3.4 温度控制的准确性测定方法。**从点火 10 h 后开始取第 1 个值,每 2 h 取值一次,至烘烤 120 h 结束,记录目标和实际温度,从而计算累计温度偏差值分析温湿度控制的准确性,根据累计温度偏差值的绝对值加和计算累计温度偏差值,温度偏差值 = 目标温湿度值 - 实测温湿度值。

## 2 结果与分析

**2.1 不同处理燃料使用量及燃料成本** 从表 2 可知,烘烤成本由低到高依次排列为  $T_4 < T_6 < T_2 < T_1 < T_3 < T_5$ ,除  $T_4$  处理的褐煤外,其他燃煤随着燃料燃烧值的提高,燃料消耗量逐渐降低,烘烤成本逐渐降低,但经方差分析后,除  $T_4$  处理外各处理间烘烤成本差异不显著。 $T_6$  处理相对对照可以减少烘烤成本 0.26 元/kg。

表 2 不同处理燃料使用量统计

| 处理             | 重复及平均 | 鲜烟量/kg   | 干烟量/kg | 烘烤时间/h | 耗电量/kW·h | 每炉燃料消耗量/kg | 烘烤能耗成本/元/kg |
|----------------|-------|----------|--------|--------|----------|------------|-------------|
| T <sub>1</sub> | I     | 3 729.73 | 403.41 | 188.0  | 307.2    | 1 212.2    | 2.72        |
|                | II    | 4 013.24 | 483.24 | 186.0  | 306.4    | 1 304.2    | 2.43        |
|                | III   | 4 078.36 | 544.32 | 204.0  | 331.6    | 1 236.2    | 2.07        |
|                | IV    | 4 159.32 | 521.36 | 206.0  | 332.6    | 1 354.6    | 2.35        |
|                | V     | 4 138.25 | 554.13 | 212.0  | 341.2    | 1 356.3    | 2.22        |
|                | 平均    | 4 023.78 | 501.29 | 199.2  | 323.8    | 1 292.7    | 2.36        |
| T <sub>2</sub> | I     | 3 634.87 | 396.65 | 193.1  | 319.9    | 920.3      | 2.60        |
|                | II    | 3 933.57 | 478.64 | 191.6  | 322.6    | 976.6      | 2.27        |
|                | III   | 4 025.24 | 536.24 | 204.9  | 339.8    | 983.1      | 2.05        |
|                | IV    | 4 156.05 | 548.14 | 206.3  | 344.1    | 1 045.0    | 2.12        |
|                | V     | 4 117.94 | 578.98 | 210.8  | 351.2    | 1 031.3    | 1.99        |
|                | 平均    | 3 973.53 | 507.73 | 201.3  | 335.5    | 991.2      | 2.21        |
| T <sub>3</sub> | I     | 3 452.31 | 389.25 | 188.5  | 314.1    | 1 140.3    | 2.68        |
|                | II    | 3 918.86 | 478.65 | 187.0  | 306.6    | 1 298.3    | 2.44        |
|                | III   | 4 002.52 | 532.36 | 200.3  | 330.2    | 1 320.3    | 2.24        |
|                | IV    | 4 121.90 | 541.36 | 201.7  | 335.0    | 1 476.3    | 2.44        |
|                | V     | 4 087.12 | 587.29 | 206.2  | 342.1    | 1 348.5    | 2.08        |
|                | 平均    | 3 916.54 | 505.78 | 196.7  | 325.6    | 1 316.7    | 2.38        |
| T <sub>4</sub> | I     | 3 665.29 | 400.71 | 196.4  | 333.0    | 2 943.0    | 2.26        |
|                | II    | 3 958.19 | 478.26 | 195.1  | 333.0    | 3 276.5    | 2.07        |
|                | III   | 4 048.08 | 541.03 | 207.3  | 354.2    | 3 177.0    | 1.80        |
|                | IV    | 4 176.35 | 540.21 | 208.6  | 356.2    | 3 436.0    | 1.93        |
|                | V     | 4 138.98 | 556.78 | 212.7  | 359.1    | 3 616.3    | 1.96        |
|                | 平均    | 3 997.38 | 503.40 | 204.0  | 347.1    | 3 289.7    | 1.99        |
| T <sub>5</sub> | I     | 3 752.42 | 401.36 | 181.0  | 298.3    | 1 786.0    | 3.16        |
|                | II    | 4 036.62 | 489.34 | 179.2  | 294.1    | 1 898.8    | 2.74        |
|                | III   | 4 123.84 | 513.68 | 194.9  | 312.6    | 1 996.0    | 2.74        |
|                | IV    | 4 248.30 | 569.87 | 196.6  | 322.1    | 1 981.8    | 2.46        |
|                | V     | 4 212.04 | 578.63 | 201.8  | 331.0    | 1 997.1    | 2.45        |
|                | 平均    | 4 074.64 | 510.58 | 190.7  | 311.6    | 1 931.9    | 2.71        |
| T <sub>6</sub> | I     | 3 715.79 | 403.78 | 184.9  | 301.3    | 578.3      | 2.46        |
|                | II    | 4 008.69 | 485.25 | 183.3  | 300.0    | 620.3      | 2.18        |
|                | III   | 4 098.58 | 544.46 | 197.7  | 318.7    | 629.4      | 1.98        |
|                | IV    | 4 226.85 | 555.51 | 199.3  | 318.9    | 637.5      | 1.96        |
|                | V     | 4 189.48 | 588.85 | 204.1  | 335.7    | 650.2      | 1.90        |
|                | 平均    | 4 047.88 | 515.57 | 193.8  | 314.9    | 623.1      | 2.10        |

注:当地公共用电统一价格为 0.42 元/(kW·h)。

**2.2 不同处理间燃料消耗统计分析** 从表 3 可知,除处理

$T_1$ 、 $T_3$  之间在 5% 显著水平和 1% 显著水平上不存在显著差异,其他各处理间燃料消耗量在 5% 显著水平和 1% 显著水平上均存在显著差异。其中  $T_6$  处理燃料消耗量最少为每炉 623.14 kg,  $T_4$  处理燃料消耗量最多为每炉 3 289.76 kg,  $T_4$  处理是  $T_6$  处理的 5.3 倍。

表 3 各处理间燃料消耗量 SSR 测试结果

| 处理             | 平均值      | 5% 显著水平 | 1% 显著水平 |
|----------------|----------|---------|---------|
| T <sub>4</sub> | 3 289.76 | a       | A       |
| T <sub>5</sub> | 1 931.94 | b       | B       |
| T <sub>3</sub> | 1 316.74 | c       | C       |
| T <sub>1</sub> | 1 292.70 | c       | C       |
| T <sub>2</sub> | 991.26   | d       | D       |
| T <sub>6</sub> | 623.14   | e       | E       |

**2.3 各处理烟气排放物中硫排放量统计分析** 从表 4 可知,各处理中仅硫含量一项而言, $T_3$  处理排放量基本为零, $T_6$  处理次之,对无烟煤和贫煤而言,硫排放量有随着燃烧值升高而降低的趋势。 $T_6$  处理每炉硫排放量相比  $T_1$  对照可以减少 12.52 kg,减少量达 52%。

表 4 各处理硫排放量计算

| 处理             | 燃烧值    | 每炉耗煤量    | 每炉烟气中   | 排序 |
|----------------|--------|----------|---------|----|
|                | kJ/kg  | 平均值/kg   | 硫排放量/kg |    |
| T <sub>1</sub> | 17 305 | 1 292.70 | 24.17   | 4  |
| T <sub>2</sub> | 23 387 | 991.26   | 18.54   | 3  |
| T <sub>3</sub> | 15 934 | 1 316.74 | 0       | 1  |
| T <sub>4</sub> | 7 837  | 3 289.76 | 27.63   | 5  |
| T <sub>5</sub> | 11 704 | 1 931.94 | 31.30   | 6  |
| T <sub>6</sub> | 27 905 | 623.14   | 11.65   | 2  |

**2.4 各处理间温湿度控制准确性统计分析** 从表 5、表 6 可知,各处理间平均累计温度偏差  $T_3 < T_2 < T_6 < T_5 < T_1 < T_4$ ,即  $T_3$  处理温度控制较为准确, $T_4$  较差,随着燃料燃烧值的提高,温湿度控制准确性表现为增加趋势。而根据各处理间差异显著可以看出, $T_4$ 、 $T_1$ 、 $T_5$  之间不存在显著差异, $T_6$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  之间不存在显著差异,为确保烘烤工艺执行的准确性,在使用燃料的选择上,可以在  $T_6$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  之间选择较好。

表 5 各处理间累计温度偏差值

| 处理             | 各处理累计温度偏差值/°C |      |      |      |      | 平均    | 排序 |
|----------------|---------------|------|------|------|------|-------|----|
|                | I             | II   | III  | IV   | V    |       |    |
| T <sub>1</sub> | 67.9          | 64.6 | 69.5 | 67.9 | 64.6 | 66.90 | 5  |
| T <sub>2</sub> | 59.8          | 51.7 | 51.7 | 54.9 | 56.6 | 54.94 | 2  |
| T <sub>3</sub> | 92.1          | 42.0 | 42.0 | 45.2 | 38.8 | 52.04 | 1  |
| T <sub>4</sub> | 69.5          | 74.3 | 72.7 | 69.5 | 77.6 | 72.72 | 6  |
| T <sub>5</sub> | 64.6          | 66.3 | 63.0 | 61.4 | 63.0 | 63.67 | 4  |
| T <sub>6</sub> | 58.2          | 54.9 | 58.2 | 56.6 | 54.9 | 56.56 | 3  |

表 6 各处理间温度控制准确性 SSR 测试结果

| 处理             | 平均值   | 5% 显著水平 | 1% 显著水平 |
|----------------|-------|---------|---------|
| T <sub>4</sub> | 72.72 | a       | A       |
| T <sub>1</sub> | 66.90 | ab      | AB      |
| T <sub>5</sub> | 63.66 | abc     | AB      |
| T <sub>6</sub> | 56.56 | bc      | AB      |
| T <sub>2</sub> | 54.94 | bc      | AB      |
| T <sub>3</sub> | 52.02 | c       | B       |

(下转第 250 页)

Antarctic psychrotroph *Alteromonas haloplanctis* A23 [J]. *J Biol Chem*, 1992, 267: 5217-5221.

- [5] 张锐, 曾润. 极端微生物产碱性蛋白酶菌株的筛选及发酵条件的研究 [J]. *微生物学通报*, 2001, 28(4): 5-9.
- [6] 曾胤新, 蔡明红, 陈波, 等. 一株北极海洋细菌及其蛋白酶的生理生化特征研究 [J]. *极地研究*, 2000, 12(4): 263-268.
- [7] ZENG R, ZHANG R, ZHAO J, et al. Cold-active serine alkaline protease from the psychrophilic bacterium *Pseudomonas* strain DY-A: enzyme purification and characterization [J]. *Extremophiles*, 2003, 7(4): 335-337.
- [8] ZHOU M Y, CHEN X L, ZHAO H L, et al. Diversity of both the cultivable protease-producing bacteria and their extracellular proteases in the sedi-

ments of the South China Sea [J]. *Microbial Ecology*, 2005, 58(3): 582-590.

- [9] THOMPSON J D, GIBSON T J, PLEWNIAC F, et al. The CLUSTAL X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools [J]. *Nucleic Acids Res*, 1997, 25: 4876-4882.
- [10] SAITOU N, NEI M. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees [J]. *Mol Biol Evol*, 1987, 4: 406-425.
- [11] TAMURA K, DUDLEY J, NEI M, et al. MEGA 4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0 [J]. *Mol Biol Evol*, 2007, 24: 1596-1599.

(上接第 247 页)

**2.5 各处理烤后烟叶经济性状分析** 表 7 可知,  $T_6$  处理均价最高, 为 30.81 元/kg,  $T_4$  处理均价最低, 为 26.38 元/kg, 相比对照,  $T_6$  处理提高均价 1.62 元/kg,  $T_4$  处理降低均价 2.81

表 7 各处理间烤后烟叶经济性状统计

| 处理    | 重复及平均 | 上中等烟比例/% | 均价/元  | 排序 |
|-------|-------|----------|-------|----|
| $T_1$ | I     | 77.88    | 23.36 | 3  |
|       | II    | 86.37    | 30.79 |    |
|       | III   | 87.36    | 33.86 |    |
|       | IV    | 88.49    | 27.82 |    |
|       | V     | 75.41    | 30.10 |    |
|       | 平均    | 83.10    | 29.19 |    |
| $T_2$ | I     | 77.97    | 23.59 | 2  |
|       | II    | 86.97    | 31.09 |    |
|       | III   | 87.97    | 35.15 |    |
|       | IV    | 88.97    | 28.09 |    |
|       | V     | 75.97    | 30.39 |    |
|       | 平均    | 83.57    | 29.66 |    |
| $T_3$ | I     | 76.47    | 23.14 | 4  |
|       | II    | 85.29    | 30.49 |    |
|       | III   | 86.27    | 30.59 |    |
|       | IV    | 87.25    | 27.55 |    |
|       | V     | 74.51    | 29.80 |    |
|       | 平均    | 81.96    | 28.32 |    |
| $T_4$ | I     | 71.20    | 21.57 | 6  |
|       | II    | 79.40    | 28.41 |    |
|       | III   | 80.31    | 28.50 |    |
|       | IV    | 81.22    | 25.67 |    |
|       | V     | 69.38    | 27.77 |    |
|       | 平均    | 76.30    | 26.38 |    |
| $T_5$ | I     | 73.46    | 22.25 | 5  |
|       | II    | 81.92    | 29.30 |    |
|       | III   | 82.86    | 29.39 |    |
|       | IV    | 83.80    | 26.48 |    |
|       | V     | 71.58    | 28.64 |    |
|       | 平均    | 78.72    | 27.21 |    |
| $T_6$ | I     | 79.48    | 24.04 | 1  |
|       | II    | 88.65    | 31.68 |    |
|       | III   | 89.67    | 32.77 |    |
|       | IV    | 90.69    | 34.56 |    |
|       | V     | 77.44    | 30.97 |    |
|       | 平均    | 85.19    | 30.81 |    |

元, 但通过方差分析, 处理间差异不显著。扣除烘烤成本差价外,  $T_6$  处理可提高均价 1.88 元/kg,  $T_4$  处理降低均价 2.44 元/kg。

### 3 结论与讨论

通过此次研究表明, 使用高发热值无烟块煤烘烤效果最好, 相比对照 1 kg 干烟可以降低烘烤成本 0.26 元, 提高均价 1.62 元, 减少硫排放 52%。在使用燃煤作为燃料的烘烤过程中, 随着燃料燃烧值的提高, 烘烤燃料成本逐步降低, 温湿度控制准确性逐步提高。生物质燃料与各种燃烧值的燃煤相比, 烘烤效果不如高发热值无烟块煤和高发热值无烟煤粉煤制作的蜂窝煤, 但比褐煤、贫煤要好, 与普通蜂窝煤基本相近。褐煤虽然烘烤成本最低, 但均价也最低, 比对照少 2.81 元/kg, 温湿度控制也最不准确, 是所有燃料中最差的一种。

综合各项指标看, 大理州使用比较普遍的中等发热值蜂窝煤没有高发热值块煤的效果好, 在有条件的地方, 烟农可以更换使用高发热值块煤作为烘烤燃料。用无烟煤粉煤自制的蜂窝煤, 无论从烘烤成本还是均价都比普通蜂窝煤要好, 烟农无法购买到无烟块煤的烟区, 可以采购无烟粉煤自制蜂窝煤。从节能减排角度出发, 烟叶烘烤上应该逐步淘汰贫煤、褐煤的使用。

### 参考文献

- [1] 张树堂, 杨雪彪, 沈冬明. YN100 电烤房的研制和试验 [J]. *烟草农业科学*, 2006, 2(1): 104-108.
- [2] 吴克河, 姚佳慧. 火电厂配煤优化模型的研究与实现 [J]. *电力信息化*, 2009, 7(4): 52-54.
- [3] 林介团. 电厂燃煤混配模型的建立及分析 [J]. *广东电力*, 2008, 2(4): 25-27.
- [4] 毛健雄, 毛健全, 赵树民. 煤的清洁燃烧 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 王永征. 电力用煤燃烧污染物协同析出与排放特性研究 [D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [6] 胡军, 郑保山, 王明仕, 等. 中国煤中硫的分布特征及成因 [J]. *煤炭转化*, 2005, 28(4): 1-6.
- [7] 罗隽飞, 李文华, 姜英, 等. 中国煤中硫的分布特征研究 [J]. *煤炭转化*, 2005, 28(3): 14-18.
- [8] 胡军, 王滨滨, 郑宝山, 等. 中国煤中有机硫的分布及其成因 [J]. *煤田地质与勘探*, 2005, 33(5): 12-15.