

# 生物质颗粒燃料密集烤房与燃煤型密集烤房性能对比研究

赵新帅<sup>1</sup>，罗会龙<sup>1</sup>，祁志敏<sup>2</sup>

(1.昆明理工大学建筑工程学院，云南昆明650500；2.宜良县九乡农友烤烟种植专业合作社，云南昆明652114)

**摘要：**为了推广生物质颗粒替代煤炭成为烘烤新能源，本文通过对两种不同能源密集烤房在烘烤成本、热能利用率、烤后烟叶外观质量、烤后烟叶等级结构和经济性状的对比分析以及投资回收期的静态计算。与燃煤型密集烤房相比，生物质颗粒燃料密集烤房烘烤成本更低，热能利用率更高，并且在提高烤后烟叶质量和经济性状上优势明显。同时，生物质颗粒燃料密集烤房改造简单，投资少，静态投资回收期仅为1.44年。因此，生物质颗粒作为替代煤炭成为烘烤新能源，不仅在降本增效方面效果显著，而且通过减少使用煤炭燃料，极大地减少了对环境的污染，应得到全面推广。

## 0引言

20世纪60年代，我国开始研究密集烤房<sup>[1]</sup>

，经过几十年的发展，密集烤房相对于普通烤房优势非常明显：(1)烤房容量大，装烟密度大，省工节能；(2)烟叶烘烤质量得到进一步提高

，经济性状更好；(3)有利于集约化管理，实现专业化

烘烤<sup>[2-3]</sup>。现如今，密集烤房已成为我国烟叶烘烤中最主要的烤房形式<sup>[4]</sup>。

燃煤型密集烤房是我国使用

最为普遍的一种能源形式的密集烤房，取得了很好的效果<sup>[5-6]</sup>

。然而燃煤型密集烤房的缺陷也十分突出，尾气污染物排放量大，煤炭燃烧有滞后效应，烘烤过程中人工投入大<sup>[7]</sup>。

因此，随着我国环境污染日趋严重，煤炭资源面临匮乏，急需一种新型能源取代煤炭作为燃料进行烟叶烘烤。生物质颗粒作为替代煤炭的一种能源已经在烟叶烘烤中得到了一定的应用和研究<sup>[8-9]</sup>

。与煤炭相比，生物质颗粒是一种可再生能源，每年全球累计的生物质总量达1730亿t，蕴含的能量相当于全球总能耗的10~20倍<sup>[10]</sup>，其中我国的生物质能源储备十分丰富<sup>[11]</sup>。宋朝鹏等<sup>[12]</sup>

研究发现，提供同样能量，煤的S和NO<sub>x</sub>

排放量分别是秸秆的7倍和1.15倍。生物质能源的开发利用有利于响应国家倡导的走可持续发展道路政策，对于保护生态环境具有重要意义。本试验通过对比分析以型煤和生物质颗粒作为能源的密集烤房的烘烤效果，为推广生物质颗粒燃料密集烤房提供理论依据和技术支撑。

## 1材料与方法

### 1.1试验概况

试验于2017年7~9月在云南省宜良县九乡农友烤烟种植专业合作社烘烤基地进行。密集烤房为新建的十连体构造，如图1所示，各烤房的建造要求、建造材料和建造参数等指标一致。供试烤烟品种为K326，选取统一管理、烟叶成熟落黄适熟程度、鲜烟叶素质相同的上、中、下3个部位的烟叶分别进行烘烤试验。烘烤技术均采用智能型密集烤房控制器设定的“三段式”烘烤工艺<sup>[13]</sup>

，燃料分别为生物质颗粒和型煤。生物质颗粒的原材料为秸秆（烟杆、玉米杆）、废弃木材、树皮等，秸秆回收利用，农户自行拉运至合作社称重干秸秆，合作社按照0.3元/kg干秸秆进行付现，不仅实现了废物利用，而且农户还可以增加一部分收入。型煤是用适量水与煤搅拌成块状成型，由厂家将型煤运送到合作社烟草烘烤基地，型煤单价包含运费。

云南地区7~9月份为雨季，天气因素也会对烘烤效果产生一定的影响，下雨天气加大空气湿度，使得烟叶水分增加，本试验采用同一部位烟叶于同一时间进行采收，采烟当天完成编烟。装烟过程，降低因天气因素产生的试验差异。烘烤前检查烘烤设备是否存在问题，排除故障，保证对比试验外部影响因素基本相同。

本试验所用烤房均为智能型密集烤房，其主要特点有：节省电，节省燃料；智能化控制，实现了烤房内部温湿度的精确自动控制；除人工加料外，烘烤过程自动控制，节约人力；温差波动范围小，烤房内温湿度均匀，设备性能稳定

，烘烤品质稳定。使用智能型密集烤房，减少了因烤房本身性能的优劣对实验的影响，有利于得到更加准确、可靠的实验数据。



**图1 宜良县九乡烤烟合作社密集烤房群**  
**Fig.1 Intensive roasting group of tobacco cooperatives in Jiuxiang, Yiliang**

### 1.2 试验设计

试验设置2个处理：T1：型煤为燃料；T2：生物质颗粒为燃料。每个处理设置烤房1座，每个处理烘烤3个部位烟叶各一房，同一部位烟叶采用同一时间，相同烘烤工艺进行烘烤。如图1，十连体烤房从左至右，依次编号从1JHJ至10JHJ烤房，选取2JHJ和5JHJ密集烤房进行试验，试验期间所用烤房两侧烤房均无烟叶烘烤工作。每房选取24夹代表烟叶进行标记，烤房装烟4层，每层放置标记烟叶6夹，左右两路，按照前、中、后部位，均匀分布。装烟室尺寸为8000mm × 2700mm × 3500mm（长 × 宽 × 高）。循环风机型号为：GKF7 - 6/4，风量 > 15000m<sup>3</sup>/h，且分为两档，风压为170 ~ 250Pa的烤烟专用轴流风机，送风方式为气流下降式。生物质颗粒燃料燃烧机采用云南名泽烟草机械有限公司生产的设备，型号为5HY - 108。试验使用统一规格、重量相同的不锈钢梳式烤烟夹装烟。在烘烤前纪录装烟夹数、鲜烟叶重量、电表开始读数；烘烤过程中纪录燃料用量；烘烤结束后记录干烟叶重量、电表结束读数，计算鲜干比，统计烟叶等级、各等级烟叶比重及上、中、下等烟比例。从而进行烟叶烘烤成本、热能利用率、外观质量、结构等级和烟叶均价的对比分析以及投资回收期的静态计算。选取每处理每房标记的24夹代表烟叶进行烘烤效果的统计分析，数据统计使用Word、Origin等软件。

### 2 结果与分析

## 2.1 烘烤成本对比

烘烤成本主要包括用工成本和燃料成本。烘烤用工费由九乡农友烤烟种植专业合作社统一核算，再折算为单位烤房费用。每20座燃煤型密集烤房、生物质颗粒燃料密集烤房分别需要4人、1人管理，资费200元/(人·d)。每房烘烤时间统一为7d。因此，经计算，T1和T2烘烤一房烟叶需要人工成本分别为280元/座、70元/座。

由表1可知，单位烤房T2比T1平均多耗电约20kW·h，这是因为生物质颗粒燃料密集烤房所使用的生物质燃烧机需要消耗部分电量，因此耗电成本略高；经计算单位烤房T2比T1可节省烘烤成本133.1元，再加上秸秆回收，农户也可以增加一部分收入，降本增效更加突出。

表1 不同烤房烘烤成本比较

Tab. 1 Comparison of curing cost of different bulk curing barns

处理	烟叶部位	耗电量 (kW·h)	电费 / 元	耗燃料 /kg	燃料费 / 元	能耗成本 / 元	用工成本 / 元	烘烤成本 / 元
T1	上	298	178.8	1420	1562	1830.8	280	2110.8
	中	275	165.0	1350	1485	1650.0	280	1930.0
	下	246	147.6	1180	1298	1445.6	280	1725.6
	平均	273	163.8	1316.7	1448.4	1612.2	280	1892.2
T2	上	324	194.4	1620	1620	1814.4	70	1884.4
	中	294	176.4	1580	1580	1756.4	70	1826.4
	下	262	157.2	1340	1340	1497.2	70	1567.2
	平均	293	175.8	1513.3	1513.3	1689.1	70	1759.1

注：电价为0.6元/(kW·h)，型煤价格为1.1元/kg，生物质颗粒价格为1.0元/kg。

## 2.2 热能利用率对比

热能利用率受很多外部因素的影响，如：烤房、换热器、火炉、风机等[14]，本试验所用设备及烤房等外部参数条件基本一致，因此，它们对T1和T2的热能利用率的影响基本一致。通过比较能耗大小来分析T1和T2热能利用率的高低。即得到1kg干烟叶所消耗的热能越少，则说明热能利用率越高。

### 烤房

的能耗主要包

括耗电量与燃料燃烧所释放

的热量。在此，将耗电量换算成耗热量，电的热值为0.3

$6 \times 10^4$ kJ/kg，型煤的发热量约为 $2.50 \times 10^4$

kJ/kg。所用生物质颗粒的发热量约为16.75kJ/kg，即 $1.67 \times$

$10^4$

kJ/kg。由表2可知，T1较T2在相同部位烟叶烘烤时更加消耗热量，1kg干烟叶T1平均多消耗热量 $0.8 \times 10^4$ kJ，说明生物质密集烤房能耗更少，热能利用率更高。从表中还可以看出，用生物质颗粒作为燃料进行烘烤时，上、中、下3个部位烟叶的鲜干比分别提高了0.8、0.5、1.5，说明烟叶在烘干过程中，吸收了更多的热量，失水更多，在某种程度上可反映出热能利用率更高。

表2 不同烤房能耗比较  
Tab.2 Comparison of energy consumption of different bulk curing barns

处理	烟叶部位	装烟夹数 / 夹	鲜烟叶重 /kg	干烟叶重 /kg	鲜干比	1 kg 干烟叶耗电量 / (kW · h)	1 kg 干烟叶耗燃料 /kg	1 kg 干烟叶耗能 × 10 <sup>4</sup> /kJ
T1	上	380	6 380	835.9	7.6:1	0.36	1.70	4.38
	中	380	6 380	722	8.8:1	0.38	1.87	4.81
	下	350	4 340	385	11.3:1	0.64	3.06	7.88
	平均	370	5 700	647.6	8.8:1	0.42	2.03	5.23
T2	上	380	6 380	760	8.4:1	0.43	2.13	3.71
	中	380	6 380	683.2	9.3:1	0.43	2.31	3.99
	下	350	4 340	339	12.8:1	0.77	3.95	6.87
	平均	370	5 700	594.1	9.6:1	0.49	2.55	4.43

### 2.3烤后烟叶外观质量对比

烤后烟叶质量等级评定标准采用GB2635—92分级标准进行<sup>[15]</sup>

，选取X2F、X3F、C2F、C3F、B1F、B2F六种主要烟叶外观质量等级进行比较。由表3可知，两种不同能源密集烤房对烤后各等级烟叶外观质量除生物质颗粒燃料B1F身份优于型煤燃料外，其他各方面表现两者基本相同，说明生物质颗粒取代煤炭作为烟叶烘烤燃料不会对烤后烟叶外观质量产生较大影响。

表3 不同烤房烤后烟叶外观质量比较  
Tab.3 Comparison of tobacco leaf appearance quality of different bulk curing barns

等级	处理	成熟度	叶片结构	身份	油分	色度
X2F	T1	成熟	疏松	稍薄	稍有	中
	T2	成熟	疏松	稍薄	稍有	中
X3F	T1	成熟	疏松	稍薄	稍有	弱
	T2	成熟	疏松	稍薄	稍有	弱
C2F	T1	成熟	疏松	中	有	强
	T2	成熟	疏松	中	有	强
C3F	T1	成熟	疏松	中	有	中
	T2	成熟	疏松	中	有	中
B1F	T1	成熟	尚疏松	稍厚	多	浓
	T2	成熟	尚疏松	中 - 稍厚	多	浓
B2F	T1	成熟	稍密	稍厚	有	中
	T2	成熟	稍密	稍厚	有	中

### 2.4烤后烟叶等级结构对比

烤后烟叶的等级结构能够直观反映两种不同能源密集烤房烘烤性能的优劣。由表4可知，T2较T1，中、上等烟叶整体比例更高；中、上部位烤后烟叶：T2的上等烟叶比例较T1提高了1.50和5.00个百分点；下部烤后烟叶的中等烟比例T2较T1提高了3.60个百分点，而且级外烟叶比例T2更低。表明生物质颗粒燃料密集烤房在提高烤后烟叶质量上效果显著，具有更好的经济效益。

表4 不同烤房烤后烟叶等级结构比较

Tab. 4 Comparison of tobacco leaf grade structure of different bulk curing barns

处理	烟叶部位	上等烟比例 /%	中等烟比例 /%	下等烟比例 /%	级外烟比例 /%
T1	上	74.4	21	2.5	2.1
	中	80.5	15	2.5	2
	下	0	86.4	8.4	5.2
T2	上	79.4	17.2	2	1.4
	中	82.2	14	2	1.8
	下	0	90	7	3

### 2.5 烤后烟叶经济性状

根据烘烤后干烟叶质量等级数量（除去表4中级外烟叶数量）和各等级烟叶收购单价计算得表5，均价=烤后干烟叶收购价格÷烤后干烟叶质量，经计算得图2所示。T2较T1，上、中、下3个部位烤后干烟叶均价分别提高了1.26元/kg、0.53元/kg、0.90元/kg，整体均价提高了1.018元/kg。表明生物质颗粒燃料密集烤房相对于燃煤型密集烤房，能够明显提高烤后烟叶均价。

表5 不同烤房烤后烟叶经济性状

Tab. 5 Leaf economic characters of different bulk curing barns

烟叶部位	T1		T2	
	数量 /kg	金额 / 元	数量 /kg	金额 / 元
上	818.7	21 717.70	749.1	20 819.22
中	707.3	22 972.76	669.6	22 101.83
下	365.5	6 903.10	326.8	6 467.11
合计	1 891.5	51 593.56	1 745.8	49 388.16
整体均价	27.277 元 /kg		28.295 元 /kg	

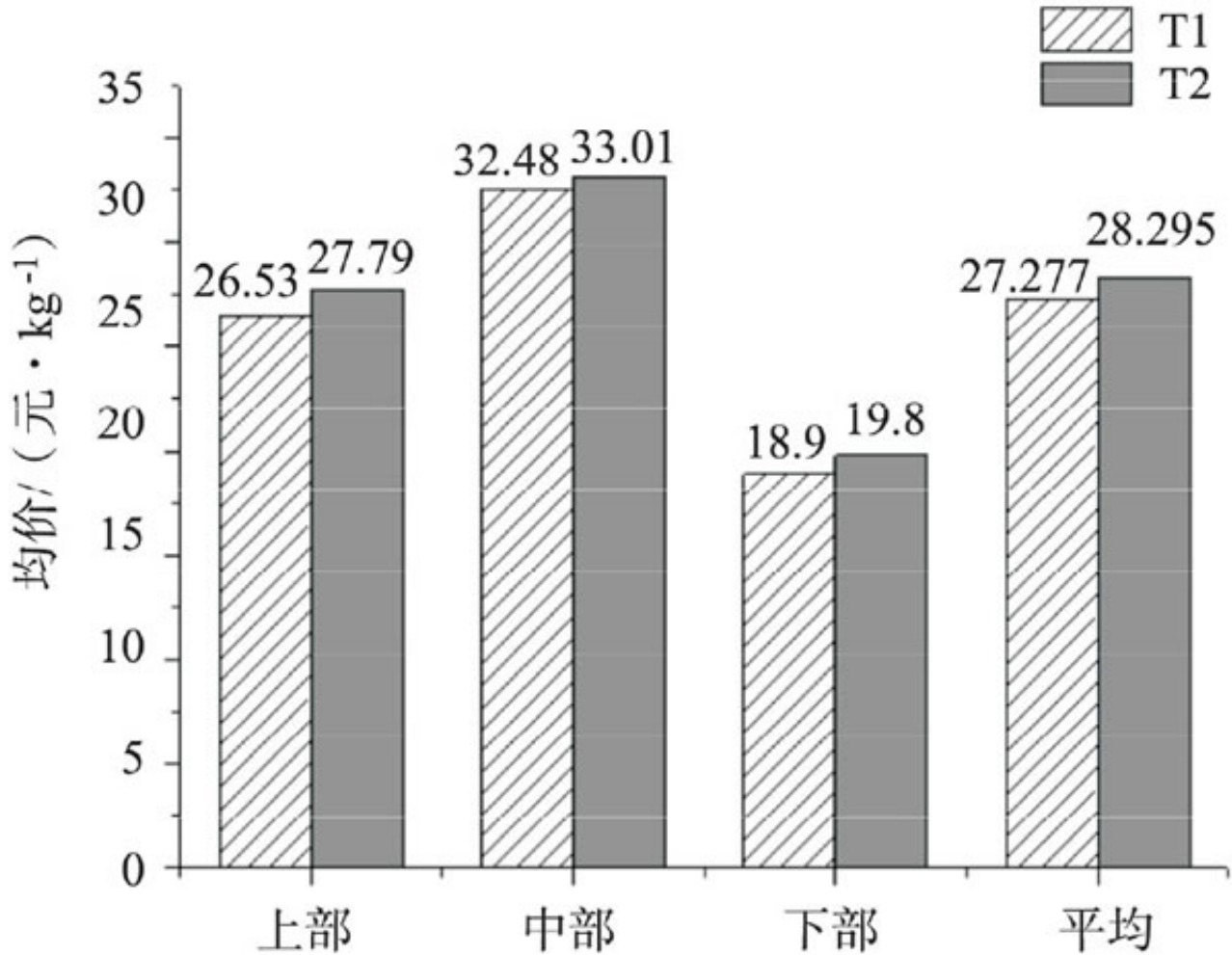


图2 不同烤房烤后烟叶均价比较  
Fig.2 Comparison of tobacco leaf average price of different bulk curing barns

#### 2.6 投资回收期

[16]。本试验采用不考虑时间价值的静态投资回收期进行简单的投资回收期计算。

静态投资回收期的表达式为：

$$\sum_{t=0}^{P_t} (CI - CO)_t = 0$$

式中： $P_t$ ——静态投资回收期，年；

$CI$ ——现金流入，元；

$CO$ ——现金流出，元；

$(CI - CO)_t$ ——为第  $t$  年的净现金流入，元。

本试验按照每年的净效益基本相同，因此静态投资回收期的表达式可转化为下式：

$$\text{静态投资回收期}(P_t) = \frac{\text{总投资}}{\text{各项效益之和}}$$

生物质颗粒燃料密集烤房相对于燃煤型密集烤房增加了一台生物质颗粒燃烧机，单价为7500元/台，商家免费安装，即一座烤房的改造总投资为7500元。经计算T2烤后干烟叶均价28.295元/kg、T1烤后干烟叶均价27.277元/kg。由于在实际烟叶烘烤中，无法保证每座烤房产值相同，因此为避免在比较中因产值差异而引起的影响，产量统一为干烟叶600kg/房，则T2较T1每房烤后烟叶产值增加610.8元，又因为T2较T1平均每房节省烘烤成本133.1元，按照每年烘烤季节内每座烤房平均烘烤7房烟叶。经计算，一座生物质颗粒燃料密集烤房比燃煤型密集烤房每年多产生经济效益之和为5207.3元，可得出静态投资回收期（ $P_t$ ）为1.44年，本试验使用的生物质颗粒燃料燃烧机使用寿命为5年，第2年累计净现金流量出现正值的年份，即两年内回收投资。

### 3结论

通过对生物质颗粒燃料密集烤房和燃煤型密集烤房在烘烤成本、热能利用率、烤后烟叶外观质量、烤后烟叶等级结构和经济性状的对比分析以及投资回收期的静态计算。研究结果表明：

1) 通过集约化烘烤，生物质颗粒燃料密集烤房能够减少用工成本，充分发挥生物质颗粒燃料燃烧机的优势，极大地减少了加料次数和降低了工作强度。由于煤炭燃烧具有滞后性，对烘烤加料人员技术经验要求较高，而生物质颗粒燃料密集烤房在烘烤过程中管理简单，燃烧机自动送料，实现了自动控制，省工省时；

2) 生物质颗粒燃料密集烤房改造简单，只需在原有密集烤房上增加生物质颗粒燃料燃烧机即可，投资少，静态投资回收期仅为1.44年。宜良县九乡农友烤烟种植专业合作社拥有自己的生物质颗粒生产设备，降低了生产成本。同时，生物质颗粒原材料就地取材，将秸秆（烟杆、玉米杆）、废弃木材、树皮等材料废物利用，农户自行将干秸秆拉运至合作社称重，合作社按照0.3元/千克干秸秆进行付现，不仅实现了废物利用，而且农户还可以增加一部分收入；

3) 在烤后烟叶质量和经济性状方面，生物质颗粒燃料密集烤房烤后干烟叶整体质量优于燃煤型密集烤房，上、中、下3个部位烤后干烟叶均价均有所提高，整体均价提升明显。由表5可知，T2较T1，虽然均价有所提升，但是干烟叶收购总价却有所减少，原因是各烟叶部位的鲜干比均有所加大，虽然能够反映生物质颗粒燃料密集烤房热能利用率更高，但是也导致T2烤后干烟叶产量少于T1，试验有待优化。鲜干比是指鲜烟叶质量和烤后干烟叶质量的比值，因此，下一步还需要针对烟叶鲜干比进行深入研究，降低生物质颗粒燃料密集烤房的鲜干比，保证烟叶品质的前提下，增加烤后干烟叶产量；

4) 热能利用率方面，研究表明，生物质颗粒燃料密集烤房较燃煤型密集烤房，1kg干烟叶消耗热量减少 $0.8 \times 104\text{kJ}$ ；虽然生物质颗粒燃料密集烤房热能利用率有所提高，但提升空间很大。可进行以下方面的加强与完善：（1）完善烘烤技术，探究最佳装烟密度、烘烤温湿度、烤房内气流速度等；（2）改进烤房建筑结构，寻找适宜烤房建造的材料，降低密集烤房建造成本，规范配套设备的安全可靠；（3）改进生物质颗粒生产设备，提高生物质颗粒质量，也

可以通过采用燃烧性能更好的生物质颗粒原材料，提高生物质颗粒的热值。

参考文献：

- [1]王卫峰, 陈江华, 宋朝鹏, 等.密集烤房的研究进展[J].中国烟草科学, 2005, 26(3): 12 - 14.
- [2]钦燕, 和智君, 罗会龙.烟叶烘烤密集烤房应用现状及展望[J].中国农学通报, 2009(13): 260 - 262.
- [3]宋朝鹏, 陈江华, 许自成, 等.我国烤房的建设现状与发展[J].中国烟草学报, 2009, 15(3): 83 - 86.
- [4]徐秀红, 孙福山, 王永, 等.我国密集烤房研究应用现状及发展方向探讨[J].中国烟草科学, 2008, 29(4): 54 - 56.
- [5]聂荣邦.烤烟新式烤房研究——燃煤式密集烤房的研制[J].湖南农业大学学报, 2000, 26(4): 258 - 260.
- [6]孙敬权, 任四海, 吴永德.烤烟燃煤密集烤房的改进探讨[J].烟草科技, 2004(9): 43 - 44.
- [7]汤若云, 段美珍.电热式密集烤房与燃煤式密集烤房比较实验初探[J].湖南农业科学, 2012(21): 96 - 99.
- [8]郭大仰, 刘尚钱, 肖志新, 等.不同替代能源密集烤房烟叶烘烤效能对比研究[J].安徽农业科学, 2016, 44(33): 99 - 102.
- [9]徐成功, 苏家恩, 张聪辉, 等.不同能源类型密集烤房烘烤效果对比研究[J].安徽农业科学, 2015, 43(2): 264 - 266.
- [10]兰树斌, 马莹, 陈维林, 等.生物质能源在烤烟烘烤中的应用研究发展[J].现代农业科学, 2016(17): 153 - 155.
- [11]周凤起, 周大地.中国中长期能源战略[M].北京: 中国计划出版社, 1999.
- [12]宋朝鹏, 李常军, 杨超, 等.生物质能在烟叶烘烤中的应用前景[J].河北农业科学, 2008, 12(12): 58 - 60.
- [13]宫长荣.烤烟三段式烘烤导论[M].北京: 科学出版社, 2006.
- [14]宋朝鹏, 何帆, 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, 7751.
- [15]国家烟草专卖局.GB2635 - 92烤烟[S].北京: 中国标准出版社, 2003.
- [16]邵颖红.工程经济学概论[M].北京: 电子工业出版社, 2015.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/149590.html>