

不同配方生物质燃料物理特性与燃烧特性研究

苟文涛¹, 王晓剑², 钟俊周³, 郭鸿雁², 李茂军², 文国宇³, 陈建军¹, 邓世媛¹

(1. 华南农业大学烟草研究室, 广东广州510642; 2. 广东烟草韶关市有限公司, 广东韶关512000; 3. 广东烟草韶关市有限公司始兴县公司, 广东韶关512500)

摘要: [目的]研究生物质燃料的物理特性和燃烧特性, 探讨生物质燃料在烟叶烘烤应用上的可行性。[方法]采用HC K045A型高效生物质颗粒机压制9种不同配方的颗粒燃料, 同时以100%煤粉为对照(CK), 对不同配方生物质燃料的结组成、工业分析、发热量、灰分元素、结渣率、灰熔点、物理性状等物理特性及燃烧特性相关指标进行比较研究。[结果]不同配方生物质颗粒燃料在物理特性和燃料特性方面有一定差异, 其中含有木屑或烟秆配方的颗粒燃料纤维素和木质素含量高于含有烟梗的配方处理, 因而挥发分和固定碳含量也较高, 但灰分和含水量则低于含有烟梗的配方。燃烧过程中, 含有木屑或烟秆配方的燃料由于软化温度高, 因而底灰结渣率低于CK, 而含有烟梗配方的处理则高于CK; 同时, 含有木屑或烟秆配方的颗粒燃料点火时间比CK快543.55s, 燃烧持续时间比CK长1.8倍。但在抗碎强度与抗渗水性等物理性状方面, 则是含有烟梗配方的处理较好。[结论]与100%煤粉烘烤相比, 虽然生物质燃料发热量略低, 但其他燃烧性能指标均能达到烟叶烘烤的工艺要求, 可以作为烟叶烘烤的替代能源, 其中50%木屑+50%烟秆的配方尤佳。

21世纪以来, 随

着煤、石油、天然气等石化燃料的日

益枯竭, 生物质能日益凸显出其潜在的价值^[1]

。烟叶生产中的烘烤环节是一个大量耗能的过程^[2]

, 虽然我国的烟叶烤房已经从普通烤房改进成了密集型烤房, 在一定程度上达到了节能的目的, 但在全国各烟区, 烟叶烘烤的热量来源仍然以煤炭为主, 随着能源的日趋紧张, 寻找烟叶烘烤能源替代途径已成为当前烤烟生产中亟待解决的问题^[3]

。农作物秸秆是地球上最丰

富的固体可再生资源之一, 也是唯一可运输与储存的清

洁能源^[4], 作为农业大国, 我国的生物质产量高居世界首位^[5]

, 但目前的利用途径多为就地焚烧, 不仅造成大量资源浪费, 而且带来诸多环境问题。

当前, 生物质颗粒燃料的成型技术已经趋于成熟, 近年来研究者们也开展了一定的研究, 但主要集中在生物质燃料的成型和制备技术等方面^[6-9]

。前人研究表明, 生物质压块燃料具有清洁环保、着火点低、升温快、可控性强、热效高、燃烧性好的特点, 在烟叶烘烤的各阶段, 都可以充分调控烘烤工艺条件

, 从而提高烤后烟叶质量^[10-11]

。我国烟草行业提出: 要发展可持续、社会友好型烟草农业, 因此, 利用生物质能源逐步替代煤炭成为解决烟叶烘烤环节能耗问题的有效途径。笔者采用高效生物质颗粒成型设备压制不同配方的生物质颗粒燃料, 通过比较分析不同配方生物质燃料物理特性和燃烧特性的相关指标, 以期筛选出符合烟叶烘烤工艺要求的生物质燃料配方, 为生物质燃料作为烟叶烘烤替代能源及其进一步的应用提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料试验于2015—2016年进行, 选用广东省韶关市始兴县木材加工厂提供的木屑、广东烟草韶关市有限公司始兴县公司马市烟站提供的烟秆和广东省韶关市烟叶复烤厂提供的烟梗作为生物质成型颗粒的原材料, 利用广东省韶关市海粤生物科技有限公司生产的HCK045A型高效生物质颗粒成型机压制不同配方的生物质颗粒燃料, 各取2kg样品带回华南农业大学进行燃烧特性相关指标的测定。

1.2 处理该试验设置9个生物质颗粒燃料配方, 同时以广东烟草韶关市有限公司始兴县公司马市烟站提供的优质无烟煤粉为对照(CK), 共10个处理(表1)。

表 1 生物质颗粒燃料配方

Table 1 The formulas of different biomass pellet fuels

处理 Treatment	配方 Formula	处理 Treatment	配方 Formula
①(CK)	100%煤粉	⑥	50%木屑+50%烟秆
②	100%木屑	⑦	50%烟梗+50%烟秆
③	100%烟梗	⑧	90%木屑+10%煤粉
④	100%烟秆	⑨	90%烟梗+10%煤粉
⑤	50%木屑+50%烟梗	⑩	90%烟秆+10%煤粉

1.3测定项目与方法

1.3.1生物组分的测定。参照GB/T2677.10—1995^[12]

的方法对生物质燃料中的木质素、纤维素和半纤维素等生物组分进行测定。

1.3.2工业分析及热值测定。该项目在华南农业大学工程学院农业机械化与产品加工机械实验室(热能工程分析室)进行。测定方法：参照国标GB/T212—2008煤样的工业分析方法[13]，使用长沙有欣仪器制造有限公司生产的YX—GY-FX7701全自动工业分析仪进行工业分析；参照国标

GB/T213—2003^[14]的要求，使用长沙有欣仪器制造有限公司生产的YX—ZR天鹰自动热量仪进行热值测定。

1.3.3煤灰成分及灰熔点测定。灰分的测定在华南农业大学测试中心进行。测定方法：根据国标GB/T21923—2008《固体生物质燃料检验通则》^[15]，并参照欧盟标准“DDCEN/TS15290：2006 Solid Biofuels-Determination of major elements”^[16]，采用HF—HClO₄

分解不同处理燃烧后的灰样，并用原子吸收法测定Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O₅

5项测定指标。SiO₂、Al₂O₃2项指标采用GB/T1574《煤灰成分分析》^[17]中的半微量分析法进行测定。

灰熔点的测定

在中国科学院广州能源研究所进

行。测定方法参照GB/T219—2008灰熔点测定的方法^[18]，使用ZRC2000智能灰熔点测定仪测定不同处理的灰熔点。

1.3.4物理特性的测定。参照GB/T217—2008煤的真相对密度测定方法^[19]进行。

1.3.4.1真相对密度。计算公式如下：

$$D=m/(V-V_0)$$

式中，D为生物质成型燃料的密度(g/cm³)

)；m为试样的质量(g)；V为加入试样后量筒水面读数(cm³)；V₀为加入试样前量筒水面读数(cm³)。

1.3.4.2抗碎强度。成型燃料跌落后残存的质量百分数(总质量与损失量的差值除以总质量)反映了其抗跌碎能力的大小。参考煤的抗碎强度测定方法(GB/T15459—1995)^[20]进行测定。

1.3.4.3抗渗水性。目前生物质成型燃料抗渗水性能的测试方法和评价指标还无统一的标准。该次试验参照目前常用的方法^[21]

，即将成型燃料样品置于27℃水面下25mm处，连续观察成型燃料的形态直至成型燃料完全剥落分解为止，以成型燃料在水中保持完整形态的时间作为评价成型燃料抗渗水性的技术指标，每个处理记录5次，取平均值。

1.3.5燃烧特性的测定。

1.3.5.1点火特性。用秒表记录自燃烧器启动至点火成功持续的时间。

1.3.5.2持续明火时间。用秒表记录燃料从开始燃烧到燃烧明火熄灭所持续的时间。

1.3.5.3燃尽时间。用秒表记录燃料从开始燃烧到燃料燃烧成灰烬所持续的时间。

1.3.5.4底灰结渣率测定及计算方法^[22]

。分别取不同处理的生物质成型燃料(20 ± 0.5)g, 在燃烧器内燃烧, 进料量、进风量等其他条件一致, 待燃烧器停止后, 冷却, 将底灰全部取出, 称质量记为 m_1

, 筛出灰渣中粒度大于6mm的渣块, 称质量记为 m_2

。计算方法: 粒度大于6mm的渣块占灰渣总质量的百分数, 即为该试样的底灰结渣率C, $C = m_2/m_1 \times 100\%$ 。

1.4数据分析采用Microsoft Excel 2003和SPSS 22.0进行数据处理、绘图和统计分析。

2结果与分析

2.1不同配方生物质燃料的结构组成分析生物质主要是由纤维素、半纤维素和木质素组成的高聚物, 单一生物质的热解或燃烧行为可以认为是这3种主要组分的综合表现^[23]。

生物质中纤维素含量越高, 挥发分的析出越多, 燃烧越剧烈; 木质素含量越高, 焦炭燃烧反应越剧烈; 半纤维素的燃烧以挥

发分燃烧为主, 其

含量越高, 越促进挥发分和焦炭的燃

烧, 但影响程度低于纤维素或木质素的影响^[24]

。对不同配方生物质颗粒燃料生物结构组成的分析(因CK处理为100%煤粉, 因此未进行此项分析)结果如表2所示, 处理②(100%木屑)的纤维素、木质素和半纤维素等生物组分含量最高, 其次是处理⑥(50%木屑+50%烟秆)和处理④(100%烟秆), 与其他各生物质配方处理相比均达到显著水平。

表 2 不同配方生物质燃料的结构组成

Table 2 The structure of different formula biomass fuels %

处理 Treatment	纤维素含量 Cellulose content	半纤维素含量 Hemicellulose content	木质素含量 Lignin content
① (CK)	—	—	—
②	44.69±0.85 f	26.16±1.25 de	20.77±1.36 f
③	22.28±0.20 b	23.18±0.65 cd	5.04±0.24 b
④	36.92±2.22 e	29.52±2.55 f	16.49±0.66 e
⑤	30.98±0.96 d	17.17±0.94 ab	9.29±0.76 c
⑥	42.41±0.86 f	27.45±1.69 e	19.86±0.57 f
⑦	28.41±0.98 cd	16.86±1.33 ab	10.38±0.65 cd
⑧	27.75±0.36 c	20.11±1.27 bc	14.47±0.59 e
⑨	14.62±0.15 a	15.34±0.40 a	2.84±0.21 a
⑩	23.67±0.99 b	21.43±0.89 c	11.73±0.65 d

注：表中同列数据后的不同字母表示在 0.05 水平差异显著，相同字母表示在 0.05 水平差异不显著

Note: Different letters after data in the same column represent 0.05 significant differences. The same letters represent 0.05 insignificant differences

2.2不同配方生物质燃料的工业分析及热值比较表3显示，不同配方生物质颗粒燃料的工业分析与CK(100%煤粉)相比存在较大的差异。从含水量来看，最低的是CK，仅为2.71%；最高的是处理⑤(50%木屑+50%烟梗)，达18.18%；含有烟梗的生物质配方(处理③、⑦、⑨)含水量明显高于其他处理。挥发分仍然以CK最低(10.94%)，含有木屑和烟秆配方的挥发分含量也较高，且所有含有生物质配方处理的挥发分都显著高于CK。灰分分析结果差异显著，CK处理显著高于所有的生物质配方处理，从各生物质配方处理间的比较来看，含有烟梗的配方(处理③、⑤、⑦、⑨)较高，而含有木屑和烟秆的处理较低，尤以处理②(100%木屑)最低。固定碳含量显示，CK处理(达46.47%)远远高于所有生物质配方处理，从生物质配方处理间的比较看，烟秆在3个生物质材料中固定碳含量是最高的，因此其他各配方只要有烟秆，固定碳含量就较高，而含有烟梗的配方则较低。

生物质燃料是由多种可燃质、不可燃的无机矿物质及水分组成的，生物质燃料挥发分产率通常高于固定碳产率，煤的挥发分与固定碳的产率之比通常小于1.0，而生物质通常大于4.0。由表3结果计算出处理①~⑨的挥发分与固定碳产率比依次为1：5.0、4.9：1、5.1：1、4.3：1、4.8：1、4.7：1、5.0：1、3.1：1、3.3：1、3.4：1。结果显示，生物质颗粒燃料的挥发分与固定碳的产率比较高，均在3：1以上，而CK处理仅为1：5。可见，与煤粉相比，生物质颗粒燃料的挥发分与固定碳产率比较高，因此燃烧更容易进行，反应更剧烈^[25]。

表3 不同配方生物质燃料的工业分析

Table 3 The industrial analysis of different formula biomass fuels

处理 Treatment	含水量 Moisture	挥发分 Violate matter	灰分 Ash	固定碳 Solid carbon
①(CK)	2.71±0.03 a	10.94±0.27 a	39.87±0.36 i	46.47±0.09 f
②	9.80±0.04 c	73.15±0.28 i	2.15±0.06 a	14.80±0.23 c
③	17.94±0.29 h	57.32±0.80 c	13.47±0.07 g	11.27±0.58 a
④	10.10±0.03 c	68.68±0.17 g	5.07±0.13 c	16.15±0.23 d
⑤	18.18±0.12 h	59.16±0.21 d	10.26±0.02 e	12.39±0.17 b
⑥	11.05±0.05 d	70.55±0.05 h	3.33±0.02 b	15.08±0.08 c
⑦	16.85±0.23 g	58.99±0.72 d	12.26±0.33 f	11.89±0.39 ab
⑧	11.84±0.04 e	61.18±0.20 e	7.01±0.02 d	19.98±0.17 e
⑨	16.23±0.29 f	52.09±0.18 b	15.87±0.14 h	15.80±0.04 cd
⑩	6.00±0.05 b	66.75±0.56 f	7.35±0.03 d	19.90±0.51 e

注：表中同列数据后的不同字母表示在 0.05 水平差异显著，相同字母表示在 0.05 水平差异不显著

Note: Different letters after data in the same column represent 0.05 significant differences. The same letters represent 0.05 insignificant differences

热值分析结果见表4，CK处理(100%煤粉)的热值最高，发热量达24.03MJ/kg，显著高于其他生物质配方处理。从各生物质配方之间的比较来看，由于烟梗的发热量最低，因此凡含有木屑和烟秆配方处理的发热量都要高于含有烟梗配方的处理，表明木屑和烟秆在燃烧过程中的热值要高于烟梗。

表 4 不同配方生物质燃料的热值比较

Table 4 Comparison of heat value of different formula biomass fuels

MJ/kg

处理 Treatment	发热量 Calorific value	高位发热量 High calorific value	低位发热量 Low calorific value
①(CK)	24.03±0.03 f	24.01±0.03 f	23.29±0.03 g
②	17.99±0.44 d	17.94±0.47 d	15.98±0.40 e
③	13.28±0.03 a	13.26±0.03 a	10.48±0.03 a
④	17.23±0.01 c	17.21±0.01 c	15.24±0.01 d
⑤	13.64±0.03 ab	13.62±0.03 ab	10.73±0.02 a
⑥	17.54±0.12 c	17.52±0.12 cd	15.33±0.11 d
⑦	13.52±0.02 ab	13.51±0.02 ab	10.85±0.02 ab
⑧	17.12±0.02 c	17.10±0.02 c	14.80±0.02 c
⑨	13.83±0.09 b	13.81±0.09 b	11.19±0.07 b
⑩	18.65±0.01 e	18.62±0.01 e	17.37±0.01 f

注：表中同列数据后的不同字母表示在 0.05 水平差异显著，相同字母表示在 0.05 水平差异不显著

Note: Different letters after data in the same column represent 0.05 significant differences. The same letters represent 0.05 insignificant differences

2.3不同配方生物质燃料的煤灰成分及灰熔点比较秸秆类生物质在生长过程中会吸收一定量的碱金属元素，这些元素以盐或氧化物等形式存在于生物质机体内，这些物质的熔点相对较低，大部分700~900℃。当秸秆类生物质固体成型燃料在锅炉内燃烧时，炉内温度远高于碱金属化合物的熔点，导致炉排上的秸秆灰在800~900℃时就开始发生软化，温度过高时灰分会全部或者部分发生熔化，形成玻璃状坚硬炉渣，难以清除；另外，烟气中夹带着熔化或半溶化的碱金属硅酸盐，在接触到锅炉内壁面时凝结，不断积聚，最终产生严重的积灰、结渣等问题^[26-28]，影响燃烧。

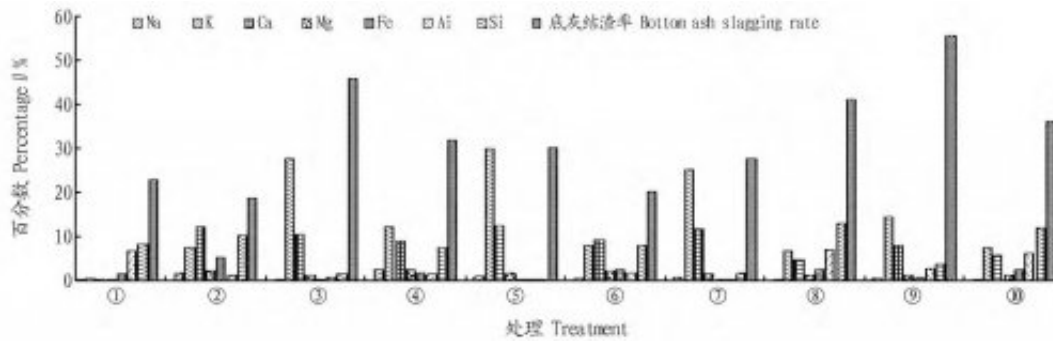


图1 不同处理底灰元素与结渣率

Fig.1 Chemical components and clinkering rate of bottom ash in different treatments

图1显示了不同处理燃料的底灰成分及其与结渣率的关系。从底灰成分来看，CK(100%煤粉)中Na、K、Ca、Mg的含量均低于生物质颗粒燃料，而Al和Si的含量则相对较高。比较各生物质配方燃料中的底灰成分发现，Na、Mg、Fe含量以烟秆和木屑配方的处理较高，而烟梗则较低，但含有烟梗配方的生物质燃料中K和Ca含量较高。底灰结渣率以处理⑨(10%煤+90%烟梗)最高，达50%以上；其次是处理③、⑧、⑩，而处理②(100%木屑)和处理⑥(50%木屑+50%烟秆)的底灰结渣率比CK低。

表5的灰熔融性分析结果表明，燃烧过程中，CK(100%煤粉)处理的变形温度、软化温度、半球温度和流动温度等均高于各生物质配方处理。各生物质配方处理之间的比较结果显示，加了10%煤粉的配方(处理⑧、⑨、⑩)灰熔点温度相对较高，较为接近CK处理，其他未添加煤粉的生物质配方中则以处理⑥(50%木屑+50%烟秆)较高，100%木屑和100%烟秆较低，其中，含有烟梗配方的处理(③、⑤、⑦)则未能观测到灰熔点温度，原因是在温度升到900℃之前，这3个处理的灰锥已经坍塌，因此无法读取数据。

罗娟等 [22]

研究表明，生物质燃料的灰熔融特性对其结渣率的影响较大，同时生物质燃料的结渣趋势与Si、碱金属和碱土金属含量有关。对大多数生物质燃料来说，软化温度越高，结渣率越低，Si和碱金属含量越大，越易于结渣，碱土金属含量越大，越抗结渣。结合图1和表5的结果分析发现，生物质颗粒燃料的底灰结渣率不仅与灰分中矿质元素含量有关，而且综合结果表明，处理⑥(50%木屑+50%烟秆)由于碱金属(Na、K)含量较低，而碱土金属(Ca、Mg)和Fe含量较高，同时其灰熔点温度较高，因此底灰结渣率较低。

表 5 不同配方生物质燃料的灰熔融性

Table 5 The ash fusibility of different formula biomass fuels °C

处理 Treatment	变形温度 Deformation temperature	软化温度 Softening temperature	半球温度 Hemisphere temperature	流动温度 Flowing temperature
①(CK)	1 370	1 390	1 410	1 440
②	1 110	1 130	1 140	1 180
③	<900	<900	<900	<900
④	1 040	1 070	1 090	1 120
⑤	<900	<900	<900	<900
⑥	1 160	1 200	1 230	1 260
⑦	<900	<900	<900	<900
⑧	1 320	1 350	1 360	1 370
⑨	1 260	1 280	1 290	1 300
⑩	1 280	1 310	1 320	1 330

注：处理③、⑤、⑦在温度升到 900 °C 之前灰锥已经坍塌，无法读出灰熔点温度

Note: Ash piles of treatments ③, ⑤, and ⑦ had collapsed before the temperature reached 900 °C. Their ash fusion temperatures could not be read

2.4不同配方生物质燃料的物理特性生物质颗粒燃料除燃烧特性外，其物理特性也是重要的检测指标，直接影响到生物质燃料的使用、

运输和贮存，其中松弛密度和耐久性就是

衡量物理品质特性的2个重要指标^[29-30]

。有人将耐久性又具体细化为抗变形性、抗跌碎性、抗滚碎性、抗渗水性和抗吸湿性等几项指标，通过不同的试验方法检验生物质燃料的黏结强度，并采用不同的指标来表示各项性能^[31]

。表6的试验结果表明，含水量为8%~16%的生物质原材料采用HCK045A型高效生物质颗粒成型机热压成型并放置一段时间后，各配方颗粒燃料的真相对密度、抗碎强度、平均粒长和抗渗水性显示出一定差异。生物质原料压块成型后的颗粒真相对密度以含有10%煤粉的处理(⑧、⑨、⑩)较大，其次是含有烟秆配方处理较大，含有木屑配方处理(②、⑤)的真相对密度明显较低。从抗碎强度来看，100%的生物质配方处理以烟梗最强、木屑最低，而不同生物质混合配方则以50%烟梗+50%烟秆最大，生物质与煤粉的混合配方中，仍然以煤粉+烟梗最高。成型颗粒长度显示为，处理③(100%烟秆)、⑦(50%烟梗+50%烟秆)、⑨(10%煤+90%烟梗)平均粒长较大，显著高于其他处理，100%木屑配方的平均粒长最小，说明木屑成型性稍差。吸水性会严重影响生物质颗粒燃料的贮存和运输，表6结果显示，以木屑为原材料的配方(处理②)抗渗水性最低，浸在水中仅3.82min即剥落分解，最高的则是处理⑩(10%煤+90%烟秆)，其次为处理⑨、⑦、⑥。总体来看，凡是含有木屑配方的生物质颗粒燃料抗渗水性都较低，含有烟秆和烟梗的配方则具有较高的抗渗水性。

表 6 不同配方生物质燃料的物理性状

Table 6 The physical properties of different formula biomass fuels

处理 Treat- ment	真相对密度 True relative density g/cm ³	抗碎强度 Crushing resistance// %	平均粒长 Average pellet length// cm	抗渗水性 Water resistance min
①(CK)	—	—	—	—
②	1.05±0.14 a	59.15±0.72 b	2.27±0.88 a	3.82±0.36 a
③	1.16±0.49 ab	73.73±0.12 d	3.87±0.12 cd	55.15±4.84 c
④	1.14±0.28 ab	65.27±0.62 c	4.13±0.17 de	32.24±4.49 c
⑤	1.04±0.25 a	73.80±0.54 d	3.57±0.12 bc	28.56±4.34 b
⑥	1.20±0.24 abc	64.60±0.85 c	3.93±0.15 cde	62.74±4.50 c
⑦	1.25±0.58 bc	88.16±0.29 f	4.07±0.23 cde	90.31±5.77 d
⑧	1.28±0.31 bc	59.27±0.54 b	3.17±0.26 b	50.46±9.71 c
⑨	1.36±0.19 c	81.41±0.55 e	4.47±0.15 e	122.45±7.26 e
⑩	1.37±0.11 c	42.04±0.76 a	3.13±0.23 b	138.65±6.09 e

注：表中同列数据后的不同字母表示在 0.05 水平差异显著，相同字母表示在 0.05 水平差异不显著

Note: Different letters after data in the same column represent 0.05 significant differences. The same letters represent 0.05 insignificant differences

2.
5不同配
方生物质燃料的
燃烧特性研究有研究表明，生物
质颗粒燃料挥发分越高、含水率越低，点火时间越短^[28]
。从表7可以看到，CK处理(100%煤粉)的点火时间和燃尽时间最长，均显著大于其他处理，生物质颗粒燃料的点火时间较混煤成型颗粒要短，但混煤成型颗粒的燃尽时间较长。处理⑥(50%木屑+50%烟秆)、⑤(50%木屑+50%烟梗)的点火时间最短，显著低于其他处理，说明木屑较其他生物质更容易点火，而混有煤粉配方的处理(⑧、⑨、⑩)点火时间较长。

CK处理(100%煤粉)的明火持续时间最短，显著低于各生物质配方处理，而生物质配方中以处理⑥的明火持续时间最长，其次是处理③，而含有烟梗的生物质颗粒燃料(处理③和⑤)明火持续时间较短。从整体燃烧持续时间来看，CK(100%煤粉)的燃尽时间最长，但由于其挥发分含量较低其点火时间也最长，其他生物质配方则以处理②、⑧、⑩、④的燃尽时间较长，显著高于其他处理，而处理③(100%烟梗)和处理⑤(50%木屑+50%烟梗)的燃尽时间较短，表明烟梗的081安徽农业科学2018年燃烧持续性较低。

表 7 不同配方生物质燃料的燃烧特性

Table 7 The combustion characteristics of different formula biomass fuels

处理 Treatment	点火时间 Ignition time s	持续明火时间 Flaming duration min	燃尽时间 Burnout time min
①(CK)	954.67±5.78 f	244.33±11.92 a	134.11±7.23 f
②	477.34±6.94 bc	418.36±6.93 fg	87.33±4.33 de
③	452.36±8.98 b	286.67±6.94 b	51.67±2.03 a
④	497.68±7.27 cd	386.34±3.84 ef	88.11±4.04 e
⑤	421.67±10.17 a	270.23±11.55 ab	54.57±2.03 ab
⑥	411.12±7.00 a	441.27±14.72 g	71.79±2.07 cd
⑦	459.23±7.22 b	349.43±10.97 cd	68.35±1.73 bc
⑧	557.73±10.11 e	365.57±13.57 de	93.78±1.53 e
⑨	513.54±9.45 d	328.46±10.39 c	77.67±3.18 cde
⑩	524.37±5.78 d	386.67±4.91 ef	87.35±1.45 de

注：表中同列数据后的不同字母表示在 0.05 水平差异显著，相同字母表示在 0.05 水平差异不显著

Note: Different letters after data in the same column represent 0.05 significant differences. The same letters represent 0.05 insignificant differences

3结论与讨论

近年来，可再生能源因其可再生性、取之不尽等特点成为社会各界关注的焦点，并被广泛应用于各项耗能产业。因此，深入探讨可再生能源在我国烟叶烘烤中的发展现状及应用前景，不仅有利于降低烤烟生产成本，缓解能源危机，而且有利于我国烤烟生产的可持续发展^[32]

。该试验研究表明，生物质颗粒燃料除具有优良的物理特性，还具备挥发分含量高、点火时间短、持续明火时间长、结渣率低等燃烧特性，这与王汉文等^[11]

的研究结果基本一致。此外，前人已采用生物质气化发生装置将各类农作物秸秆、废弃烟杆、烟梗通过燃气发生炉进行控氧燃烧使其热解出由一氧化碳、氢气、甲烷等组成的可燃气体，经管网送往各烤房实现自动控制烘烤烟叶，通过试验得出生物质能源烟叶烘烤系统与传统烟叶烘烤系统从操作、烘烤工艺控制、烟叶品质、干烟成本和节能减排等方面均较优越^[3]。谭方利等^[10]

也曾对生物质压块燃料与煤炭进行对比研究，得出生物质压块用于烟叶烘烤可以充分调控烟叶烘烤工艺，能降低烟叶烘烤成本，节能减耗，提高烟叶质量。该试验旨在筛选出适合烟叶烘烤的最佳生物质燃料配方，为生物质燃料在烟叶烘烤上的应用提供理论依据，以期达到替代煤炭、节能环保、降本减工的目的。同时该试验得出以下结论：木屑和烟秆配方的生物质颗粒燃料的纤维素、木质素等生物组分含量较高，以此为原料制成的生物质颗粒燃料挥发分高，热值也较高，同时由于含水量和灰分较低，因此燃烧时点火时间短但燃烧持续时间却较长，尤以50%木屑+50%烟秆处理较优。

燃料的灰熔融性与结渣率相关，软化温度越高、结渣率越低。与煤相比，生物质颗粒燃料的软化温度较低，但从各生物质材料之间的比较来看，以50%木屑+50%烟秆混合制成的颗粒燃料软化温度较为接近煤，因此结渣率与煤相差不大，但大大低于其他生物质配方。从底灰元素来看，Al和K的含量对生物质燃料结渣率有较大的影响，此2种元素含量越高，生物质燃料结渣越严重。

制粒长度、抗碎强度、抗渗水性等物理特性对生物质燃料的贮藏和运输有重要影响，以烟秆和烟梗为原料制成的生物质颗粒燃料相对密度较大，平均粒长较长，抗碎强度和抗渗水性均较高。

从热值、燃烧性能是否符合烟叶烘烤工艺要求，并结合贮藏和运输环节综合考虑，该试验认为50%木屑+50%烟秆是较为理想的可替代煤炭的生物质燃料配方，虽然混合10%煤粉能一定程度上增加热值，但在制粒过程加入煤粉对生物质成型设备的机械磨损较大，不利于设备的养护，且在混合过程中需要增加人力，也不利于生产成本的降低。

参考文献

- [1] 张无敌, 宋洪川, 韦小岗, 等. 21 世纪发展生物质能前景广阔 [J]. 中国能源, 2001 (5): 35-38.
- [2] 曾宪立, 王朴风, 樊军辉, 等. 联合干燥模式在烟叶烘烤中的应用探讨 [J]. 河北农业科学, 2010, 14 (12): 78-81.
- [3] 飞鸿, 蔡正达, 胡坚, 等. 利用生物质烘烤烟叶的研究 [J]. 当代化工, 2011, 40 (6): 565-567, 592.
- [4] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等. 生物质能利用原理与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 51-56.
- [5] 王文杰, 李峰, 岳秀江, 等. 生物质压块及燃烧炉在烟叶烘烤中的应用效果研究 [J]. 现代农业科技, 2013 (11): 11, 13.
- [6] 潘兰英. 煤泥和农作物秸秆加工生物质型煤的试验研究 [J]. 中国煤炭, 2009, 35 (1): 61-63.
- [7] 矫振伟, 苏俊林, 黄海珍. 秸秆在型煤中的优化配比及使用 [J]. 农机化研究, 2008 (9): 142-144.
- [8] 陈震, 李伟, 高翔. 生物质型煤的制备与研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2006 (3): 33-36.
- [9] 邢淦琛, 邵和义, 刘云. 秸秆“型煤”制备技术研究 [J]. 安徽科技, 2010 (5): 24-25.
- [10] 谭方利, 樊士军, 董艳辉, 等. 生物质压块燃料及煤炭燃料在烟叶烘烤中的应用效果对比研究 [J]. 现代农业科技, 2014 (10): 201, 209.
- [11] 王汉文, 郭文生, 王家俊, 等. “秸秆压块”燃料在烟叶烘烤上的应用研究 [J]. 中国烟草学报, 2006, 12 (2): 43-46.
- [12] 中国制浆造纸工业研究所. 造纸原料综纤维素含量的测定: GB/T 2677.10—1995 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [13] 煤炭科学研究总院煤炭分析实验室, 云南煤田地勘公司队. 煤的工业分析方法: GB/T 212—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 煤炭科学研究总院煤炭分析实验室. 煤的发热量测定方法: GB/T 213—2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [15] 煤炭科学研究总院煤炭分析实验室. 固体生物质燃料检验通则: GB/T 21923—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] GB-BSI. Solid biofuels—Determination of major elements: DD CEN/TS-15290—2006 [S]. GB-BSI, 2006.
- [17] 煤炭科学研究总院煤炭分析实验室. 煤灰成分分析方法: GB/T 1574—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [18] 煤炭科学研究总院煤炭分析实验室. 煤灰熔融性的测定方法: GB/T 219—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] 煤炭科学研究总院煤炭分析实验室. 煤的真相对密度测定方法: GB/T 217—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [20] 煤炭科学院总院北京煤化学研究所. 煤的抗碎强度测定方法: GB/T 15459—1995 [S]. 北京: 中国质检出版社, 1995.
- [21] 盛奎川, 吴杰. 生物质成型燃料的物理品质和成型机理的研究进展 [J]. 农业工程学报, 2004, 20 (2): 242-245.
- [22] 罗娟, 侯书林, 赵立欣, 等. 典型生物质颗粒燃料燃烧特性试验 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (5): 220-226.
- [23] 王泉斌, 姚洪, 戴立, 等. 纤维素、木质素对生物质与煤混烧特性的影响 [J]. 工程热物理学报, 2007, 28 (S2): 205-208.
- [24] 黄莹. 生物组分对生物质与煤混燃特性及污染排放特性的影响 [D]. 沈阳: 沈阳航空工业学院, 2010.
- [25] 方向. 典型生物质燃烧特性研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [26] 马孝琴, 骆仲决, 方梦祥, 等. 添加剂对秸秆燃烧过程中碱金属行为的影响 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2006, 40 (4): 599-604.

- [27] 阎维平, 陈吟颖. TK6 生物质燃料结渣特性分析与判别 [J]. 华北电力大学学报, 2007, 34(1): 49-54.
- [28] 袁艳文, 林聪, 赵立欣, 等. 生物质固体成型燃料抗结渣研究进展 [J]. 可再生能源, 2009, 27(5): 48-51.
- [29] O'DOHERTY M J. A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities [J]. J Agric Engng Res, 1989, 44(4): 241-265.
- [30] LINDLEY J A, VOSSOUGH M. Physical properties of biomass briquets [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(2): 361-366.
- [31] HUSAIN Z, ZAINAC Z, ABDULLAH Z. Briquetting of palm fibre and shell from the processing of palm nuts to palm oil [J]. Biomass and bioenergy, 2002, 22(6): 505-509.
- [32] 张骏, 杨征宇. 可再生能源在烟草调制中的应用研究 [J]. 江西农业学报, 2012, 24(1): 50-52.

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/155101.html>