

Pellet Fuel Performance of Several Tree Species in a Secondary Forest in Changbai Mountain

Qichang Zhang¹, Yanchun Liu²

¹ Forestry College of Beihua University, Jilin City, P.R. China, 132013

Email: zqc1212@sina.com

Abstract: Characteristics of pellet fuels from several tree species in a secondary forest in Changbai Mountain were investigated and analyzed in this study. Results showed that the highest ash content was 11.90% for corn straw, and the lowest is 0.37% for *Abies holophylla*, of the seven pellet fuels of interest. It was also found *Populus simonii* had the largest ash-free calorific value (20896.05J), followed by the mixture of *Tilia amurensis*, *Tilia mandshurica*, and *Betula platyphylla* (20885.15J), all larger than that of straw pellet. Ash-free calorific value for peeled *Betula platyphylla* was larger than that for the unpeeled, and the same result was found in axial load, radial load and oozing rate. The largest axial load is 0.2355kn for mixed wood, presenting the largest axial counter-pressure, and the second largest is 0.2149kn for peeled *Abies holophylla*. The radial load is 0.6402kn and 0.6242kn for peeled *Betula platyphylla* and mixed wood, respectively, demonstrating the largest and the second largest radial counter-pressure. Weight loss rate is 0.1316% and 0.1438%, respectively for *Populus simonii* and mixed wood, lower than other four types of pellet. Mixture of *Tilia amurensis*, *Tilia mandshurica*, and *Betula platyphylla* measured the highest oozing rate, about 10.235%, and it is 10.233% for peeled *Betula platyphylla*. Six types of wood pellet were all deformed after 20 hours in waterborne impermeability experiment except mixed wood, which still remained granular. Different pellet fuels were significantly different in ash-free calorific value, axial load, and rate of impermeability ($p<0.05$).

Keywords: pellet fuel; ash contents; gross calorific values; transportation and storing characteristics; axial load

长白山次生林几种树木颗粒燃料的特性分析

张启昌, 刘延春

¹ 北华大学林学院, 吉林市, 中国, 132013

Email: zqc1212@sina.com

摘要: 对长白山次生林几种树木颗粒燃料的性能指标进行了测定分析。结果表明,7种颗粒燃料以玉米秸秆颗粒的灰分质量分数最大(11.90%),沙松去皮颗粒的灰分质量分数最低(0.37%);杨木颗粒的去灰分热值最大(20896.05J/g),其次是椴桦混颗粒(20885.15J/g),白桦去皮颗粒的去灰分热值大于白桦未去皮颗粒,木质颗粒大于秸秆颗粒。木质颗粒燃料以杂木颗粒燃料的轴向抗压性最强,其轴向载荷值为0.2355kN,其次为沙松去皮颗粒,其轴向载荷值为0.2149kN,白桦未去皮颗粒要强于去皮颗粒;白桦未去皮颗粒燃料的径向抗压性最强,其径向载荷值为0.6402kN,其次为杂木颗粒,其径向载荷值为0.6242kN,白桦未去皮颗粒要强于去皮颗粒。从抗压性角度分析宜选用杂木颗粒。杨木颗粒和杂木颗粒的质量损失率相对于其他4种颗粒较低,分别为0.1316%和0.1438%。椴桦混颗粒燃料的渗水率最大(10.235%),其次为白桦去皮颗粒(10.233%),白桦未去皮颗粒的渗水性要强于去皮颗粒。通过不同时间抗渗水性能测试,20h后,6种木质颗粒都呈完全剥落状,但杂木颗粒状态要稍好一些,外型仍呈颗粒状。不同颗粒燃料的去灰分热值、轴向载荷和抗渗水率具有显著差异($p<0.05$)。

关键词: 颗粒燃料; 灰分; 干质量热值; 储运性能; 轴向载荷

1 引言

吉林省重大科技发展计划项目(吉科合字20075012)。

生物质主要是指可再生或循环的有机物质,包括农作物、树木和其他植物及其残体^[1];也有从资源的

高效利用和循环经济考虑,提出生物质是非食物用木质纤维素类物质^[2]。生物质资源种类繁多,主要包括农业废弃物及农林产品加工业废弃物、薪柴、人畜粪便、城镇生活垃圾等几个方面^[3]。2004年,全球可再生能源利用总量一半以上为生物质能,占一次能源总量的9.2%^[4]。据估计,地球上植物每年通过光合作用固定的碳达 2.0×10^{11} t,含能量达 3.0×10^{15} MJ,可开发的能源约相当于全世界每年耗能量的10倍^[5]。生物质固化成型技术是将各类生物质原料(主要是农作物秸秆、农产品加工废弃物、林木加工废弃物等)经粉碎、干燥、高压成型等环节,使原来分散的、没有一定形状的原料压缩成具有一定几何形状的密度较大的成型燃料^[6],是目前国内外利用生物质能比较普遍且效果显著的技术之一^[7]。与普通薪材燃料相比,生物质固化成型燃料具有密度高、强度大,便于运输和装卸,形状和性质均一,燃烧性能好、热值高、适应性强、燃料操作控制方便等优点^[8],可用做锅炉和煤气发生炉的燃料,或用于工业、家庭和农业园林暖房的取暖^[9]。对生物质资源丰富,贫油、贫煤的国家来说,生物质固化成型燃料将成为一种极具竞争力、发展前景非常可观的替代能源^[10]。木质颗粒燃料的耐久性直接影响着颗粒燃料的储存及运输,是能否实现规模化应用的重要指标。耐久性主要包括抗压性、抗渗水性、抗跌碎性等方面^[11]。为此,文中主要研究了颗粒燃料的抗压性、抗渗水性、抗跌碎性等对储运特性的影响,旨在为颗粒燃料的规模化生产和应用提供理论依据,对木质颗粒燃料技术的产业化发展提供指导。

2 试验材料与研究方法

在吉林省辉南县林业局红旗林场次生林内采集白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、沙松(*Abies holophylla* Maxim.)、大青杨(*Populus ussuriensis*)、紫椴(*Tilia amurensis* Rupr.)、杂木枝丫,利用从国外引进的环模技术在吉林省辉南县建立的国内首家木质生物质颗粒燃料生产线,经削片、粉碎、烘干和制粒,最终制成颗粒燃料以供试验,并以玉米秸秆颗粒作为对照。

颗粒燃料去灰分热值的测定:根据中华人民共和国林业行业标准LY/T 1268—1999《森林植物与森林枯枝落叶层粗灰分的测定》,采用干灰化法进行灰分质量分数的测定。采用量热法测定干质量热值,计算机程序控制。苯甲酸标定量热系统,人工充氧、放气,系统自动测定干质量热值(每样品重复测定5次,取平均

值)。根据试样干质量热值和灰分质量分数,计算试样去灰分热值^[12]。去灰分热值=干质量热值/(1-灰分质量分数)。

颗粒燃料的耐久性测定:抗压性——取1cm左右的颗粒燃料置于万能材料试验机平台上,分别测定样品在轴向和径向受压下变形破裂的最大压力,每种颗粒燃料轴向载荷和径向载荷各测量10次,取平均值。载荷值能反映成型块的抗变形性。抗跌碎性——测量时,将预先称好的质量为 G_1 的颗粒燃料从1m高处垂直落至水泥地面,重复5次,再称量剩余块的质量 G_2 ,计算质量损失率。每种颗粒燃料测量10次,取平均值。质量损失率大于10%的颗粒燃料不适宜反复搬运及长途运输。质量损失率=(G_1-G_2)/ $G_1 \times 100\%$ 。抗渗水性——抗渗水性实验1,取1cm左右的颗粒燃料在室温条件下称量其干质量 m_1 ,之后将其浸没于水中10s,取出后用吸水纸将表面覆水吸干,称量其湿质量 m_2 ,计算渗水率。每种颗粒燃料测量10次,取平均值。渗水率大于1%的颗粒燃料不适宜长期储藏^[13]。渗水率=(m_1-m_2)/ $m_1 \times 100\%$ 。抗渗水性实验2,每种颗粒燃料分别取1个放入装有50mL蒸馏水的烧杯中,每隔10s、20s、1min、2min、5min、10min、30min、1h、2h、5h、10h、20h和40h后照相,记录样品在水中剥落分解的状态,以此表示抗渗水性能。

3 结果与分析

3.1 颗粒燃料的热值

由表1可知,7种颗粒燃料的干质量热值为16811~20770 J·g⁻¹,从高到低依次为沙松去皮颗粒、椴桦混颗粒、杨木颗粒、白桦去皮颗粒、白桦未去皮颗粒、杂木颗粒和玉米秸秆颗粒,不同颗粒燃料的干质量热值存在显著差异($n=20, p<0.05$),但杂木颗粒与白桦未去皮颗粒、椴桦混颗粒与杨木颗粒差异不显著;7种颗粒燃料的灰分质量分数为0.37%~11.90%,从高到低依次为玉米秸秆颗粒、杂木颗粒、杨木颗粒、椴桦混颗粒、白桦去皮颗粒、白桦未去皮颗粒和沙松去皮颗粒,不同颗粒燃料的灰分质量分数存在显著差异($n=20, p<0.05$),白桦去皮颗粒与白桦未去皮颗粒差异不显著;7种颗粒燃料的去灰分热值为19080.56~20896.05 J·g⁻¹,从高到低依次为杨木颗粒、椴桦混颗粒、沙松去皮颗粒、白桦去皮颗粒、杂木颗粒、白桦未去皮颗粒和玉米秸秆颗粒,不同颗粒燃料的去灰分热值存在显著差异($n=20, p<0.05$),

但沙松去皮颗粒、椴桦混颗粒和杨木颗粒三者差异不显著。

Table 1. Caloric value and ash content of pellet fuel**表 1. 颗粒燃料的热值与灰分含量**

颗粒类型	干质量热值 /J·g ⁻¹	灰分质量分数 /%	去灰分热值/J·g ⁻¹
杂木颗粒	19965± 23. 84b	2. 01± 0. 02e	20374. 53±22. 75c
沙松去皮 颗粒	20770± 18. 33e	0. 37± 0. 01a	20847. 13±18. 31e
白桦未去 皮颗粒	20064± 25. 06b	0. 92± 0. 01b	20250. 30±24. 76b
白桦去皮 颗粒	20376± 11. 41c	1. 04± 0. 01b	20590. 14±13. 39d
椴桦混颗 粒	20589± 8. 41d	1. 42± 0. 01c	20885. 15±8. 47e
杨木颗粒	20545± 11. 37d	1. 68± 0. 01d	20896. 05±9. 71e
玉米秸秆 颗粒	16811± 20. 22a	11. 90± 0. 11f	19080. 56±29. 26a

注: 数据为 20 个样本的平均值; 不同字母代表颗粒类型间的显著差异 ($p<0.05$) , 相同字母代表颗粒类型间的差异不显著 ($p>0.05$) 。

干质量热值受植物器官、生活型、生活区域以及在群落中所处的层次共同作用, 分析造成热值差异的原因如果只考虑某一方面, 或是分割开来研究都不能很好的说明问题^[14]。灰分质量分数对颗粒燃料的干质量热值有重要影响。与植物的干质量热值相比, 去灰分热值更能客观地反映植物所含能量的真实情况^[15]; 因此, 在研究颗粒燃料热值时, 对干质量热值和去灰分热值进行综合分析才能更加客观、全面地反映颗粒燃料的含能情况。

3.2 颗粒燃料的储运性能

颗粒燃料的耐久性直接影响着颗粒燃料的储存及运输, 是能否实现规模化应用的重要指标。耐久性主要包括抗压性、抗渗水性、抗跌碎性等方面。

3.2.1 抗压性

测定颗粒燃料样品的轴向和径向在连续加载受压下变形破裂的最大压力, 该失效载荷值(即最大压力)能反映成型块的抗压能力, 用成型块的承载能力(能承受的最大载荷)作为抗压性的临界值, 即载荷小于此值时, 成型块的抗压性满足要求。测定结果见表 2。

Table 2. Compressive strength in pellet fuel
表 2. 颗粒燃料的抗压性

颗粒类型	轴向载荷/kN	径向载荷/kN
杂木颗粒	0. 2355±0. 0247 a	0. 6242±0. 0847 a

沙松去皮颗粒	0. 2149±0. 0155 a	0. 5370±0. 0889 a
杨木颗粒	0. 2095±0. 0224 a	0. 4113±0. 0601 a
白桦未去皮颗粒	0. 1753±0. 0209 ab	0. 6402±0. 1190 a
白桦去皮颗粒	0. 1430±0. 0209 bc	0. 5393±0. 0909 a
椴桦混颗粒	0. 1158±0. 0135 c	0. 4804±0. 0629 a

注: 数据为 20 个样本的平均值; 不同字母代表颗粒类型间的显著差异 ($p<0.05$), 相同字母代表颗粒类型间的差异不显著 ($p>0.05$) 。

通过实验发现, 当轴向和径向压力达到一定时, 颗粒会不同程度的出现裂缝、掉渣和掉块现象。具体情况见表 3。

Table 3. Axial and radial load-carrying capacity in pellet fuel
表 3. 颗粒燃料轴向和径向承载能力

颗粒类型	裂纹时压力 /kN		掉渣时压力/kN		掉块时压力 /kN	
	轴向	径向	轴向	径向	轴向	径向
杂木颗粒	0. 16 0 0. 13	0. 22 4 0. 20	0. 210 0. 140	0. 294 0. 228	0. 25 3 0. 22	未掉 块 0. 23
沙松去皮颗粒	2 0. 17	1 0. 21	0. 178	0. 283	0. 38 4 0. 38	0. 64 9 0. 64
杨木颗粒	0 0. 06	7 0. 27	0. 190	0. 308	9 0. 21	2 0. 45
白桦未去皮颗粒	1 0. 05	3 0. 21	0. 190 0. 110	0. 308 0. 227	5 0. 24	4 0. 65
白桦去皮颗粒	6 0. 08	7 0. 23	0. 110 0. 092	0. 227 0. 323	1 0. 13	7 0. 69
椴桦混颗粒	0 0	7 7			2 2	7

从表 2 和表 3 可以看出, 不同颗粒的轴向载荷有显著差异($n=20, p<0.05$), 说明不同颗粒间的轴向载荷差异性很大。杂木颗粒与白桦去皮颗粒和椴桦混颗粒差异均显著。这六种颗粒燃料以杂木颗粒燃料的轴向抗压性最强, 其次为沙松去皮颗粒, 白桦未去皮颗粒要强于去皮颗粒, 按轴向载荷的强弱排列, 具体情况如下: 杂木颗粒>沙松去皮颗粒>杨木颗粒>白桦未去皮颗粒>白桦去皮颗粒>椴桦混颗粒。不同颗粒对径向载荷的影响不显著($n=20, p>0.05$), 说明不同颗粒间的径向载荷差异性不大。按径向载荷的强弱排列, 具体情况如下: 白桦未去皮颗粒>杂木颗粒>白桦去皮颗粒>沙松去皮颗粒>椴桦混颗粒>杨木颗粒。综上所述, 结合以上两个方向压力统计分析的结果, 从抗压性角度分析选用杂木颗粒比较适合。

3.2.2 抗跌碎性

成型燃料的抗跌碎性是使其运输、贮存过程中不至于破损而保持原有形态的一个重要指标, 运输或移动过程中颗粒燃料因跌落会损失一定的质量, 损失质量的多

少反映了颗粒燃料的抗跌碎能力大小,以质量损失率表示,它是损失颗粒燃料的质量与原颗粒燃料的纸量的百分比,质量损失率越大抗跌碎性越差(表4)。

Table 4. Shatter resistance of pellet fuel
表4 颗粒的抗跌碎性

颗粒类型	密度 /g · cm ⁻³	质量损失率/%	备注
杂木颗粒	1.231	0.1438± 0.0641	只有微小部分破 碎
沙松去皮颗 粒	1.300	0.2304± 0.0739	基本保持完好状 态
白桦未去皮 颗粒	1.218	0.2931± 0.0592	有部分破碎
白桦去皮颗 粒	1.244	0.2714± 0.0341	有部分破碎
椴桦混颗粒	1.214	0.2581± 0.0279	基本保持完好状 态
杨木颗粒	1.200	0.1316± 0.0401	只有微小部分破 碎

对6种颗粒燃料的质量损失率进行方差分析(表5),结果表明不同颗粒对质量损失率的影响不显著

($F=1.672$, 显著性概率 $p=0.1570>0.05$),说明不同颗粒间的质量损失率差异性不大。由表3可以看出,杨木颗粒和杂木颗粒的质量损失率都较低,分别为0.1316%和0.1438%,可见其抗破碎性能都非常好,满足运输、贮存等是完全没有问题的。

Table 5. Analysis of variance on weight loss rate in pellet fuel
表5 颗粒燃料质量损失率方差分析结果

变异来源	平方 和	自由 度	均方	F值	显著性概率 <i>p</i>
组间	0.231 6	5	0.0463	1.6724	0.1570
组内	1.495 4	54	0.0277		
总变异	1.727 0	59			

3.2.3 抗渗水性

吸收水量的多少反映了颗粒燃料的抗渗水能力大小,以渗水率表示,它是颗粒燃料的吸水质量与原颗粒燃料的质量的百分比,渗水率越大抗渗水性越差(表6)。

Table 6. Resistance to water in pellet fuel
表6 颗粒的抗渗水性

颗粒类型	渗水率/%	密度/g·cm ⁻³
椴桦混颗粒	10.235±1.320 a	1.177
白桦去皮颗粒	10.233±0.327 a	1.188
白桦未去皮颗粒	7.150±1.030 b	1.222
杂木颗粒	5.470±0.440 bc	1.182
杨木颗粒	4.950±0.126 bc	1.234
沙松去皮颗粒	3.270±0.115 c	1.300

由表5可知,不同颗粒渗水率的差异达显著水平($n=20, p<0.05$),说明不同颗粒间的渗水率差异性很大。白桦去皮颗粒、椴桦混颗粒的渗水率与白桦未去皮颗粒的渗水率差异显著,而与沙松去皮颗粒、杨木颗粒和杂木颗粒的渗水率差异均极显著;白桦未去皮颗粒的渗水率与沙松去皮颗粒的渗水率差异极显著,而与杂木颗粒和杨木颗粒的渗水率差异显著。这6种颗粒燃料以椴桦混颗粒燃料的渗水率最大,(10.235%),其次为白桦去皮颗粒(10.233%),白桦未去皮颗粒的渗水性要强于去皮颗粒,渗水性的强弱呈现出沙松去皮颗粒>杨木颗粒>杂木颗粒>白桦未去皮颗粒>白桦去皮颗粒>椴桦混颗粒。

为了进一步比较这6种颗粒的抗渗水性能,将6种颗粒燃料分别取1个放入装有50mL蒸馏水的烧杯中,每隔10s、20s、1min、2min、5min、10min、30min、1h、2h、5h、10h、20h和40h后照相,记录样品在水中剥落分解的状态,以此表示抗渗水性能。通过照片观察具有代表性的几个时间是1min、5min、30min、1h、20h。分别将这6种颗粒燃料在这几个时间的照片进行对比。1min时,沙松去皮颗粒、杂木颗粒和杨木颗粒基本保持完好,有少量气泡冒出;椴桦混颗粒出现开裂状;白桦去皮颗粒和白桦未去皮颗粒呈松散状。5min时,沙松去皮颗粒和杂木颗粒仍基本保持完好;杨木颗粒呈破裂松散状;椴桦混颗粒已完全裂开,一分为二;白桦去皮颗粒和白桦未去皮颗粒呈松散状。30min时,杂木颗粒和沙松去皮颗粒呈弱松散状;杨木颗粒和椴桦混颗粒呈松散状;白桦未去皮颗粒和白桦去皮颗粒已呈皮状剥落。1h后,各颗粒与30分min时的状态基本一致。20h后,6种颗粒基本都呈完全剥落状,但杂木颗粒状态要稍好一些,仍呈颗粒外型。

4 结论

7种颗粒燃料以玉米秸秆颗粒的灰分质量分数最大(11.90%),其次是杂木颗粒(2.01%),沙松去皮颗粒的灰分质量分数最低(0.37%);干热值以沙松去皮颗粒最大(20770J/g),其次是椴桦混颗粒(20589J/g),玉米秸秆颗粒的干质量热值最低为(16811J/g),白桦去皮颗粒的干质量热值大于白桦未去皮颗粒,木质颗粒干质量热值大于秸秆颗粒;去灰分热值以杨木颗粒最大(20896.50J/g),其次是椴桦混颗粒(20885.15J/g),玉米秸秆颗粒的去灰分热值最低(19080.56J/g),白桦去皮颗粒的去灰分热值大于白桦

未去皮颗粒，木质颗粒去灰分热值大于秸秆颗粒。

木质颗粒燃料中以杂木颗粒燃料的轴向抗压性最强，其轴向载荷值为 0.2355kN，其次为沙松去皮颗粒，其轴向载荷值为 0.2149kN，白桦未去皮颗粒要强于去皮颗粒；以白桦未去皮颗粒燃料的径向抗压性最强，其径向载荷值为 0.6402kN，其次为杂木颗粒，其径向载荷值为 0.6242kN，白桦未去皮颗粒要强于去皮颗粒。从抗压性角度分析选用杂木颗粒比较适合。与其他 4 种颗粒相比，杨木颗粒和杂木颗粒的质量损失率较低，分别为 0.1316% 和 0.1438%，说明其抗破碎性能都非常好，可以满足运输和贮存。木质颗粒燃料以椴桦混颗粒燃料的渗水率最大（10.2350%），其次为白桦去皮颗粒（10.2330%），白桦未去皮颗粒的渗水性要强于去皮颗粒。通过不同时间抗渗水性能测试，20h 后，6 种颗粒基本都呈完全剥落状，但杂木颗粒状态要稍好一些，仍呈颗粒外型。杂木较其他颗粒适合储运条件。无论从热值和灰分质量分数方面分析，还是从储运性能和成本角度考虑，杂木颗粒都应为最佳选择。本研究中发现 6 种木质颗粒燃料的径向压力无显著差异 ($p>0.05$)，质量损失率也没有显著差异 ($p>0.05$)，此结论对以后颗粒燃料储运性能研究有一定参考作用。

References (参考文献)

- [1] Biomass Research and Development Technical Advisory Committee. Recommendations to the U.S. Department of Energy and the U.S.[R]. New York: Department of Agriculture, 2001.
- [2] Mielenz J R. Ethanol production from biomass: technology and commercialization status[J]. Current Opinion in Microbiology, 2001, 4(3): P324-329.
- [3] Chen Yihua, Li Zihong, Shen Tong. The Actuality and Development Measure in Using Biomass Energy in China. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(1): P25-28(Ch). 陈益华, 李志红, 沈彤. 我国生物质能利用的现状及发展对策[J]. 农机化研究, 2006(1): P25-28.
- [4] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2005 Global Status Report. Washington, D.C. [R]. New York: Worldwatch Institute, 2005.
- [5] Zhu Shiqing, Yan Lifeng, Guo Qingxiang. Biomass Clean Energy[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002(Ch).
- [6] Qiu Liu. Reviews on Biomass Solid Product. Energy Technology, 1998(3): P57-61(Ch). 邱凌. 生物质致密成型研究进展[J]. 能源技术, 1998(3): P57-61.
- [7] Huang Baosheng. Development and Prospects of Plant Biomass Energy in China. Solar, 2003(1): P30-32(Ch). 黄宝圣. 我国植物生物质能源发展展望[J]. 太阳能, 2003(1): P30-32.
- [8] Ma Xiaoqin. Actuality and evaluation of Biomass Solidifying Fuel Technology. Saving and Comprehensible Usage of Resources, 1998(3): P39-42(Ch).
- [9] 马孝琴. 生物质压缩成型技术的研究现状及评价[J]. 资源节约与综合利用, 1998(3): P39-42.
- [10] Sheng Kuichuan, Jiang Chengqiu. A review on the study of Biomass Solidifying Fuel Technology. Energy Engineering, 1996(3): P8-11(Ch). 盛奎川, 蒋成球. 生物质压缩成型燃料技术研究综述[J]. 能源工程, 1996 (3) : P8-11.
- [11] Liu Junhong, Wang Gehua, Zhang Bailiang. Industrialization of Straw Densification of Biomass Solidifying Fuel. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22 (S1): P138-141(Ch). 刘俊红, 王革华, 张百良. 生物质成型燃料产业化的理性思考[J]. 农业工程学报, 2006, 22 (S1): P138-141.
- [12] Hui Caijuan, Yu Guosheng. Influential Factors of High Pressure on Natural Conditions for Bio-fuel Making. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2005 (11): P10-14(Ch). 回彩娟, 俞国胜. 影响生物质块状燃料常温高压致密成型因素的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2005 (11): P10-14.
- [13] Xiang Ping, Lin Yimin, Peng Zaiqing, et al. Study on caloric values and ash contents in the leaves of ten ficus species at Xiamen botanical garden [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(suppl): P68-73(Ch). 向平, 林益明, 彭在清, 等. 厦门园林植物园 10 种榕属植物叶热值与灰分含量的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(S1): P68-73.
- [14] The Studies of Biomass Solidifying Technology and Principle with High Pressure on Natural Conditions for Bio-fuel Making[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006: P37-40, P59-65(Ch). 回彩娟. 生物质燃料常温高压致密成型技术及成型机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006: P37-40, P59-65.
- [15] He Xiao, Bao Weikai, Gu Bin, et al. The Characteristic of Gross Caloric Values of Higher Plants in China. Ecology and Environment, 2007, 16(3): P973-981(Ch). 何晓, 包维凯, 傅彬, 等. 中国高等植物干质量热值特点[J]. 生态环境, 2007, 16(3): P973-981.
- [16] Ni Sui, Chen Qi. Study of caloric value in Cyclobanopsis glauca population. Journal of Zhejiang University(Agric. & Life Sci.), 2001, 27(4): P390-392(Ch). 倪穗, 陈启. 青冈种群的热值研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2001, 27 (4): P390-392.