

# 生物质颗粒燃料储藏理化特性变化规律

张中波<sup>1,2,3</sup>, 田宜水<sup>1,3</sup>, 侯书林<sup>2</sup>, 赵立欣<sup>1,3</sup>, 孟海波<sup>1,3</sup>

(1.农业部规划设计研究院, 北京100125; 2.中国农业大学工学院, 北京100083; 3.农业部农业废弃物资源化利用重点实验室, 北京100125)

**摘要:**为分析生物质颗粒燃料在北方气候下是否可以长期储藏, 以及不同储藏方式对颗粒燃料理化特性的影响规律, 2011年3月至8月期间, 针对北京地区气候, 对玉米秸秆和木质2种颗粒燃料, 以袋装、半封闭、露天3种储藏方式开展储藏试验。试验结果表明, 2种颗粒在3种储存方式下机械耐久性都保持在94.46%以上, 生物质颗粒燃料未出现发霉现象, 全水分和堆积密度变化规律受气候变化规律相吻合。其中玉米颗粒和木质颗粒的露天状态储存时全水分极差(2.42%和2.55%)和颗粒密度极差最大(0.12t/m<sup>3</sup>和1.297t/m<sup>3</sup>)。灰分和挥发份保持则稳定状态初始状态。这为生物质颗粒燃料的安全储存提供理论依据。

## 0引言

随着社会的进步、经济的发展, 人类对能源的需求日益增加<sup>[1]</sup>, 但是煤炭、石油、天然气等化石能源不断减少<sup>[2-3]</sup>。生物质能具有原料来源广泛, 可再生等特点, 越来越被人们关注<sup>[3-5]</sup>。

其中, 生物质颗粒燃料由粉碎的固体生物质原料通过成型机压缩成圆柱形的生物质固体成型燃料, 直径一般不大于25mm, 长度不大于其直径的4倍, 压缩后密度为原来的5~10倍<sup>[6]</sup>。

, 具有储存空间小, 运输方便, 使用时清洁环保, 热效率高, 可持续利用等特点, 具有广阔的发展前景。

生物质颗粒燃料在生产后, 一般不会立即得以利用, 需要在工厂内进行至少6个月的储藏, 在这段较长的时间内, 采用何种储藏形式, 储藏过程中对于温湿度有何要求, 才能保障颗粒燃料不出现发霉、变质是一个重要的环节。

目前, 国内外对于生物质颗粒燃料储藏机理的研究很少<sup>[7]</sup>。

黄文等研究了木薯干颗粒在广西地区储藏的温湿度的要求<sup>[8]</sup>。

, 结果表明为达到储藏期长、储藏效果好的目的, 需要降低仓房内空气湿度、木薯含水率、以及仓房和木薯堆内的温度, 减少木薯与空气的接触面积。谢祖琪等研

究了小麦秸秆的储藏机理<sup>[9]</sup>。

, 结果表明: 无论是正常年份, 还是相对湿度较大的特殊年份, 麦秸捆储存期前后绝干热值没有明显影响, 麦秸捆均可安全储存并作能源利用。樊峰鸣以华北产量较大的玉米秸秆、大豆秸秆为原料制成的大粒径成型燃料经抗水性试验发现其耐水浸蚀性能好, 最长达300h<sup>[10]</sup>。

。Athanasios A. Rentizelas等研究了生

物质燃料供应过程中, 储藏条件对燃料的影响<sup>[11]</sup>。

, 结果表明颗粒燃料在较低全水分下(15%~20%)储藏, 对环境要求较低。但对于生物质颗粒燃料受当地气候、储藏方式、储藏时间等因素影响试验研究则未见报道。

本文拟通过采取3种不同的储藏方式(袋装、半封闭、露天), 针对玉米秸秆颗粒和木质颗粒2种燃料, 开展长期储藏试验, 按月测量其全水分、灰分、热值、机械耐久性等理化特性, 分析生物质颗粒燃料在北方气候下是否可以长期储藏及不同储藏方式(袋装、半封闭、露天)对颗粒燃料性能的影响, 以期为生物质颗粒燃料的安全储存提供理论依据, 为中国北方地区生物质成型燃料规模化利用奠定基础。

## 1材料及方法

### 1.1试验材料

中国北方地区普遍种植的农作物为玉米, 试验选取了2009年秋季北京南郊地区所产玉米秸秆。试验材料由HM485型生物质固体燃料成型机压制而成。

另外选取木质颗粒燃料。颗粒燃料的规格为：直径为8mm，长度20~30mm，主要理化特性见表1。

表 1 颗粒燃料主要理化特性

Table 1 Physical and chemical characteristics of pellet fuels

	玉米颗粒 Corn pellets	木质颗粒 Wood pellets
密度 Particle density/(t·m <sup>-3</sup> )	1.289	1.297
全水分 Total moisture/%	8.60	9.70
灰分 Ash/%	21.41	3.37
挥发份 Volatile matter/%	62.92	79.85
低位发热量 Gross calorific value/(kJ·kg <sup>-1</sup> )	14764	18266

注：依据《NY/T 1881.2-2010 生物质成型燃料试验方法》。

### 1.2 试验设备

本试验仪器主要包括：YBJL-8901型温湿度记录仪（北京威铭首旺电子机械设备有限公司）、GJ-2袋装式化验制样粉碎机（河南省鹤壁市天弘仪器有限公司）、XL-1箱型高温炉（河南省天弘仪器有限公司）、SA223S-CW型分析天平（赛多利斯科学仪器（北京）有限公司）、101-1A型电热鼓风干燥箱（河南省鹤壁市天弘仪器有限公司）、ZDHW-5型微机全自动量热仪（河南省鹤壁市天弘仪器有限公司）、KER-2400型转鼓试验机、堆积密度测量装置（容积为5L）。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 试验时间

中国北方地区，3月份气温逐渐回暖，至8月份温度一直处于上升期，在此期间温度变化由低至高，6月份进入雨季，空气湿度变大，天气状况对于颗粒燃料的储藏机理影响较大。所以，选择2011年3月至8月期间作为试验时间。

为准确记录试验期间空气温湿度变化量，采用YBJL-8901型温湿度记录仪每8h记录1次空气温湿度，每月记录90组数据，分别计算月记录数据平均值作为每月平均温度和湿度，见图1。

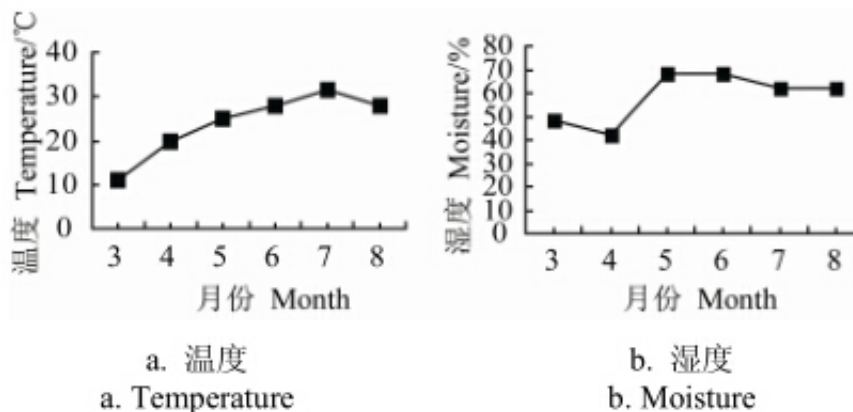


图 1 温湿度变化曲线

Fig.1 Curve of temperature and humidity

### 1.3.2 储藏方式的选择

目前，生物质颗粒燃料储藏方式多数为采用袋装的形式堆积在仓库中<sup>[12]</sup>

，储藏过程中通风条件较差。另外，也有采用料堆和料仓<sup>[13]</sup>

等形式。为了对比生物质颗粒燃料在不同储藏条件下，长期储藏时其理化特性的变化规律，采用了编织袋袋装、自制半封闭储藏装置、露天平铺等3种方式，每种方式开展1组试验。

计算试验中堆积密度、全水分等测量所需颗粒燃料质量，预计6个月份试验共需颗粒燃料24kg，考虑试验过程中的损耗等，每组试验颗粒燃料准备50kg。

试验在北京南郊工厂内进行，储藏环境为普通厂房室内环境。

**袋装储藏：**每种颗粒燃料分别称量50kg，采用聚丙烯塑料编织袋装，扎紧袋口，横向放置于地面。按照《NY/T188 1.2-2010 生物质固体成型燃料采样方法》使用取样铲分4层采样，每层取1kg样品。每次采样完成后，重新扎紧袋口袋装。

**半封闭储藏：**每种颗粒燃料分别称量50kg，采用边长为4mm的方形孔筛网，自制的半封闭储藏装置储藏，保证装置边缘储藏的颗粒燃料与空气部分接触。采样时，放倒容器使燃料流出，使用取样铲分4层采样，每层取1kg，每次采样完成后，将燃料放回半封闭容器并直立放置。

**露天储藏：**每种颗粒燃料分别称量50kg，堆积成山状，平铺放置于地面带孔铁板上，使颗粒燃料与空气充分接触。采样时，依据标准，对颗粒燃料堆划分8个区，每个区取0.5kg样品。每次采样完成后，颗粒燃料重新堆积放置。考虑料堆高度可能仅影响颗粒燃料机械性能，对其他特性影响不大，本文未考虑该因素。图2为颗粒燃料3种储藏方式实物图。

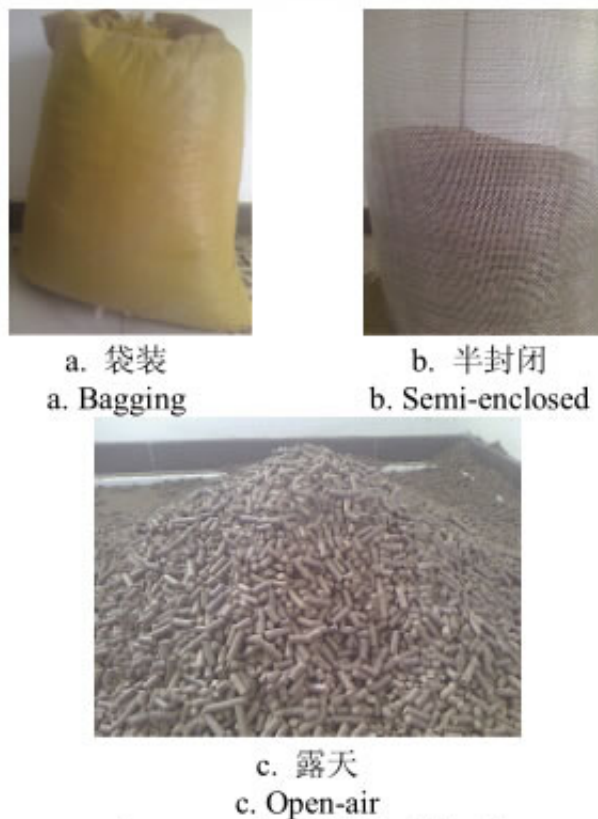


图2 颗粒燃料储藏方式

Fig.2 Storage mode of pellet fuels

### 1.3.3 试验测定参数选择及测试方法

生物质颗粒燃料在储藏一段时间后, 运输到工厂、家庭, 应用于供暖、供热。在储藏期内, 随着储藏时间的增加, 颗粒燃料的理化特性均会发生变化, 随之影响其运输特性及燃烧产生的热值。其中, 全水分变化会影响堆积密度和热值, 堆积密度决定储藏机构的结构设计及容量计算, 机械耐久性表征在储藏、运输过程中抗破碎能力, 工业分析可判定颗粒燃料储藏过程中灰分、挥发分、水分的变化, 热值反映颗粒燃料可供热能力。因此, 本试验选取了全水分、密度、堆积密度、机械耐久性、热值等参数作为试验指标, 并对颗粒燃料进行工业分析, 得出储藏时间对各种参数的影响。

取样时间为每月15~20日期间, 按前述方法采样后, 分别进行编号, 使用密封袋完全密封保存。每项试验取子样完成后及时排出空气。测试方法依据《NY/T1881.2-2010生物质固体成型燃料样品的制备方法》、《NY/T1881.2-2010生物质成型燃料试验方法》等进行。机械耐久性试验采用KER-2400型转鼓试验机, 在可控的振动下, 通过在试验样品之间、样品与测试器内壁之间发生碰撞, 然后将已磨损和细小的颗粒分离出来, 根据剩余的样品质量计算机械耐久性。每个参数测量2次, 取其平均值作为测试结果。堆积密度及密度、灰分等统一按标准转换为干燥基作为基准进行分析。

为了比较不同储藏形式的各项理化特性数据变化情况, 采用极差 (range)、标准偏差 (standard deviation)、方差 (variance) 3种数学统计方法来分析试验数据。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 颗粒燃料物理特性分析

#### 2.1.1 外观观察

2种颗粒燃料长期储藏试验过程中, 其表面颜色均未发生变化, 玉米秸秆颗粒呈现黄褐色, 木质颗粒为红紫色, 燃料未出现发霉、长毛的现象。

#### 2.1.2 全水分

整体上, 2种生物质颗粒燃料、3种储藏方式的全水分变化规律基本上是一致的, 4-5月份期间略有下降, 6-8月份则略有上升, 如表2。这与北京的天气状况是相吻合的, 6月进入雨季, 雨量增多, 空气的湿度增加, 颗粒燃料处于吸湿状态, 外在水分增加。而进入8月份, 天气湿度略有下降, 颗粒燃料处于解湿状态, 外在水分略有减少。这说明生物质颗粒燃料的全水分受湿度影响较大。

此外, 经过长期储藏后, 木质颗粒3种储藏方式的全水分趋于相同, 均约为10%, 基本达到平衡湿含量状态。而玉米秸秆颗粒的差异性较大, 从9.01%到9.89%。这说明不同储藏方式对不同燃料影响是不同的, 需要针对不同燃料, 合理选择储藏方式。

表2 3种储藏方式颗粒燃料长期储藏全水分变化规律  
Table 2 Variation of total moisture in storage of pellet fuels

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	全水分 Total moisture/%							
		3月 March (初 始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August		
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	8.60	8.73	8.50	7.95	9.30	9.89		
	半封闭 Semi-enclosed	8.60	8.88	7.93	7.72	8.65	9.01		
	露天 Open-air	8.60	8.09	7.47	8.25	9.75	9.89		
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	9.70	8.44	8.14	8.18	9.67	10.12		
	半封闭 Semi-enclosed	9.70	8.86	7.62	8.72	9.79	10.12		
	露天 Open-air	9.70	8.74	7.53	8.69	10.08	10.07		

由表3数据知, 玉米颗粒燃料露天储藏条件下, 极差值最大为2.42%, 标准偏差及方差为0.88和0.77。其他2种储藏方式变化则相对不明显, 半封闭式储藏上述数据分别为0.48和0.23, 袋装储藏分别为0.62和0.38。表明在露天储藏条件下, 全水分数值变化较为明显, 说明与空气接触面积的大小是影响全水分变化的主要因素。木质颗粒在储藏期间, 不同储藏方式之间的结论与玉米秸秆颗粒相似。相对于玉米秸秆颗粒, 木质颗粒数值变化较大, 如露天储藏条件下, 极差值达到2.55%, 标准偏差及方差为0.91和0.84。说明空气温湿度变化对木质颗粒特性影响较大, 其对于储藏环境的要求较高。

表 3 3 种储藏方式全水分统计分析表  
Table 3 Statistical analysis of total moisture

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	R/%	m/%	$\sigma$	$\sigma^2$
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 In bags	1.94	8.83	0.62	0.38
	半封闭 Semi-enclosed	1.29	8.47	0.48	0.23
	露天 Open-air	2.42	8.68	0.88	0.77
木质颗粒 Wood pellets	袋装 In bags	1.98	9.04	0.81	0.65
	半封闭 Semi-enclosed	2.50	9.14	0.84	0.71
	露天 Open-air	2.55	9.14	0.91	0.84

注：R，极差(range)；m，平均值； $\sigma$ ，标准差； $\sigma^2$ ，标准方差。

### 2.1.3颗粒密度

颗粒密度是以干燥基为基准。随着储藏时间的增加，整体上2种生物质颗粒燃料的颗粒密度呈逐渐上升趋势，如表4。

经计算可知，露天储藏条件下，颗粒密度上下波动较为明显，极差为0.120t/m<sup>3</sup>，标准偏差和方差为0.0434和0.00157，其他2种储藏方式变化则不明显，半封闭式储藏上述数据分别为0.0867、0.0344和0.000988t/m<sup>3</sup>，袋装储藏分别为0.0860、0.0355和0.00105t/m<sup>3</sup>，由2.1.2分析，说明空气湿度的变化会引起颗粒密度改变。

玉米秸秆颗粒燃料密度数值在1.289~1.409t/m<sup>3</sup>，而木质颗粒为1.199~1.332t/m<sup>3</sup>。

木质颗粒储藏6个月期间，相对于玉米秸秆颗粒，其数值变化明显，4月份数值降至最低为1.201t/m<sup>3</sup>，而5、6月份一直上升，7月份再次降低。温湿度变化等环境因素改变对木质颗粒储藏影响较大。

### 2.1.4堆积密度

堆积密度是以干燥基为基准。随着储藏时间的增加，堆积密度在4 - 5月份时略有上升，而5 - 8月份逐渐下降。堆积密度的数值受空气湿度影响明显，湿度变化直接影响其数值。

3种储藏方式6个月期间变化如表5所示。玉米秸秆颗粒保持在643.28~686.37kg/m<sup>3</sup>，而木质颗粒保持在553.96~628.17kg/m<sup>3</sup>。

### 2.1.5机械耐久性

2种颗粒燃料，在3种不同的储藏方式下，储藏6个月时间，机械耐久性总体上随着时间的变长而降低，极差依次是1.03%、1.99%、0.61%、2.4%、1.22%、4.1%但都保持在94.46%以上，与全水分的变化规律基本一致，如表6。说明长期储藏，颗粒燃料能够良好地保持机械耐久性。

表4 3种储藏方式颗粒燃料长期储藏密度变化规律  
 Table 4 Variation of particle density in storage of pellet fuels

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	密度 $\rho$ Particle density/(t·m <sup>-3</sup> )							
		3月 March (初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August		
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	1.289	1.319	1.315	1.313	1.376	1.373		
	半封闭 Semi-enclosed	1.289	1.317	1.322	1.363	1.367	1.375		
	露天 Open-air	1.289	1.313	1.295	1.329	1.326	1.409		
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	1.297	1.272	1.236	1.278	1.294	1.332		
	半封闭 Semi-enclosed	1.297	1.201	1.252	1.300	1.271	1.294		
	露天 Open-air	1.297	1.195	1.225	1.281	1.199	1.255		

表5 3种储藏方式颗粒燃料长期储藏堆积密度变化规律  
 Table 5 Variation of bulk particle density in storage of pellet fuels

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	堆积密度 Bulk particle density $BD$ /(kg·m <sup>-3</sup> )							
		3月 March (初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August		
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	673.16	686.37	665.18	656.82	653.06	645.21		
	半封闭 Semi-enclosed	673.16	643.28	661.52	658.85	662.76	661.01		
	露天 Open	673.16	668.63	675.92	652.35	658.38	644.76		
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	562.61	585.55	599.88	585.82	570.44	591.39		
	半封闭 Semi-enclosed	562.61	611.13	628.17	607.45	597.23	591.43		
	露天 Open	562.61	610.05	579.83	583.50	566.92	553.96		

表6 3种储藏方式颗粒燃料长期储藏机械耐久性变化规律  
 Table 6 Variation of mechanical durability in storage of pellet fuels

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	密度 $\rho$ Particle density/(t·m <sup>-3</sup> )							
		3月 March (初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August		
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	1.289	1.319	1.315	1.313	1.376	1.373		
	半封闭 Semi-enclosed	1.289	1.317	1.322	1.363	1.367	1.375		
	露天 Open-air	1.289	1.313	1.295	1.329	1.326	1.409		
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	1.297	1.272	1.236	1.278	1.294	1.332		
	半封闭 Semi-enclosed	1.297	1.201	1.252	1.300	1.271	1.294		
	露天 Open-air	1.297	1.195	1.225	1.281	1.199	1.255		

## 2.2 颗粒燃料工业分析

### 2.2.1 一般样本水分

一般样本水分为颗粒燃料水分与空气湿度大致平衡所含水率。由表7知其变化规律与全水分相似。这表明，长期储藏下，无论何种储藏方式，由于外在水分逐步消失，其全水分会逐渐与一般样本水分趋同。

### 2.2.2 灰分

表8数据为试验测量数据经公式换算以干燥基为基准所得数据。

试验结果表明，3种不同储藏方式（袋装、半封闭、露天），灰分的数值变化极小，其极差为2%。

玉米秸秆颗粒燃料灰分数值在19.10%~21.41%，而木质颗粒在2.64%~4.08%。6个月储藏时间内，其数值无明显变化。说明现有储藏形式，难以混入杂质，灰分基本无变化。

### 2.2.3 挥发分

表9数据为转换为干燥基为基准所得挥发分数据。

不同储藏方式（露天、半封闭、袋装），挥发分的数值变化极小，经过计算可得，其极差为4%，标准偏差为1%。

玉米秸秆颗粒燃料挥发分数值在62.92%~66.96%，而木质颗粒在78.91%~81.96%。6个月储藏时间内，其数值无明显

变化。

**表 7 3 种储藏方式颗粒燃料长期储藏一般样本水分变化规律**  
**Table 7 Variation of moisture in sample in storage of pellet fuels**

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	样本水分 <i>d</i> Moisture in sample/%					
		3月 March(初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	9.060	7.410	6.870	7.290	8.780	8.380
	半封闭 Smi-enclosed	9.060	7.380	7.050	7.270	8.540	8.320
	露天 Open-air	9.060	7.110	6.480	7.620	9.220	9.130
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	9.050	7.630	7.130	7.680	9.290	8.960
	半封闭 Semi-enclosed	9.050	7.630	6.470	7.900	9.740	9.150
	露天 Open-air	9.050	7.560	7.400	8.010	9.720	9.310

**表 8 3 种储藏方式颗粒燃料长期储藏灰分变化规律**  
**Table 8 Variation of ash in storage of pellet fuels**

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	灰分 Ash%					
		3月 March (初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	21.41	19.72	19.99	21.36	20.22	19.10
	半封闭 Smi-enclosed	21.41	21.19	20.55	21.22	20.72	20.55
	露天 (open-air)	21.41	19.43	20.11	20.59	20.43	20.11
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	3.37	3.12	3.26	3.50	3.44	3.26
	半封闭 Semi-enclosed	3.37	2.64	3.07	2.98	2.91	3.07
	露天 Open-air	3.37	2.74	4.08	4.01	4.04	4.08

**表 9 3 种储藏方式颗粒燃料长期储藏挥发分变化规律**  
**Table 9 Variation of volatile matter in storage of pellet fuels**

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	挥发份 <i>V</i> Volatile matter/%					
		3月 March (初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	62.92	67.35	65.83	64.38	65.11	66.59
	半封闭 Semi-enclosed	62.92	66.79	65.70	64.28	63.81	64.38
	露天 Open-air	62.92	66.96	66.43	65.48	64.46	66.05
木质颗粒 Wood pellets	袋装 Bagging	79.85	78.91	78.93	80.06	81.96	80.31
	半封闭 Semi-enclosed	79.85	79.42	79.18	79.98	81.58	80.22
	露天 Open-air	79.85	78.24	80.42	79.87	80.77	80.17

### 2.3 发热量

整体上, 颗粒燃料热值为上升趋势, 如表10, 4 - 5月份水分降低, 其燃烧热值增加, 5、6月份进入雨季, 空气湿度增加, 数值略有下降, 8月份转秋, 湿度降低, 颗粒燃料水分减少, 热值则再次升高。

3种储藏方式变化相同, 数值也相差较小, 玉米颗粒的热值在14.764 ~ 16.155MJ/kg, 木质颗粒热值在18.266 ~ 19.951 MJ/kg, 3种储藏方式燃烧性能未有明显下降。

表 10 3 种储藏方式颗粒燃料长期储藏挥发热值变化规律  
Table 10 Variation of calorific value in storage of pellet fuels

燃料种类 Fuel type	储藏形式 Storage mode	低位热值 $Q$ Net calorific value $/(kJ \cdot kg^{-1})$							
		3月 March(初始, Initiation State)	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August		
玉米颗粒 Corn pellets	袋装 Bagging	14764	14969	15549	15325	15746	16155		
	半封闭 Semi-enclosed	14764	14862	15098	15298	15756	15882		
	露天 Open-air	14764	15065	15365	15526	15892	15927		
木质颗粒 Wood pellets	袋装(in bags)	18266	18601	18731	19135	19348	19433		
	半封闭 Semi-enclosed	18266	18848	18841	19209	18962	19821		
	露天 Open-air	18266	18847	18816	19063	19320	19951		

### 3结论

1) 2种颗粒燃料长期储藏试验过程中，机械耐久性总体上随着时间的变长而降低，极差依次是1.03%、1.99%、0.61%、2.4%、1.22%、4.1%但都保持在94.46%以上。初始状态在安全水分以及一定的密度时，无论何种储藏方式，生物质颗粒燃料均可长期安全储藏。从耐久性上来说，抗破碎最好的是玉米颗粒露天存放，最差的是木质颗粒露天存放。

2) 生物质颗粒燃料的全水分受湿度影响较大，其变化规律与湿度变化规律基本上是一致的，但未出现发霉、长毛的现象。全水分极差分别为1.94%、1.29%、2.42%、1.98%、2.5%、2.55%，与半封闭及袋装储藏方式相比，露天储藏环境下，由于颗粒燃料与空气的接触面积大，所以其水分、热值等数据的变化较明显。

3) 试验中玉米颗粒燃料和秸秆颗粒燃料各自储藏形式的对应的颗粒密度极差分别为0.087、0.086、0.12、0.096、0.099、1.29t/m<sup>3</sup>。同全水分变化一样，2种颗粒露天存放比其他两种存放最易受影响。相对于玉米秸秆颗粒燃料，木质颗粒长期储藏过程中，其全水分变化范围、颗粒密度变化范围较大，储藏木质颗粒时对于其储藏环境应保证足够的空间及通风设施。而堆积密度则受空气湿度影响明显，与天气变化规律相一致。

4) 一般样本水分分析表明，不论何种储存方式，其全水分灰逐渐与样本水分趋同。灰分、挥发份则随时间变化不大，保持稳定状态。

5) 在6个月的试验中，玉米颗粒的热值变化范围为14.764 ~ 16.155MJ/kg，木质颗粒热值在18.266 ~ 19.951MJ/kg。玉米颗粒不考虑5月份袋装和露天储藏形式的热值，所有的热值都是上升趋势的。木质颗粒不考虑5月份的半封闭和露天形式的热值，热值也是一直增加的。6至8月份的水分基本上都是逐渐增加的，而试验中的热值是不断增加的，出现这一现象的原因有待进一步的研究。

5) 从上述结论中可以看出，玉米颗粒露天存放存在着全水分变化极差大(2.42%)，颗粒密度变化影响最小但持久性最好，这一现象同样有待进一步研究。

本试验未考虑不同成型条件影响。因此，下一步拟对用不同成型条件，生产不同初始状态的颗粒燃料，进行储藏机理研究，以分析其影响规律。

### [参考文献]

- [1]Dan Arvizu, Thomas Bruckner, John Christensen.Special Report Renewable Energy Sources[R].IPCC, 2011-9-10(2 - 4).
- [2]艰难的第三次能源大转换[EB/OL].国家能源局, [http://nyj.ndrc.gov.cn/dcyj/t20080331\\_201527.html](http://nyj.ndrc.gov.cn/dcyj/t20080331_201527.html), 2008-3-31.
- [3]Yuan J S, Wang X, Stewart Jr NS.Biomass feedstock:diversity as a solution[J].Biofuels 2001, 2(5):491 - 493.
- [4]王久臣, 戴林, 田宜水, 等.中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J].农业工程学报, 2007, 23(9): 276 - 282.
- [5]Lin W, Song W.Power production from biomass in denmark[J].Journal chemistry and technology, 2005, 33(6): 650 - 655.



- [6]罗娟, 侯书林, 赵立欣, 等.生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J].可再生能源, 2009, 27(6): 90 - 95.
- [7]Tian Y S.Logistics of biomass feed stock: the key to biofuel production[J].Biofuels, 2013, 4(1): 9 - 11.
- [8]黄文, 徐德林, 梁燕理.木薯干颗粒的简易仓储藏研究[J].粮食科技与经济, 2010, 35(5): 28 - 31.
- [9]谢祖琪, 余满江, 虞洪章, 等.小麦秸秆储存机理研究[J].西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(7): 130 - 136.
- [10]樊蜂鸣, 张百良, 李保谦, 等.大粒径生物质成型燃料物理特性的研究[J].农业环境科学学报, 2005, 24(2): 398 - 402.
- [11]Athanasios A Rentizelas, Athanasios J Tolis, Ilias P Tatsiopoulos.The storage problem and the multi-biomass supply chain[J].Renewable Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(4).
- [12]田宜水, 孟海波, 孙丽英, 等.秸秆能源化技术与工程[M].北京: 人民邮电出版社, 2010: 129 - 133.
- [13]洪浩, 尤玉平, 严德福.我国林业生物质成型燃料产业化实证研究[J].中国工程科学, 2011, 13(2): 66 - 71.
- [14]姚向君, 田宜水.生物质能资源清洁转化利用技术[M].化学工业出版社, 2005年1月, 北京.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/107585.html>