

储存方式对生物质燃料玉米秸秆储存特性的影响

田宜水^{1,2}, 徐亚云^{1,2,3}, 侯书林³, 赵立欣^{1,2}, 姚宗路^{1,2}, 孟海波^{1,2}

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

摘要: 为了解不同储存方式对农作物秸秆理化特性变化规律的影响, 该文针对整株、打捆、粉碎3种预处理方式、且分别储存在露天、覆盖、密封条件下的秸秆进行为期5个月的试验研究。结果表明, 粉碎秸秆的全水分、灰分较高, 分别比整株与打捆秸秆高出约3.46%、3.83%与5.95%、4.62%; 但挥发分较整株、打捆秸秆分别低5.81%、4.47%; 密封储存全水分、灰分较露天、覆盖储存高, 挥发分较露天、覆盖储存低。秸秆储存期间, 温度平均值变化不明显, 极差仅在3.24~3.71 之间, 温度最高值可达50 左右, 故应保持良好的通风。发热量与全水分呈负相关变化, 与整株和打捆秸秆相比, 粉碎秸秆发热量下降约1000kJ/kg左右。秸秆长期储存时, 应优先选择整株或打捆秸秆, 露天和覆盖储存则需要进一步研究。

0引言

农作物秸秆是一种具有多用途的可再生生物资源, 每吨干物质秸秆的热值相当于0.5t标准煤, 其S含量却远低于煤, 是一种清洁、可再生能源, 具有广阔的发展前景。根据统计, 2013年全国秸秆理论可收集资源量为8.3亿t, 综合利用率达77.1%, 尚有1.9亿t未得到有效利用^[1-5]。

由于农业生产间断性与工业连续性存在一定的矛盾, 如何安全储存秸秆是其规模化利用的关键问题。刘建辉等^[3]对水稻、小麦、玉米、油菜和棉花5种秸秆在遮雨通风条件下试验分析, 得出其性能参数的变化规律。谢祖琪等^[4]对小麦秸秆进行储存研究, 结果表明, 储存前后的芯部温度均在安全范围内, 绝干热值无明显变化。张中波等^[5]

对玉米和木质颗粒成型燃料在露天、半封闭、袋装条件下试验研究, 得出了颗粒燃料全水分、颗粒密度和机械耐久性理化特性的长期储存数据。WilliamASmith等^[6]

对玉米秸秆和高粱进行全水分和干物质损失的测试分析, 得出合适的堆垛形状、方向和储存方式能够有效保持原料水分和干物质的结论。KevinLKenney等^[7]

对生物质原料的灰分、碳水化合物、水分等进行分析讨论, 为提高原料质量、减少可变性提供了依据和方法。上述研究虽然对秸秆的储存和理化特性进行了初步研究, 但是对玉米秸秆在不同预处理、不同储存方式的研究较少, 缺少秸秆安全储存的试验数据。

本文通过采取3种不同的储存方式(露天、覆盖、密封), 针对整株、打捆、粉碎等预处理方式的玉米秸秆进行长期储存试验, 每月中旬取样并测量全水分、热值、灰分等理化特性, 分析各指标的变化规律, 以及不同预处理和储存方式对秸秆自身特性的影响, 以期能为秸秆的安全储存提供理论依据和基础数据。

1材料与amp;方法

1.1试验材料

选取山东省肥城市2013年秋季所产玉米秸秆。

1.2 试验设备

本试验仪器主要包括：KZR70A型温度记录仪和Pt100温度传感器（北京昆仑中大工控技术发展有限公司），测试精度为 $\pm 0.2\%F.S$ ；RT-34静音碾磨式粉碎机（北京环亚天元机械技术有限公司）；XL-1箱型高温炉（河南省鹤壁市天弘仪器有限公司）；101-3A电热鼓风干燥箱（鹤壁市华维科力煤质仪器有限公司）；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）。

1.3 试验方法

1.3.1 试验时间

中国华北平原地区，玉米秸秆普遍11月份开始收集，然后进行储存，次年5、6月份小麦秸秆可收集、储存并利用。玉米秸秆收集后，初始全水分含量很高，需一段时间风干处理，因此试验时间为2014年1月份至5月份。

1.3.2 存储方式的选择

试验地点为山东省肥城市王庄镇，试验环境为室外。把所选试验原料分为整株、打捆、粉碎3种形式，分别在露天（自然环境下直接储存）、覆盖（防水布遮住顶部）、密封（先塑料包裹，再用防水布全部遮盖）条件下储存，储存地面为未经过处理的土地。

整株秸秆：选用3组约1t经风干后的整株玉米秸秆进行堆垛，长、宽、高尺寸约为：2400mm × 2300mm × 2160mm。

打捆秸秆：选择3组约2.5t经HB3060型打捆机处理的玉米秸秆捆进行堆垛，长、宽、高尺寸约为：2400mm × 2300mm × 2160mm。选取600mm × 460mm × 360mm的秸秆捆120捆，每层20捆，共堆积6层。

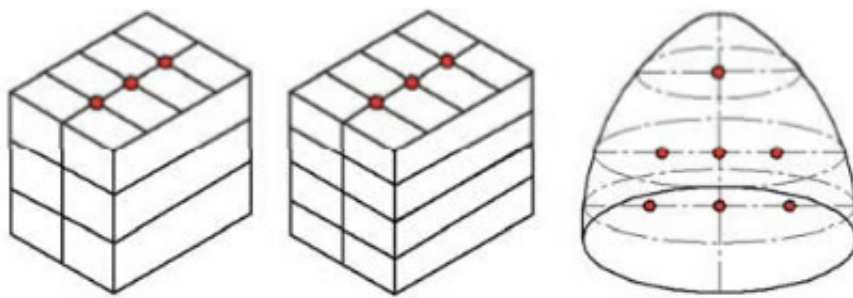
粉碎秸秆：选择3组约1.5t经9ZR-14型铡揉机处理的粉碎玉米秸秆进行堆垛，半径、高度约为：1500mm × 2000mm。

1.3.3 试验方法

全水分：整株和粉碎秸秆，由上而下分3层取样；打捆秸秆则分4层取样。样品制备完成后，按照NY/T1881.2-2010进行测试。

工业分析、发热量：取样后，使用密封袋保存并进行编号，按照《NY/T1881.1-2010 ~ 1881.8-2010生物质固体成型燃料试验方法》制样和测试。

温度：整株秸秆分3层，每层安装3个Pt100温度传感器；打捆秸秆分4层，每层安装3个传感器；粉碎秸秆分3层，顶层安装一个传感器，中间和底层分别安装3个传感器。具体安装位置见图1。



a. 整株秸秆垛

a. Whole plant stalks

b. 打捆秸秆垛

b. Bale of straw

c. 粉碎秸秆垛

c. Crushed straw stack

注：图中圆点为每层传感器分布图，且 a 图 3 层，b 图 4 层，c 图 3 层。

Note: Dot of figure is sensor distribution map, and 3 layers for a figure,

4 layers for b figure, 3 layers for c figure.

图 1 温度传感器安装示意图

Fig.1 Installation diagram of temperature sensor

2 试验结果与分析

山东省肥城市属暖温带湿润性季风气候，冬季寒冷少雪，春季较干多风，全年平均气温 13℃，年平均降水量 700~800mm，风向一般为东南风。为分析环境温度和湿度对试验的影响，从 2014 年 1 月开始每 8h 记录 1 次空气温湿度，每天记录 3 组数据，储存期间月环境平均温湿度数值见图 2，其中 1 月 7 日、31 日小雨；2 月 5 日、16 日、17 日、26 日雨夹雪；3 月 11 日、18 日号小雨；4 月 15 日、18 日、20 日小雨，25 日中雨；5 月 10 日中大雨。环境温度总体呈上升趋势，仅 2 月份因降雪平均温度最低为 0℃，5 月份上升到 20℃；环境湿度与降雨有关，一般在 45%~65% 之间，3 月份进入春季，因季节变化平均湿度最低达 46%。

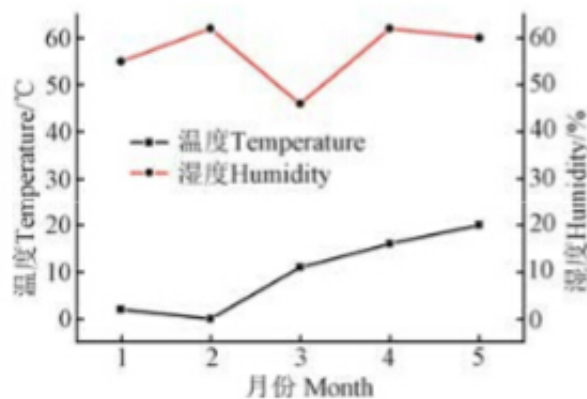


图 2 环境温湿度变化

Fig.2 Ambient temperature and humidity changes

2.1 表观观察

秸秆长期储存时，表面颜色均逐渐变深，说明秸秆表层可能发生氧化，整株和粉碎秸秆料堆逐渐变矮，有坍塌趋势。整株和打捆状态下，露天、覆盖储存的秸秆相对干燥，密封则较潮湿；粉碎秸秆露天储存 10d 左右时，出现白烟，表明秸秆此时自身生理作用强，产生的水蒸气遇冷空气后冷凝。粉碎状态下，密封秸秆外部最潮湿，腐烂现象严重。

2.2 全水分变化分析

图 3 为 3 种预处理（整株、打捆、粉碎）秸秆分别以露天、覆盖、密封形式储存时整垛全水分的变化规律。从整体来看，存储方式比预处理对全水分影响更为显著。同一预处理方式时，密封储存时玉米秸秆全水分变动幅度最大，以整株秸秆为例，密封条件下储存，玉米秸秆全水分标准差达 9.024%，分别比露天和覆盖条件高 4.7% 和 2%；同一储存方

式时，粉碎秸秆变化最大，以露天储存为例，储存期间，粉碎秸秆全水分标准差达6.839%，比整株和打捆秸秆高2.5%和1.6%，具体统计数据见表1。

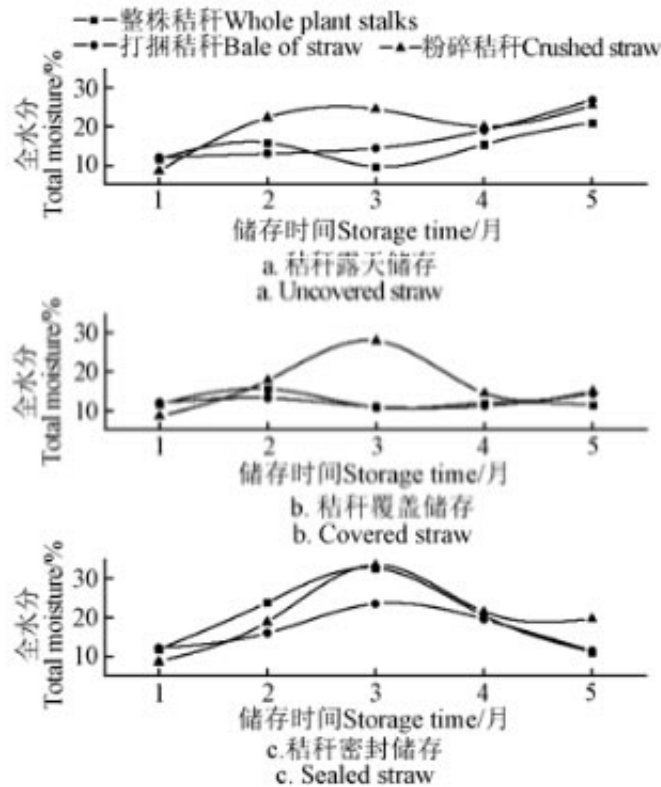


图 3 秸秆在不同状态和储存条件下的全水分变化
Fig.3 Full water changes of straw under different storage conditions

表 1 全水分统计分析表
Table 1 Statistical analysis of whole water

秸秆状态 Straw status	储存形式 Storage form	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Average value	标准差 Standard difference
整株 Whole plant	露天 Open air	21.12	9.74	14.796	4.379
	覆盖 Covered	15.71	10.89	12.36	1.918
	密封 Sealed	32.76	11.08	19.974	9.024
打捆 Strapping	露天 Open air	23.49	11.36	16.47	5.104
	覆盖 Covered	14.37	11.04	12.404	1.409
	密封 Sealed	26.95	12.08	17.132	6.101
粉碎 Smashing	露天 Open air	25.58	8.62	20.25	6.839
	覆盖 Covered	28.06	8.62	16.824	7.121
	密封 Sealed	33.52	8.62	20.406	8.878

农作物秸秆成型过程中，玉米秸秆的最佳成型水分为15%^[8]

。由表1知：整株状态下，秸秆露天储存时，全水分平均值为14.5%，临近最佳成型水分，其次为露天和密封储存。打捆状态下，同上，露天储存时秸秆最利于成型，密封储存因全水分含量较高，不便作为成型燃料使用。粉碎状态下，覆盖秸秆全水分含量为16.8%，较易于成型，而露天和密封储存全水分含量均高出5%左右，不利于成型。因此，玉米秸秆作为成型燃料使用时，应该选择整株或者打捆状态，并在露天条件下储存。

在露天条件下，玉米秸秆料堆（除底部外）与外部环境完全接触，降雨（雪）将直接落到料堆顶部并渗透至料堆中，受环境影响最大。整体上，整株、打捆、粉碎秸秆全水分随温度、湿度上升而呈上升趋势。整株和打捆秸秆全水分分别从初始的11.73%和12.08%，增加至5月份最高点，为21.12%和26.95%；3月份时整株秸秆全水分最低，为9.74%，原因在于3月份空气较为干燥，相对湿度为46%；打捆秸秆变化则不明显，说明打捆秸秆较为密实，水分扩散速率较慢

。粉碎秸秆全水分整体偏高，最高达30.86%，与其他相比明显存在滞后性，原因在于秸秆粉碎后，比表面积增加，且破坏了其表皮覆盖的蜡质层结构，吸水性较好。

在覆盖条件下，玉米秸秆料堆（除顶部、底部外）与外部环境完全接触，受环境影响较大。另外，受防雨布遮挡，降雨（雪）无法渗透，可能形成局部积水现象。整体上，整株和打捆秸秆全水分基本相同，与环境湿度变化一致，3月份时最低，分别为10.89%和11.04%，4月份比2月份全水分含量分别降低了3.7%和2%，可能因为达到平衡含水率后，温度越高，分子活性越大，全水分降低。粉碎秸秆全水分最高，3月份达到峰值28.06%，原因可能是秸秆表层遭到破坏后，2月末吸收大量水分，散失较慢。

在密封条件下，玉米秸秆料堆几乎与外界隔离，受环境影响最小，另外，受密封布遮挡，降雨（雪）无法渗透，会导致秸秆自身产生的水分无法顺利排出。整体上，三者处理方式秸秆全水分变化一致，分别从初始的11.73%、12.08%和8.62%，增加至3月份最高点，即32.76%、23.49%和33.52%，最后下降到5月份的11.08%、11.36%和19.62%。变化趋势与其他储存方式相比，存在明显的滞后性，其中，整株和粉碎秸秆因密度小，全水分较高，打捆秸秆则偏低。

由以上分析可知，粉碎秸秆全水分含量高且变化幅度较大，本文以粉碎秸秆为例，分析每层全水分的变化规律，如图4。

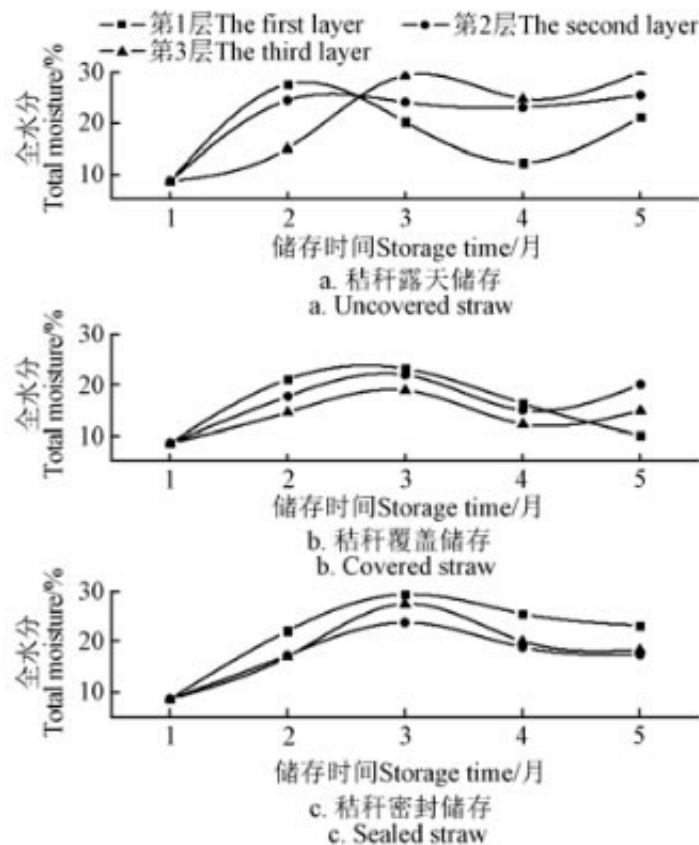


图4 粉碎秸秆全水分梯度变化

Fig.4 Total moisture gradient of crushed stalks

露天储存时，第1层受环境影响最明显，4月份时全水分最低为12.28%。第2层受环境影响较小，全水分处于第1、3层之间，从初始含水率8.62%上升至2月份的24.5%后，几乎不再发生变化。第3层全水分从初始8.62%升高到3月份的29.44%后，一直保持在25%以上，原因可能是受到地表温度、水分的影响。覆盖储存时，秸秆堆只有侧面接触环境，第1层3月份后全水分持续降低，可能受覆盖影响，外界降水无法渗入。第2、3层全水分变化与环境湿度相比，略有滞后，可能因为秸秆组织受到破碎后，散失水分较慢导致。密封储存时，3层秸秆全水分变化趋势基本一致。其中，第1层含量最高，因为密封后，蒸发水分，可能停留在密封布下表面。

2.3温度变化分析

图5为整株、打捆、粉碎秸秆分别在露天、覆盖、密封条件下储存时的日平均温度变化情况。整体略高于环境温度，变化规律与环境温度基本保持一致。其中，仅在第25天时低于环境温度，可能是因为季节变化或者全水分较低导致。说明秸秆长期储存时，温度随时间变化规律主要受外界环境影响。

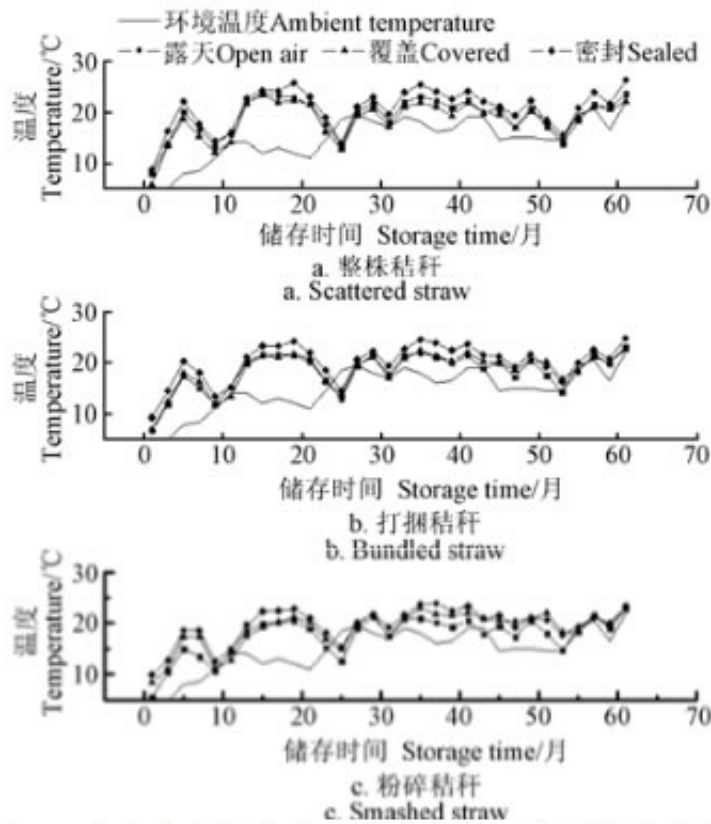


图 5 秸秆在不同状态和储存条件下的平均温度变化
Fig.5 Average temperature changes of straw under different storage methods and straw status

整株状态下，露天储存时秸秆温度变化最小，标准差为3.498%，覆盖、密封储存秸秆略高，分别为3.573%和3.646%。其中，密封秸秆温度平均值最高，且在测试最后1天达到峰值，为26.68，高出环境温度5左右，可能因为气候变暖，太阳辐射增强，自身理化作用释放能量。打捆状态下，玉米秸秆以露天、覆盖、密封形式储存时，温度变化最相近，标准差分别为3.536%、3.364%和3.337%。同整株状态，密封秸秆仍在测试最后1天日平均温度最高，达24.80，略高于环境温度，略低于上述整株状态。粉碎状态下，露天储存秸秆温度变化最大，标准差为3.71%，覆盖和密封储存较小，标准差分别为3.43%、3.24%。相比整株和打捆状态，密封秸秆温度平均值仍为3种储存方式中最高，但在第20天达到最高为23.88。

为研究24h内秸秆垛芯部温度变化情况，选择整株秸秆进行分析讨论（图6），试验当天环境温度在16~30之间，由于太阳直射关系，环境温度一般在早上8:00左右上升，晚上8:00左右下降。3种储存方式的全水分平均值分别为13.12%、11.46%和11.08%。

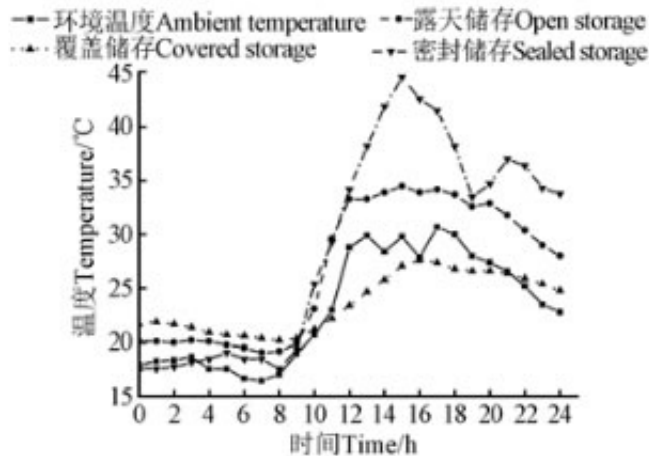


图6 整株秸秆堆温度 24 h 内的变化

Fig.6 Temperature changes of whole stalks during 24 h

露天储存时，秸秆料堆与外部环境完全接触，受环境温度影响最大。0~8h几乎维持平衡，温度变化曲线在露天和密封储存曲线之间，8~12h从19.9 增加至34.5 后无明显变化，然后在20h左右下降到28 。可以知道，整体变化趋势与环境温度变化相同，只是数值略有升高，原因可能是经太阳直射后，外界热量传入秸秆堆。

覆盖储存时，由于遮雨布遮盖，受环境温度影响较小。与另外2种方式比较，温度曲线在1~8h最高，8~15h从20.4 缓慢增加至27.6 后无明显变化，最后在20h左右下降到24.8 。试验期间，温度变化最小，且最接近环境温度。原因可能是覆盖秸秆密度大、受太阳直射影响小，内、外部温度达到平衡。

密封储存时，由于密封布影响，温度变化与环境温度变化相差最大。与另外2种方式比较，温度曲线在第1~8小时最低，第8~14小时从18.5 迅速升高至44.5 ，第14~18小时下降至33.5 后达到动态平衡，最高温度相比外界环境升高了17 。可能因为密封条件下分子活性大、微生物活性强，放热多。

可以知道，露天和覆盖条件下储存的秸秆，温度波动较小；密封条件下储存的秸秆，峰值最大达45 左右，且变化迅速，因此储存时应该注意通风散热，避免自燃。

2.4 发热量变化分析

发热量是生物质原料资源化利用的重要评价指标之一 [5-9]

。由表2可见，整体来看，玉米秸秆收到基低位发热量随时间呈下降趋势，2月份下降较为明显，且与全水分呈负相关变化，可能因为秸秆全水分较大导致。以整株秸秆为例，分别露天、覆盖、密封储存时，1~5月份Qar降低了1512、1608、1612kJ/kg；其中，密封储存秸秆发热量平均值最低，仅11547kJ/kg，分别较露天、覆盖储存下降661、642kJ/kg。

如果扣除水分影响，以干燥基为基准进行分析，整株状态下，露天储存秸秆发热量在12109~14333kJ/kg之间，1-2月份下降趋势明显，降低了686kJ/kg，可能因为全水分较大，受软腐菌、霉菌等侵入，导致腐败，有机物被微生物分解为CO₂和H₂

O；3-4月份则略有提高，可能因为季节、气候变化，全水分含量降低，秸秆中纤维素、木质素等消耗减少导致；覆盖储存秸秆发热量在11619~14252kJ/kg之间，其中1-2月份比整株储存略低，3~5月份略高300kJ/kg左右；密封储存秸秆发热量明显降低，发热量在10003~13779kJ/kg之间，原因在于缺乏雨水冲刷^[6-7]。

打捆状态下，发热量总体比整株状态略高，在10076~15060kJ/kg之间，分别以露天、覆盖、密封方式储存时，变化规律与整株秸秆相似，可能因为打捆预处理后，秸秆密度大且温度略低，微生物活性较低所致。

粉碎状态下，发热量最低，在9521~12904kJ/kg之间，原因可能是秸秆粉碎后，表皮及蜡质层受到破坏，更易受软腐菌、霉菌等侵入。

3种状态下，粉碎秸秆发热量最低不便使用，打捆秸秆略高可优先选择；3种储存条件下，密封储存发热量最低，不适于燃烧利用，应合理根据成本等影响因素选择露天或覆盖储存方式。

表 2 玉米秸秆发热量比较分析
Table 2 Comparative analysis of calorific value for corn straw

秸秆状态 Straw status	储存形式 Storage form	发热量 Low calorific value (kJ/kg ¹)									
		干燥基 Q_d					收到基 Q_w				
		1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May
整株 Whole plant	露天 Open air	14333	12109	13647	13608	12809	13386	10591	12621	12571	11874
	覆盖 Covered	14252	11619	13741	13989	13511	13336	10317	12710	12856	11728
	密封 Sealed	13779	10003	13713	12989	12253	13076	8476	12683	12037	11464
打捆 Strapping	露天 Open air	14981	11781	14311	13928	12192	12715	10644	12873	12461	11119
	覆盖 Covered	15060	12473	15020	14948	14605	14818	10952	14371	13918	13586
	密封 Sealed	13989	10076	14077	12643	12085	12871	8933	12642	11003	10246
粉碎 Smashing	露天 Open air	12904	9521	11831	11946	11173	12099	7921	10770	10481	10107
	覆盖 Covered	12896	10452	13914	11378	10636	12091	8959	12892	11859	9664
	密封 Sealed	12877	9995	11389	10243	10414	12073	8522	10329	11440	8330

2.5工业分析

工业分析包括一般样品水分、灰分、挥发分和固定碳，其中，灰分和挥发分对原料利用影响较大，故本试验主要分析灰分和挥发分的变化规律，试验数据以干燥基为基准。

2.5.1灰分

表3数据显示：随秸秆储存时间延长，灰分含量先迅速上升再略微降低，3 - 4月份分别降低了3.1%、1.5%、6.1%，可能因为降雨增多，冲刷掉一部分灰分，符合本文对发热量变化的分析。3种秸秆状态下，整株和打捆秸秆灰分含量较低且随时间变化小，粉碎秸秆灰分含量高，最高达24%，可能是在秸秆粉碎处理过程中，混入其他杂质所致。

表 3 秸秆灰分变化（干燥基）
Table 3 Ash changes of straw (dry base)

秸秆状态 Straw status	储存形式 Storage form	灰分 Ash /%							
		1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	极差 Poor
整株 Whole plant	露天 Open air	9.55	14.5	14.62	11.5	11.94	12.42	2.15	5.07
	覆盖 Covered	9.55	15.39	10.72	9.18	10.48	10.63	3.04	8.39
	密封 Sealed	9.55	16.25	15.5	9.47	11.81	12.52	3.22	6.78
打捆 Strapping	露天 Open air	11.98	13.02	14.18	13.24	13.27	13.94	2.43	6.2
	覆盖 Covered	11.98	12.24	10.91	10.95	11.85	12.39	1.49	3.96
	密封 Sealed	11.98	11.62	11.45	11.8	13.31	13.23	2.55	6.14
粉碎 Smashing	露天 Open air	12.15	16.17	22.44	18.22	21.51	18.1	4.12	10.29
	覆盖 Covered	12.15	16.74	24.02	16.65	19.45	17.8	4.35	11.87
	密封 Sealed	12.15	19.09	19.76	17.91	19.67	17.52	3.09	7.61

2.5.2挥发分

表4数据显示：秸秆1 - 2月份下降趋势明显，如整株秸秆分别降低了9.15%、7.4%、8.4%，3个月后变化较小，原因可能受微生物分解作用影响。3种秸秆状态下，整株和打捆秸秆挥发分含量相近且较高，达72%左右，粉碎秸秆明显降低，数值仅68%左右。

表 4 挥发分变化 (干燥基)
Table 4 Volatile changes of straw (dry base)

秸秆状态 Straw status	储存形式 Storage form	挥发分 Volatile matter/%							标准差 Standard deviation	极差 Poor
		1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	平均值 Average value			
整株 Whole plant	露天 Open air	78.68.88		70.72	72.67	72.35	72.52	3.41	9.12	
	覆盖 Covered	78.70.59		74.37	74.59	77.2	74.95	2.91	7.41	
	密封 Sealed	78.69.68		70.84	73.68	74.29	73.3	3.25	8.32	
打捆 Strapping	露天 Open air	76.70.73		67.42	71.1	71.06	71.26	3.06	8.58	
	覆盖 Covered	76.72.37		70.78	75.29	72.87	73.46	2.15	5.22	
	密封 Sealed	76.71.28		67.55	72.64	72.82	72.06	3.06	8.45	
粉碎 Smashing	露天 Open air	73.99 69.87 66.37			62.13 67.99		68.07	4.37	11.86	
	覆盖 Covered	73.99 68.21 62.49			69.43 66.44		68.11	4.20	11.5	
	密封 Sealed	73.99 65.7 64.67 65.89				65.63	67.18	3.84	9.32	

3结论

1) 秸秆储存过程中, 储存条件比预处理方式对全水分影响大。粉碎秸秆平均全水分含量最高达19.16%, 整株和打捆秸秆较低, 分别为15.71%和15.34%。由于环境湿度和自身理化作用影响, 露天和密封储存时的全水分含量较覆盖储存高。同一秸秆垛比较时, 每层全水分含量变化规律相同, 但数值有明显区别, 可能因为预处理时秸秆组织发生破坏, 吸水或散失水的能力不同。

2) 秸秆长期储存时, 平均温度普遍比环境温度高。秸秆温度变化与外界环境、全水分含量密切相关, 3种不同预处理方式的秸秆, 日平均温度变化不明显, 极差仅在3.24~3.71之间。整株秸秆在露天、覆盖、密封条件下储存时温度最高值分别为40.8、35.4、44.7, 打捆秸秆上述数据为32.7、30.3、35.8, 粉碎秸秆为40.5、39.3、43.7, 打捆秸秆易于安全储存, 整株、粉碎秸秆储存量多时, 应该保持环境通风良好。

3) 以干燥基为基准时, 整株和打捆秸秆发热量相近, 平均值在14000kJ/kg左右, 粉碎秸秆较低在13000kJ/kg左右, 且密封储存较露天和覆盖储存低, 长期储存时, 受微生物和雨水冲刷影响。以收到基为基准时, 发热量明显降低, 发热量与全水分呈负相关变化。整体来说, 秸秆灰分随时间升高, 1~5月份增加了3%左右; 挥发分降低, 1~5月份降低了约6%, 其中, 粉碎秸秆灰分含量最高, 挥发分最低, 且在不同储存条件下无明显变化。

4) 从秸秆高效利用角度考虑: 粉碎秸秆因发热量和挥发分低、含水率和灰分高, 不利于能源利用, 打捆秸秆比整株秸秆易储存, 但成本较高; 3种储存条件下, 密封储存不建议使用, 露天和覆盖储存因各参数指标变化不一致, 需要进一步研究。

[参考文献]

- [1]崔明, 赵立欣, 田宜水, 等.中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J].农业工程学报, 2008, 24(12): 291 - 296.
- [2]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.
- [3]刘建辉, 谢祖琪, 姚金霞, 等.农作物秸秆在遮雨通风条件下的储存研究[J].西南农业学报, 2012, 25(5): 1889 - 1894.
- [4]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, 2011, 33(7): 130 - 136.
- [5]张中波, 田宜水, 侯书林, 等.生物质颗粒燃料的储藏理化特性变化规律[J].农业工程学报, 2013, 29(1): 223 - 229.
- [6]William A Smith, Ian J Bonner, Kevin L Kenney, et al.Practical considerations of moisture in baled biomass feedstock[J].Biofuels, 2013, 4(1): 95 - 110.
- [7]Kevin L Kenney, William A Smith, Garold L Gresham, et al.Understanding biomass feedstock variability[J].Biofuels, 2013, 4(1): 111 - 127.
- [8]霍丽丽, 田宜水, 赵立欣, 等.生物质原料持续供应条件下理化特性研究[J].农业机械学报, 2012, 43(12): 107 -

113.

- [9]霍丽丽, 孟海波, 田宜水, 等.粉碎秸秆类生物质原料物理特性试验[J].农业工程学报, 2012, 28(11): 189 - 195.
- [10]田宜水, 姚宗路, 欧阳双平, 等.切碎农作物秸秆理化特性试验[J].农业机械学报, 2011, 42(9): 124 - 145.
- [11]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.
- [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]熊昌国, 谢祖琪, 易文裕, 等.农作物秸秆能源利用基本性能的研究[J].西南农业学报, 2010(5): 1725 - 1732.
- [14] Yuan J S, Wang X, Stewart Jr NS. Biomass feedstock: diversity as a solution[J]. Biofuels, 2001, 2(5): 491 - 493.
- [15]周晶, 吴海涛, 丁士军, 等.秸秆资源收获季节性及其能源供应持续性分析[J].资源科学, 2011, 33(8): 177 - 183.
- [16]霍丽丽, 田宜水, 赵立欣, 等.农作物秸秆原料物理特性及测试方法研究[J].可再生能源, 2011, 29(6): 86 - 92.
- [17]周捍东, 徐长妍, 丁沪闽, 等.木材散碎物料基本堆积特性的研究[J].木材加工机械, 2002, 13(6): 7 - 17.
- [18] Athanasios A Rentizelas, Athanasios J Tolis, Ilias PTatsiopoulou, et al. The Storage problem and the multi-biomass supply chain[J]. Renewable Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(4).
- [19]艾玉春, 王炜, 李鹏霞, 等.甘蔗在贮藏期间营养与生理变化研究[J].食品科学技术学报, 2013, 31(2): 37 - 42.
- [20]虞洪章, 刘建辉, 谢祖琪, 等.秸秆成型加工技术的试验研究[J].西南大学学报, 2009(11): 133 - 139.
- [21]赵丽华, 莫放, 余汝华, 等.贮存时间对玉米秸秆营养物质损失的影响[J].中国农学通报, 2008, 24(2): 4 - 7.
- [22] Sokhansanj S, Turhollow A, Cushman J, et al. Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy[J]. Biomass and Bioenergy, 2002, 23(5): 347 - 355.
- [23] Ragland K W, Aerts D J. Properties of wood for combustion analysis[J]. Bioresource Technology, 1991, 37(2): 161 - 168.
- 原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/106923.html>