

常子磐,李来武,严经天,等. 菊芋、玉米和大豆秸秆颗粒状燃料的燃烧性能比较[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):308-310.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.03.100

# 菊芋、玉米和大豆秸秆颗粒状燃料的燃烧性能比较

常子磐<sup>1,2</sup>, 李来武<sup>1</sup>, 严经天<sup>1</sup>, 林源野<sup>1</sup>, 王长海<sup>1,2</sup>, 赵耕毛<sup>1,2</sup>

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏省海洋生物学重点实验室, 江苏南京 210095)

**摘要:** 菊芋发酵生产生物乙醇的研究报道较多,但是迄今还没有被研究用于生产生物质固体燃料的报道。比较了菊芋、玉米和大豆秸秆加工成的生物质固体燃料的化学组成以及燃烧特性,结果表明:菊芋秸秆加工的生物质固体燃料的燃点和灰分均低于玉米秸秆和大豆秸秆所生产的生物质固体燃料,但其放热量要高于后两者,挥发分高于常规固体燃料加工原料玉米秸秆。菊芋秸秆加工的生物质固体燃料燃烧所释放的酸性气体量极低,燃烧性能明显优于玉米、大豆秸秆等加工的大众固体燃料,因此它是一种有前景、可替代化石能源的新型固体燃料。

**关键词:** 菊芋;玉米;大豆;生物质秸秆;燃烧性能;固体成型燃料

**中图分类号:** S216.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)03-0308-03

我国是能源生产大国和消费大国,其中煤炭消耗量占全球煤炭消耗总量的 48.2%<sup>[1]</sup>。同时,我国也是化石能源非常短缺的国家。开发利用新的能源成为缓解资源紧张和保护环境的迫切任务。我国是农业大国,每年农业废弃物的生产量高达 7 亿 t,这些生物质原料多数未被有效利用,每年可作生物质燃料利用的有 3 亿~4 亿 t,其中有相当一部分是被直接烧掉,这不仅浪费了资源而且破坏了环境<sup>[2]</sup>。以玉米、大豆、麻风树等较为经济的农作物为原料,经过加工产生块状燃料<sup>[3-5]</sup>,不仅使这些废弃的生物质作为一种可再生资源加以利用,而且起着保护和改善生态环境的重要作用。菊芋(*Helianthus tuberosus* L.) 是一种菊科向日葵属宿根性草本植物<sup>[6]</sup>,原产于北美洲的温带地区,自 17 世纪一直生长在欧洲<sup>[7]</sup>,现在也被广泛种植在我国山西、黑龙江、山东、江苏以及土壤贫瘠的地区<sup>[8-11]</sup>。菊芋以其优异的经济、环保、能源开发价值越来越受到国内外能源专家的重视<sup>[12]</sup>。本研究以能源植物菊芋、玉米、大豆等秸秆为原料,采用比较研究的方

法,探讨不同农业秸秆固体成型燃料的燃烧性能,为研究开发出燃烧性能好、环保标准高的新型生物质固体成型燃料提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验仪器设备

试验采用山东宇龙机械有限公司生产的 SG50 型秸秆粉碎机、沙克龙和 SKJ300 秸秆颗粒机、LSJ190 螺旋提升机;鹤壁鑫泰高科仪器制造有限公司生产的 ZDHW-2010B 型微机压缩制冷全自动量热仪、XTRD-5 型燃点测试仪和 JXL-620 型智能马弗炉;德国 RBR 公司生产的 J2KN 型烟气分析仪;德国赛多利斯公司生产的 BSA224S 型电子天平。

### 1.2 试验场地概况

试验在南京农业大学滩涂农业试验站(江苏大丰)固体成型燃料中试生产车间进行。固体成型燃料中试生产车间位于江苏省盐城市海洋生物产业园。

### 1.3 供试材料及工艺流程

收集试验站内菊芋、玉米、大豆等农作物秸秆,并在固体成型燃料中试生产车间,分批次将农作物秸秆粉碎、过筛,调整秸秆粉末湿度,经 SKJ300 秸秆颗粒机将秸秆粉末压缩成型,获得不同农作物秸秆加工而成的固体成型燃料样品(图 1)。经上述工艺流程加工处理出的试验产品见图 2。

收稿日期:2014-03-21

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)1005];南京农业大学 2013 年国家级 SRT 项目(编号 201310307022)。

作者简介:常子磐(1988—),男,内蒙兴安盟人,硕士,从事农作物秸秆高能利用研究。E-mail:czp01@163.com。

通信作者:赵耕毛,副教授,从事海洋生物学、滩涂盐碱地改良研究。E-mail:seawater@njau.edu.cn。

[10] 路艳君. 重金属离子对盐藻和新月菱形藻的生长的影响[D]. 烟台:烟台大学,2010.

[11] 油秋平,支崇远,王璐,等. 赤水河底栖硅藻多样性及其与重金属相关性分析[J]. 江苏农业科学,2013,41(10):347-349.

[12] Sun B Y, Ya P, Shi Z L, et al. Effects of chromium(VI) on the growth phytoplankton in sea water[J]. J Ocean Univ Qingdao, 1990,20(4):1-8.

[13] 姜彬慧,林碧琴. 重金属对藻类的毒性作用研究进展[J]. 辽宁大学学报:自然科学版,2000,27(3):281-287.

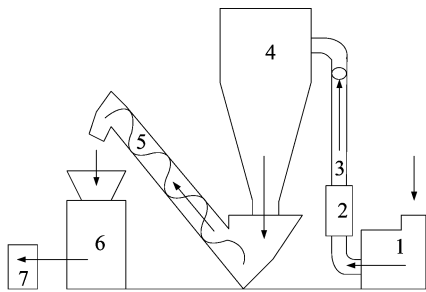
[14] 邱昌恩. 六种常见重金属对藻类的毒性效应概述[J]. 重庆医科大学学报,2006,31(5):776-778.

[15] Li R C. Effects of cadmium and Lead on physiological and ultrastructural features in tobacco leaves[J]. Acta Phytoecologica Sinica,2000,24(2):238-242.

[16] Fernandes J C, Henriques F S. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants[J]. The Botanical Review,1991,57(3):246-273.

[17] Gordon R, Drum R W. A capillarity mechanism for diatom gliding locomotion[J]. Proc Natl Acad Sci USA,1970,67:338-344.

[18] Edgar L A, Pickett-Heaps J D. Diatom locomotion[J]. Prog Phycol Res,1984,3:47-88.



1—粉碎机；2—干燥装置；3—管道；4—沙克龙；5—螺旋提升机；6—颗粒机；7—干燥箱

图1 固体生物质燃料生产流程

将固体成型燃料样品带回南京农业大学江苏省海洋生物学重点实验室分析。选取菊芋、玉米、大豆等固体成型燃料样

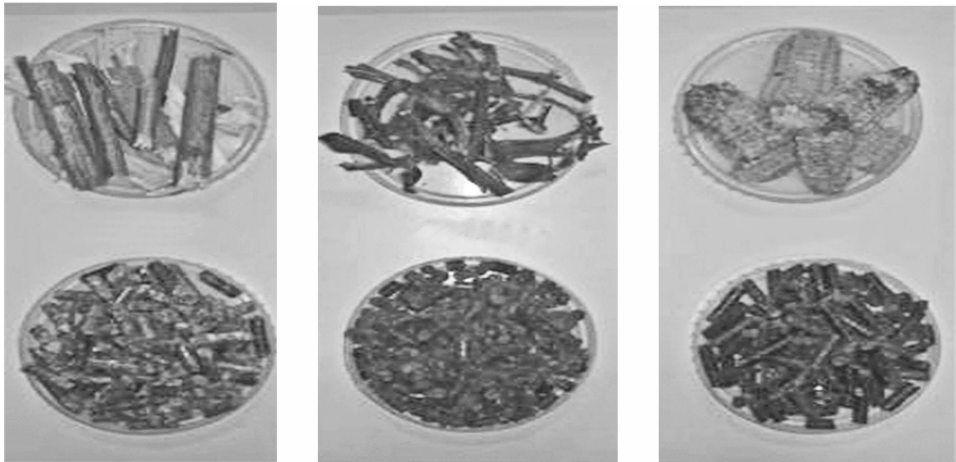


图2 经上述工艺流程加工处理出的试验燃料产品

表 1 生物质固体燃料的化学成分

原料类型	纤维素含量 (%)	半纤维素含量 (%)	木质素含量 (%)	水分 (%)
菊芋秸秆	46.1 ± 1.2a	15.7 ± 0.8a	23.2 ± 2.5b	9.1
玉米秸秆	46.6 ± 2.5a	10.8 ± 0.6b	24.7 ± 3.6ab	7.9
大豆秸秆	41.0 ± 1.6b	15.3 ± 0.6a	28.8 ± 2.1a	8.3

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 菊芋、玉米、大豆秸秆固体成型燃料燃烧参数

由表 2 可知，菊芋固体成型燃料的燃点明显低于大豆、玉米秸秆固体成型燃料，分别降低了 45.1、16.6 °C，表明菊芋秸

表 2 不同农作物秸秆固体成型燃料燃烧参数分析

燃料类型	燃点 (°C)	放热量 (J/g)	固定碳量 (%)	挥发分 (%)	灰分 (%)
菊芋秸秆成型燃料	238.2 ± 4.7c	18 460.0 ± 816.8a	23.2 ± 2.5b	72.23 ± 2.5a	3.97 ± 0.01c
玉米秸秆成型燃料	254.8 ± 9.3b	15 686.3 ± 668.0c	15.3 ± 0.6c	70.26 ± 0.6a	5.82 ± 0.02b
大豆秸秆成型燃料	283.3 ± 3.2a	15 866.0 ± 974.0 b	28.8 ± 2.1a	62.67 ± 4.3b	6.34 ± 0.01a

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.2 固体成型燃料烟气成分分析

将 3 类生物质秸秆加工的固体成型燃料于马弗炉内 900 °C 充分燃烧，并于排气口接收烟气监测，烟气分析仪测

品各 3 份，每份质量 200 g，作为分析测试样品，分析时各设置 2 次平行。生物质固体燃料化学成分分析结果见表 1。

1.2.3 分析检测方法 采用 ZDHW-2010B 型微机压缩制冷全自动量热仪和 XTRD-5 型燃点测试仪联机测定固体成型燃料放热量和燃点，烟气分析仪（德国）分析固体成型燃料烟气成分。灰分的测定：在温度 ( $550 \pm 10$ ) °C 下，通过计算样品在空气中加热后剩余物的质量占样品总质量的百分比来测定灰分<sup>[13]</sup>。挥发分的测定：试验样品在隔绝空气的环境中 ( $900 \pm 10$ ) °C 加热 7 min，通过去除水分质量损失后，试验样品质量损失占样品质量的百分数来计算挥发分<sup>[14]</sup>。

1.3 数据统计分析

试验数据经 Excel 处理后，经 SPSS 18.0 软件进行多重比较和差异性显著分析。

秆固体成型燃料在相同条件下更容易点燃。放热量由大到小依次为菊芋秸秆固体成型燃料 > 大豆秸秆固体成型燃料 > 玉米秸秆固体成型燃料，且差异显著 ( $P < 0.05$ )，说明菊芋秸秆加工的固体成型燃料燃烧产生的热值更高。菊芋、大豆、玉米秸秆加工的 3 种生物质固体成型燃料均已达到了二类烟煤的发热量标准 ( $> 15\,490 \sim 19\,080$  J/g)<sup>[15]</sup>。此外，3 种不同生物质固体燃料的挥发分所占比例较高，菊芋和玉米秸秆生物质固体燃料的挥发分含量 70% 以上，与大豆秸秆生物质固体燃料差异显著 ( $P < 0.05$ )，而菊芋秸秆生物质固体燃料的燃点明显优于玉米和大豆秸秆生物质固体燃料；菊芋秸秆固体成型燃料的灰分最低，单位质量的燃料中灰分会更少，可燃成分更多。因此，通过燃点、放热量和挥发分的比较可见，菊芋秸秆生物质固体燃料是一种新型的优质固体成型燃料。

定结果（表 3）表明，3 类秸秆所形成的烟气成分中氮氧化性气体化合物含量极低。由于是在马弗炉内高温充分燃烧，生物质秸秆中的碳元素被充分燃烧成二氧化碳气体，生成的一

氧化碳和其他碳氢化合物较少。3 类秸秆加工的固体成型燃料燃烧后产生的二氧化碳的量几近相同,并远远低于单位质量煤炭所产生的二氧化碳的量。大豆秸秆和玉米秸秆所产生的

二氧化氮、二氧化硫气体稍多于菊芋秸秆燃烧后所产生的量。就整体气体排放来看,菊芋秸秆固体燃料释放的烟气少于玉米、大豆秸秆等大众固体成型燃料,且完全符合环保要求<sup>[19]</sup>。

表 3 不同农作物固体成型燃料烟气成分分析

燃料类型	室温 (℃)	烟温 (℃)	烟气成分							
			O <sub>2</sub> (%)	CO (mg/L)	NO (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	SO <sub>2</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> S (mg/L)	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (mg/L)	CO <sub>2</sub> (%)
菊芋秸秆固体燃料	27	110.9	6.64	141	6	9	11	6	57	20.3
玉米秸秆固体燃料	25	111.0	6.30	166	10	13	20	11	42	21.4
大豆秸秆固体燃料	29	122.0	5.60	189	14	16	17	14	37	20.8

3 讨论与结论

3.1 秸秆固体成型燃料的燃点与放热量

菊芋固体燃料放热量高主要是因为灰分含量低、可燃成分的比例高。在可燃物系统内,不同组成成分发生化学反应可以自动加速而达到自然着火的最低温度。不同的生物质之间着火温度相差明显,单位质量放热量也有明显差别,这估计是由它们之间的纤维素、半纤维素和木质素含量不同造成的。

3.2 秸秆固体成型燃料的灰分与挥发分

生物质秸秆的挥发分含量占到 60% 左右,远高于普通褐煤(31% ~ 45% 挥发分),也高于普通烟煤(40% ~ 44% 挥发分)<sup>[16]</sup>。生物质固体燃料的灰分所占比例较低,低于褐煤(10% ~ 50% 灰分)、普通烟煤(9% ~ 15% 灰分)<sup>[17]</sup>。在 3 种不同的生物质固体燃料中菊芋秸秆固体燃料的挥发分稍高于玉米秸秆和大豆秸秆,而灰分含量低于玉米秸秆和大豆秸秆。

3.3 秸秆固体成型燃料的烟气组成

生物质中所含主要化学元素是 C、H、O 和少量的 N、S 等,由于 C 的含量低于煤<sup>[18]</sup>,而 H、O 含量都高于煤,因此生物质有更高的挥发分含量、较少的灰分含量。秸秆的碳元素含量低于煤,氢、氧元素含量高于煤,从而使生物质秸秆有高于煤的 H/C、O/C,因此生物质秸秆有更高的挥发分含量,但含碳量低导致生物质秸秆的放热量会低于煤炭。生物质秸秆所含氮、硫元素极低,从烟气成分分析可以看出燃烧所产生的的烟气成分中氮、硫氧化气体极少<sup>[19]</sup>,符合环境保护的要求。

综上所述,菊芋秸秆是生产加工生物质固体燃料的优良原料,菊芋秸秆用于加工固体燃料存在较大空间和可行性。

参考文献:

[1] 朱法华,王 圣. 如何推动我国煤炭消费总量控制[J]. 环境保护,2012(12):37-40.  
[2] 孙振钧,袁振宏,张夫道. 农业废弃物资源化与农村生物质资源战略研究报告[R]. 国家中长期科学和技术发展规划战略研究,2004.  
[3] Vinterbäck J. Pellets 2002: the first world conference on pellets[J]. Biomass and Bioenergy,2004,27:513-520.  
[4] Kaliyan N,Vance R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products[J]. Biomass and Bioenergy,2009,33:337-359.  
[5] Öhman M,Boman C,Hedman H,et al. Slagging tendencies of wood pellet ash during combustion in residential pellet burners[J]. Bio-

mass and Bioenergy,2004,27(6):585-596.  
[6] Monti A,Amaducci M T,Venturi G. Growth response, leaf gas exchange and fructans accumulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as affected by different water regimes[J]. Eur J Agron,2005,23(2):136-145.  
[7] Slimestad R,Seljaasen R,Meijer K,et al. Norwegian - grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo - oligosaccharides in stems and tubers[J]. J Sci Food Agric,2010,90(6):956-964.  
[8] Ma X Y,Shangguan T L. Species diversity of the forest communities in Taiyue Mountain, Shanxi [J]. J Mountain Sci, 2004, 22, 606-612.  
[9] Long X H,Chi J H,Liu L,et al. Effect of seawater stress on physiological and biochemical response of five Jerusalem artichoke ecotypes[J]. Pedosphere,2009,19(2):208-216.  
[10] Zhao G M,Mehta S K,Liu Z P. Use of saline aquaculture wastewater to irrigate salt - tolerant Jerusalem artichoke and sunflower in semi-arid coastal zones of China[J]. Agr Water Manage,2010,97:1987-1993.  
[11] Xue Y F,Liu Z P. Antioxidant enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem artichoke cultivars under salt stress[J]. Russ J Plant Physiol,2008,55(6):776-781.  
[12] Swanton C J,Cavers P B,Clements D R,et al. The biology of Canadian weeds. 101. *Helianthus tuberosus* L. [J]. Can J Plant Sci, 1992,72,1367-1382.  
[13] Yuan Y,Tian Y,Zhao L,et al. Influence of different additives on slagging characteristics of stalks biomass pellet fuel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27 (Suppl 2):99-103.  
[14] 何启林,王德明. 煤水分含量对煤吸氧量与放热量影响的测定[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(3):358-362.  
[15] 朱法华,李 辉,邱曙光. 烟气排放连续监测技术的发展及应用前景[J]. 环境监测管理与技术,2010,22(4):10-14,49.  
[16] 崔 宪. 影响煤炭挥发分测定的主要因素分析[J]. 商品与质量·学术观察,2013(9):236-236.  
[17] 洪 军. 快速灰化法测定煤中灰分的探讨[J]. 煤质技术,2010(3):28-30.  
[18] 李毓婷. 含碳固废作型煤添加剂的研究及型煤特性分析[D]. 太原:山西大学,2012.  
[19] 王浩青,贺军荪. 湿法烟气脱硫的烟气排放[J]. 能源环境保护,2009(3):18-19,25.