

水葫芦粉碎程度对脱水效果影响的中试

杜 静, 常志州*, 叶小梅, 徐跃定, 张建英

(江苏省农业科学院; 江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 南京 210014)

摘 要: 水葫芦脱水技术一直是实现其资源化利用的瓶颈, 高效率、低成本的挤压脱水设备研发至关重要。试验以自主研发的 SHJ-400 型水葫芦固液分离机和特殊立式潜污泵(吸口朝上)为基础, 采用人工进料方式粉碎水葫芦并通过调节立式粉碎机电动机频率和刀片层数获得不同粉碎程度的水葫芦, 首先经过初步试验研究水葫芦粉碎粗细对脱水效果的影响, 然后依据脱水设备适宜的水葫芦粉碎粗细要求设计出卧式甩刀粉碎机, 并对整套设备(包括粉碎和脱水)进行中试试验。结果表明, 随着水葫芦粉碎程度提高, 脱水率增加, 但与此同时, 粉碎的耗能增加, 脱水残渣中固形物以及氮、磷、钾等养分流失比例也随之增加, 研究发现水葫芦粉碎度为 32.92(即粉碎后水葫芦残体长度小于 5cm 达 88% 以上)的工况条件较好, 所得残渣含水率为 83.65%, 且试验过程中的总耗能最低, 仅 6.39 kW·h/t, 在工程运行中, 此结果得到进一步验证, 且粉碎与脱水效率更高, 总能耗(粉碎+脱水)已降低至 2.28~2.72 kW·h/t。按照日处理 200 t 水葫芦折算其处理成本为 4.5 元/t(不考虑设备折旧等其他成本)。可见, 此套设备(粉碎和脱水)及工程化技术的研发为水葫芦综合利用产业化的形成提供了技术保障, 具有较好的应用前景。

关键词: 试验, 粉碎, 脱水, 潜污泵, 水葫芦

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.05.035

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-05-0207-06

杜 静, 常志州, 叶小梅, 等. 水葫芦粉碎程度对脱水效果影响的中试[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 207-212.

Du Jing, Chang Zhizhou, Ye Xiaomei, et al. Pilot-scale study on dehydration effect of water hyacinth with different pulverization degree[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 207-212. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

长期以来, 水葫芦被认为是世界十大生物入侵植物之一, 其惊人的繁殖速度所导致的泛滥问题引起了各国政府和学者的关注^[1-5]。与此同时, 它可以有效去除污染水体中的悬浮物、生化需氧量(BOD)、各类营养物质、重金属及病原体^[6-7]。因此, 越来越多的学者认为水葫芦是用作水体修复最好的材料。

已报道的水葫芦资源化利用方式主要有饲料化与肥料化利用^[8]; 用于造纸、制作木板、手工艺品和家具^[9]; 用于生产饮料与食品^[10]以及用作生防制剂与食用菌基质生产的原料^[11-12]。然而, 水葫芦含水量高达 95% 以上, Solly^[13]研究表明将初始含水量为 95.8% 的水葫芦在 25℃、相对湿度 68% 条件下处理 15 d 后, 其含水量仅降低至 72%。可见, 如果不进行脱水处理, 将大大增加运输成本以及后续资源化利用的难度, 杜静、朱德文等^[14-16]对水葫芦脱水特性和脱水设备进行了相关研究, 但是, 工厂化

处理水葫芦对脱水设备的高效、低成本以及成套设备间的接口技术提出了更高的要求。因此, 适应水葫芦工厂化脱水要求的成套设备研发及其工艺运行参数对水葫芦资源化利用技术的推广至关重要。

本文以自行研制的 SHJ-400 型水葫芦固液分离机和特殊立式潜污泵(吸口朝上, 专利号 ZL201120099096.3)为基础, 在人工送料粉碎条件下, 通过调节立式粉碎机电动机频率或刀片层数以获得不同粉碎粗细的水葫芦, 首先经初步研究水葫芦粉碎粗细对脱水效果的影响, 然后依据脱水设备适宜的水葫芦粉碎粗细要求将立式粉碎机改进为卧式甩刀粉碎机, 并对整套设备(包括粉碎和脱水)进行中试试验其粉碎效果, 以期水葫芦脱水工厂化运行工艺参数优化及其设备定型提供相关基础数据技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

新鲜水葫芦采自江苏省农业科学院“2 号塘”, 其基本性状见表 1, 打捞上岸后立即进行粉碎试验。

表 1 新鲜水葫芦基本性状(养分以干基计)

Table 1 Basic properties of fresh water hyacinth(dry base for nutrients)

高度/m	含水率/%	灰分/%	凯式氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)
1.00~1.20	93.55	1.40	30.09	7.96	42.51

收稿日期: 2011-03-06 修订日期: 2012-02-22

基金项目: 国家科技支撑计划(No.2009BAC63B02), 云南省社会事业发展专项(2009CA034)

作者简介: 杜 静(1982-), 男(汉族), 四川眉山人, 助理研究员, 主要从事农业固体废物资源化技术研究。南京 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 210014。Email: dj1982111@126.com;

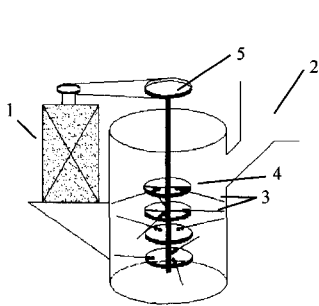
*通信作者, 常志州(1957-), 男, 研究员, 主要从事农业固体废物资源化技术研究, 南京 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 210014。Email: czhizhou@hotmail.com

1.2 试验设计

1.2.1 工程初步试验

试验设计见表 2。单次试验的新鲜水葫芦用量为 1.5 t，采用人工送料方式，并通过调节立式粉碎机 (9SF-800 型，南京华星制药设备有限公司，见图 1，功率 $P=11\text{ kW}$ ，粉碎机主体直径 $D=800\text{ mm}$ ，安装 4 层刀片，每层各 3 个) 电动机频率或刀片层数获得不同粉碎度的水葫芦，其中粉碎度是指物料被粉碎后的细度，常以粉碎前物料的平均长度 (L_0) 与粉碎后物料的平均长度 (L_1) 的比值 N 来表示

$$N = \frac{L_0}{L_1}$$



注: 1.电动机 2.进料口 3.刀片 4.刀片盘 5.法兰盘及轴承

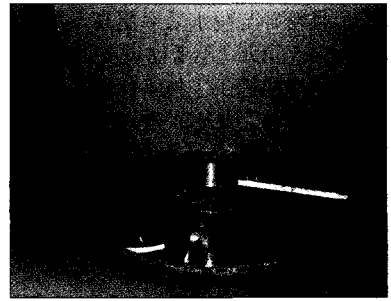
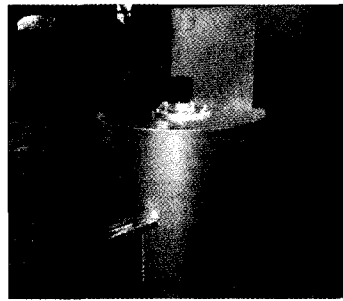


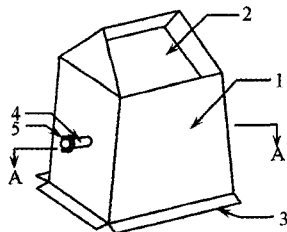
图 1 立式粉碎机示意图和实物图

Fig.1 Schematic drawing and material object of vertical grinder

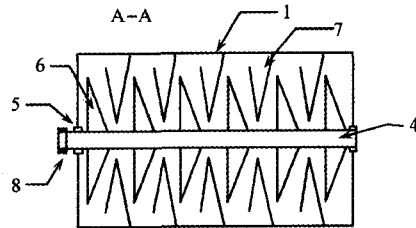
试验期间，计量并记录各处理粉碎耗时、耗能、粉碎料的密度、脱水时间、耗能、脱水残渣质量及密度、挤压汁的体积等，并对收集池中挤压汁混合均匀后进行取样，而脱水残渣样品采用多点法采集，4℃冷藏，及时进行理化性状分析。

1.2.2 工程中试试验

中试试验在江苏省常州武进水葫芦中试示范基地进行。水葫芦粉碎采用自行研制的水生植物专用粉碎机 (即卧式甩刀粉碎机，授权专利号: ZL 201120099076.6，见图 2， $P=7.5\text{ kW}$ ，型号 SHJ-400 型，处理能力 20~30 t/h)。单次试验所需水葫芦质量 30 t，重复 3 次。



a. 侧视图



b. 剖面图

注: 1.箱体 2.进料口 3.外翻安装角铁 4.旋转刀座 5.轴承 6.旋转刀片组 7.固定刀片组 8.法兰盘

图 2 水生植物专用粉碎机示意图

Fig.2 Schematic drawing on special grinder with aquatic plant

表 2 试验设计表

Table 2 Experimental design

处理	方案设计
1	一层刀片 (刀片在第 2 层, 电动机频率由 50 Hz 调整为 35 Hz)
2	一层刀片 (刀片在第 2 层, 电动机频率由 50 Hz 调整为 45 Hz)
3	二层刀片 (刀片在第 1、3 层, 45 Hz)
4	三层刀片 (刀片在第 1、3、4 层, 45 Hz)
5	二层刀片粉碎 2 遍 (刀片在第 1、3 层, 45 Hz)

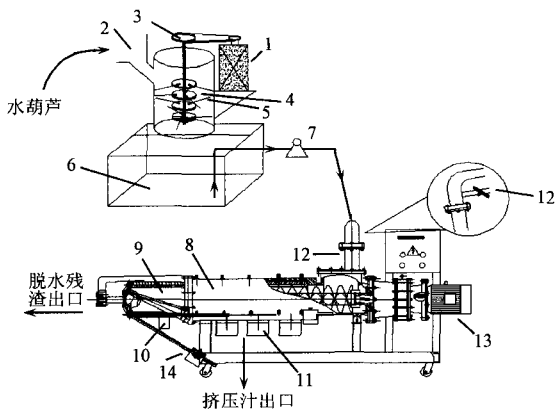
粉碎度与粉碎后的物料平均长度成反比，即粉碎度愈大，物料长度愈小。此处平均长度采用加权平均法计算得出；试验所用的水葫芦脱水设备采用自主研发的 SHJ-400 型水葫芦固液分离机 (功率 $P=11\text{ kW}$ ，螺旋挤压通道有效直径 $D=400\text{ mm}$ ，处理量为 6~10 t/h) [16]。

1.3 测试方法

水葫芦物料粗细测定: 粉碎后物料随机采集 200 g 样品，由于潜污泵吸料口的有效宽度为 5 cm，故以 5 cm 为界，按照人为设定标准 ($>8\text{ cm}$ 、 $5\sim 8\text{ cm}$ 、 $<5\text{ cm}$) 分别称质量以折算百分比，然后按照 $>8\text{ cm}$ 以 10 cm 计、 $5\sim 8\text{ cm}$ 以 6 cm 计、 $<5\text{ cm}$ 以 3 cm 计并通过加权方法折算出测试物料的平均长度，试验重复 5 次，取平均值；密度测定: 采用 200 L 的周转箱装满后 (不压实) 称质量；电耗: 单相电子式电能表 DDSY879-D；残渣质量: 用保衡电子秤 TCS-100 称质量；悬浮物浓度 (SS) 和挤压汁养分分析: 参照《水和废水监测分析方法》第三版 [17]；残渣养分测定: 参照《土壤农化分析》 [18]。

1.4 工艺流程

试验设备及工艺流程示意图如图 3 所示，处理工艺采用即时粉碎即时脱水方式，即新鲜水葫芦打捞上岸后首先经粉碎机粉碎入调节池，然后加水混合（仅初次加水，后续则采取汁液回用，加水比例为水葫芦：水=1：0.6）后经立式潜污泵（授权专利 ZL 201120099096.3）抽吸入螺旋式固液分离机（功率 $P=11\text{ kW}$ ，螺旋挤压通道有效直径 $D=400\text{ mm}$ ，处理量为 $6\sim 10\text{ t/h}$ ，出渣含水率 $80\%\sim 85\%$ ）进行脱水处理，挤压汁液一部分回用至调节池（回用量以调节粉碎水葫芦与水比例为 1：0.6），多余部分则进入挤压汁贮存池，作为后续资源化利用环节的原料。



1、13.电动机 2.粉碎机进料口 3.固定轴 4.刀盘 5.刀片 6.进料池
7.吸料泵（吸口朝上） 8.挤压通道 9.可调节式出料装置 10、11.挤压汁出口 12.进料口（带调节阀） 14.助力臂及压锤

图 3 水葫芦脱水工艺流程示意图

Fig.3 Schematic drawing of craft route on dehydration with water hyacinth

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 统计软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 初步试验

2.1.1 水葫芦粉碎粗细对脱水效果的影响

水葫芦脱水效果的好坏受到处理成本、脱水残渣含水率以及脱水残渣中的干物质保存率等因素影响，即在较低脱水成本下所获得的残渣含水率越低且残渣中的干物质保存率越高，则其脱水效果越好。初步试验中水葫芦不同粉碎粗细对脱水效果的影响如表 3 所示，从处理 1 到处理 5 随着电动机转速和刀片层数的增加，粉碎度成增加趋势，特别是处理 5（水葫芦经 2 次粉碎），粉碎度达到 57.50，是处理 1 的 1.9 倍；随着粉碎度的增加，粉碎 1 t 水葫芦的能耗呈现先升高后降低的趋势，而脱水 1 t 水葫芦的能耗则一直下降，脱水残渣含水率呈明显下降趋势，与此同时，挤压汁中的悬浮物浓度相应逐渐增加，这主要是粉碎度增加后，植物细胞大量的内容物被挤压出筛网所致，从而也造成了脱水残渣中的干物质保存率逐步降低。此外，统计分析发现，随着粉碎程度的增加，其挤压汁中的水溶性物质（SCOD）基本无显著差异，表明当粉碎度达到一定后，物料经挤压脱水而进入到汁液中的水溶性物质已达极限。

可见，处理 1 t 水葫芦所需的能耗成本（包括粉碎和脱水）以处理 2 和处理 3 较低，分别为 $6.42\text{ kW}\cdot\text{h}$ 和 $6.38\text{ kW}\cdot\text{h}$ ，然而处理 3 所得残渣含水率远低于处理 2，仅为 83.65% ，且总耗时和总耗能均最低，总耗能仅为 $6.39\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ ，表明处理 3 的工况条件下处理水葫芦的效果为较好。因此，中试试验以处理 3 的粉碎效果为基础展开。

表 3 水葫芦粉碎粗细对脱水效果的影响

Table 3 Influence of dehydration effect with water hyacinth under different degree of pulverization

测试指标	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	
新鲜水葫芦质量/t			1.5			
粉碎实际转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	1680	2240	2240	2240	2240	
粉碎度 N	$30.23\pm 0.52\text{ Aa}$	$30.72\pm 0.19\text{ Aa}$	$32.92\pm 0.28\text{ Bb}$	$33.70\pm 0.69\text{ Bb}$	$57.50\pm 0.43\text{ C}$	
粉碎效率/($\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$)	$1.94\pm 0.04\text{ a}$	$2.22\pm 0.03\text{ b}$	$2.81\pm 0.02\text{ c}$	$2.43\pm 0.11\text{ d}$	$1.58\pm 0.05\text{ e}$	
单位粉碎耗能/($\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{t}^{-1}$)	$2.60\pm 0.04\text{ a}$	$2.93\pm 0.03\text{ b}$	$3.33\pm 0.02\text{ c}$	$4.73\pm 0.07\text{ d}$	$4.27\pm 0.08\text{ e}$	
脱水效率/($\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$)	$2.83\pm 0.05\text{ Bc}$	$3.57\pm 0.04\text{ b}$	$3.95\pm 0.02\text{ Ab}$	$5.35\pm 0.02\text{ Aa}$	$5.35\pm 0.02\text{ Aa}$	
单位脱水耗能/[($\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{t}^{-1}$)]	$4.45\pm 0.19\text{ A}$	$3.49\pm 0.21\text{ Ba}$	$3.05\pm 0.23\text{ Ba}$	$2.35\pm 0.08\text{ Db}$	$2.20\pm 0.05\text{ Db}$	
总耗时/h	1.30	1.10	0.91	0.90	1.23	
总耗能/($\text{kW}\cdot\text{h}$)	10.58	9.67	9.58	10.63	9.68	
脱水残渣	质量/kg	$562.6\pm 15.2\text{ A}$	$487.3\pm 22.5\text{ B}$	$343.3\pm 18.6\text{ Ca}$	$298.6\pm 12.4\text{ CDab}$	$260.5\pm 13.8\text{ Db}$
	含水率/%	$87.86\pm 1.05\text{ Aa}$	$86.51\pm 0.43\text{ ABCa}$	$83.65\pm 1.52\text{ BCb}$	$83.73\pm 0.17\text{ BCDb}$	$82.05\pm 0.37\text{ CDb}$
	干物质保存率/%	76.62	73.74	62.97	54.50	52.45
汁液	SS/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$16.22\pm 0.08\text{ A}$	$17.19\pm 0.12\text{ B}$	$25.35\pm 0.31\text{ C}$	$27.64\pm 0.19\text{ Da}$	$28.26\pm 0.22\text{ Db}$
	VSS/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$13.79\pm 0.17\text{ A}$	$14.96\pm 0.05\text{ B}$	$21.55\pm 0.13\text{ C}$	$24.60\pm 0.52\text{ Da}$	$24.87\pm 0.48\text{ Db}$
	COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$8300\pm 370\text{ Aa}$	$9260\pm 430\text{ Aa}$	$10340\pm 1020\text{ Aa}$	$14620\pm 820\text{ B}$	$18060\pm 1460\text{ C}$
SCOD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$3592\pm 350\text{ Aa}$	$4400\pm 180\text{ ABab}$	$5316\pm 320\text{ Bb}$	$4984\pm 460\text{ Bb}$	$5104\pm 330\text{ Bb}$	

注：含水率指脱水残渣鲜重中所含水分的百分比，干物质保存率指脱水残渣中干物质含量占脱水前物料干物质质量的百分比；SS 为水体中的悬浮物浓度，VSS 为水体中挥发性悬浮物浓度，COD 为水体中有机物浓度，SCOD 为水体中挥发性有机物浓度，同行数据不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.1.2 固液分离过程中的养分分布

水葫芦粉碎粗细对固液分离养分分配的影响及养分在固液相中的分配比例分别如表 4、图 4 所示。从表 4 中可以看出, 处理 1 到处理 5 中挤压渣的养分逐渐降低, 而挤压汁中的养分则相应增加, 表明随着粉碎度的增加, 水葫芦植物组织细胞的破坏程度越大, 养分进入挤压汁中越多, 此结果从图 4 中可以明显看出, 挤压渣中氮素养分所占比例由处理 1 的 63.79% 逐渐降低至 19.94%, 磷

素养分则从 60.41% 降低至 13.83%, 钾素则从 18.92% 降低至 7.16%, 而挤压汁中养分比例则相应增加, 且进入挤压汁中的养分以钾为最多, 磷素次之, 而氮素最低, 这与作者前期报道的结果相一致^[8]。从统计分析结果看, 氮在挤压渣与挤压汁中的分配均随粉碎度增加而呈显著性变化, 而磷与钾则不同, 当粉碎度达到一定量后, 其在挤压渣与汁中的分配比例已没有变化(处理 4 与 5 间无显著差异)。

表 4 水葫芦粉碎粗细对固液分离养分分配的影响

Table 4 Comparison of nutrient distribution of Liquid-solid Splitter with water hyacinth under different degree of pulverization

处理	挤压渣/(g·kg ⁻¹)			挤压汁/(g·L ⁻¹)		
	凯式氮	全磷	全钾	总氮	总磷	总钾
1	25.03±0.03 A	6.28±0.03 Aa	10.50±0.03 A	0.76±0.03A	0.22±0.01Aa	2.40±0.07Aa
2	22.30±0.11 B	5.48±0.01 Ab	9.08±0.01 B	0.94±0.03 B	0.28±0.02 Aa	2.50±0.00 Aa
3	16.96±0.02 C	3.68±0.01 B	6.90±0.05 C	1.34±0.03 C	0.39±0.02 Bb	2.66±0.01 Ab
4	14.28±0.08 D	2.14±0.05 Cc	6.60±0.03 Da	1.55±0.03 Da	0.44±0.05 BCb	2.71±0.03 Bb
5	11.43±0.02 E	2.10±0.01 Cc	5.80±0.13 Da	1.68±0.01 Eb	0.48±0.02 Cb	2.75±0.00 Bb

注: 同列数据不同小写字母表示差异显著 (P<0.05), 不同大写字母表示差异极显著 (P<0.01)

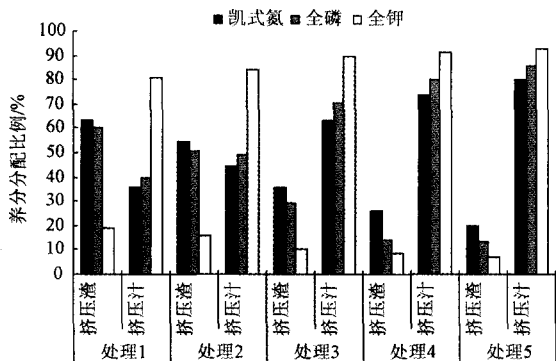


图 4 水葫芦粉碎粗细对养分固液相分配比例的影响

Fig.4 Ratio of nutrient distribution of liquid-solid splitter with water hyacinth under different degree of pulverization

2.2 工程中试

2.2.1 中试试验结果

考虑到实际生产过程中, 粉碎度的大小并不能准确反映水葫芦物料的粗细程度, 其受到初始水葫芦平均长度的影响, 因此工程中试试验中按照初步试验结果中处理 3 所要求的水葫芦粉碎粗细程度为基础, 采用大于 8 cm、5~8 cm、小于 5 cm 各自所占百分比例作为水葫芦粉碎程度的计算依据。从表 5 中粉碎效果来看, 粉碎至 90% 以上水葫芦残体小于 5 cm 时, 其脱水效率基本与初步中处理 3 的效果一致, 但是采用新研制的专用粉碎机, 其粉碎效率提高近 10 倍, 并且粉碎 1 t 所需能耗减少到原来的(见表 3 中处理 3) 14.55%~18.79%, 表明该专利设备具备高效低成本的特性, 究其原因有三, 其一是专利设备将粉碎所用刀片采取卧式, 并使固定刀片和活动刀片相互配合, 使得电动机带动活动轴粉碎时的负荷大为降低; 其二采用卧式粉碎, 大大降低了粉碎时的扭矩, 且物料粉碎的均匀性得到提高; 其三由于中试工程中采用传送带传输, 提高了粉碎效率。另外, 从挤压脱水效

果来看, 无论是残渣含水率还是干物质保存率等指标基本与初步试验处理 3 的效果相一致, 并且由于规模效应导致脱水处理 1 t 水葫芦所需的能耗降低了 32.26%~41.97%, 表明水葫芦在该粉碎程度条件下, 完全符合后续脱水要求, 且总的处理能耗(粉碎+脱水)较低, 仅约 2.28~2.72 kW·h。

表 5 中试试验效果

Table 5 Effect of pilot-test

参数	处理效果及效率分析
水葫芦粉碎物料所占比例 > 8 cm	1.78±0.12%
5~8 cm	4.55±0.38%
< 5 cm	93.67±3.52%
粉碎耗时/h	1.35±0.10
粉碎耗能/(kW·h)	16.5±2.0
脱水残渣量/t	7.10±0.40
脱水残渣含水率/%	84.23±1.05
残渣干物质保存率/%	64.42±0.32
脱水耗时/h	6.8±0.2
脱水耗能/(kW·h)	58.2±4.0
粉碎效率/(t·h ⁻¹)	20.69~24.00
粉碎 1 t 水葫芦能耗/(kW·h·t ⁻¹)	0.48~0.62
脱水效率/(t·h ⁻¹)	4.3~4.5
脱水 1 吨水葫芦能耗/(kW·h·t ⁻¹)	1.8~2.1

注: 单次中试试验水葫芦产量为 30 t, 试验重复 3 次。

2.2.2 成本分析及应用前景

由表 5 可知, 单台粉碎机可供给约 5 台脱水设备的所需原料, 故将 1 台粉碎机与 5 台螺旋式固液分离机配套进行成本核算。以每天运行 8 h 计, 可处理水葫芦约 200 t, 整套设备(粉碎+脱水)总能耗约为 500 kW·h, 折合 600 元(以工业用电 1.2 元/kW·h 计); 每天运行需人工 3 人, 折合 300 元(以用工成本 100 元/d 计), 即日处理 200 t 水葫芦的总成本约 900 元, 也即 4.5 元/t(不考虑设备折旧等其他成本)。

从运输成本来看,200 t水葫芦经过脱水后获得残渣约46 t,可节省运输成本约77%。可见,在水葫芦泛滥区域就地建设机械脱水工程,将水葫芦打捞上岸后经脱水并减容,再运送至资源化利用区用于制作饲料、有机肥或基质等,然后将产品用于动植物生产,可以达到循环利用的目的,其粉碎及脱水的成本可从后续销售收入或补贴中得到补偿。此套高效率、低成本的设备(粉碎和脱水)及工程化技术的研发为水葫芦综合利用产业化的形成提供了技术保障,具有较好的应用前景。

3 结 论

水葫芦粉碎程度越高,脱水率越高,但与此同时,粉碎的耗能增加,水葫芦中固形物含量以及氮、磷、钾等养分流失比例也随之增加。分析发现粉碎后水葫芦残体长度小于5 cm达88%以上的工况条件为最佳,其粉碎效率达2.81 t/h、能耗为3.3 kW·h/t、固液分离效率为3.95 t/h、能耗为3.0 kW·h/t,在工程运行中,此结果得到进一步验证,且粉碎与脱水效率更高,粉碎与脱水总能耗降低至2.28~2.72 kW·h/t。按照日处理200 t水葫芦折算其处理成本为4.5元/t(不考虑设备折旧等其他成本)。该套设备(粉碎和脱水)及工程化运行参数为水葫芦综合利用产业化的形成提供了技术保障。

[参 考 文 献]

- [1] Fernández O A, Sutton D L, Lallana V H, et al. Aquatic weed problems and management in South and Central America [A]. In: Charudattan R, editor. Aquatic weeds—the ecology and management of nuisance aquatic vegetation[C]//New York: Oxford University Press, 1990, 406—425.
- [2] Epstein P. Weeds bring disease to the east African waterways [J]. Lancet, 1998, 351—577.
- [3] Mailu A M. Preliminary assessment of the social, economic and environmental impacts of water hyacinth in the Lake Victoria basin and the status of control, biological and integrated control of water hyacinth (Eichhornia crassipes) [J]. ACIAR Proceedings, 2001, No.102.
- [4] Mironga J M. Geographic information systems (GIS) and remote sensing in the management of shallow tropical lakes [J]. Appl Ecol Environ Res, 2004, 2: 83—103.
- [5] Simberloff D, Schmitz D C, Brown T C. Strangers in paradise: impact and management of nonindigenous species in Florida[M]. Island Press, 1997, 467.
- [6] Reddy K R, Campbell K L, Graetz D A, et al. Use of biological filters for treating agricultural drainage effluents [J]. J Environ Qual, 1982, 11: 591—595.
- [7] Pinto C L R, Caçonia A, Souza M M. Utilization of water hyacinth for removal and recovery of silver from industrial wastewater[J]. Water Sci Technol, 1987, 19: 89—101.
- [8] 洪春来,魏幼璋,贾彦博,等.水葫芦防治及综合利用的研究进展[J].科技通报,2005,21(4):491—496.
- [9] Hong Chunlai, Wei Youzhang, Jia Yanbo, et al. The research of control and comprehensive utilization of water hyacinth [J]. Bulletin of Science and Technology, 2005, 21(4): 491—496.
- [9] 彭青林.水葫芦的开发利用[J].资源开发与市场,2003,19(1):32—33.
- Pen Qinglin. The development and utilization of water hyacinth[J]. Resource Development Market, 2003, 19(1): 32—33.
- [10] 汪禄祥,刘家富,束继红,等.有害杂草的微量元素分析[J].广东微量元素科学,2002,9(6):68—71.
- Wng Luxiang, Liu Jiafu, Shu Jihong, et al. Analysis of trace elements in poisonous weeds[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2002, 9(6): 68—71.
- [11] 孙小燕,丁洪.水葫芦的综合利用与防治技术[J].农业环境与发展,2004,21(5):35—36.
- Sun Xiaoyan, Ding Hong. Comprehensive utilization and the technology of prevention of water hyacinth[J]. Agro Environment and development, 2004, 21(5): 35—36.
- [12] 张祖堂,林革,方金辉,等.废物利用新途径——水葫芦生料栽培平菇[J].福建农业,2005(4):35.
- Zhang Zutang, Lin Ge, Fang Jinhui, et al. Waste utilization of raw material-cultivated pleurotus with water hyacinth[J]. Fujian Agriculture, 2005(4): 35.
- [13] Solly R K. Integrated rural development with water hyacinth[C]// Proceedings of The International Conference On Water hyacinth, 1984, 70—78.
- [14] 杜静,常志州,叶小梅,等.压榨脱水中水葫芦氮磷钾养分损失研究[J].福建农业学报,2010,25(1):104—107.
- Du Jing, Chang Zhizhou, Ye Xiaomei, et al. Losses in nitrogen, phosphorus and potassium of water hyacinth dehydrated by mechanical press[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 25(1): 104—107. (in Chinese with English abstract)
- [15] 杜静,常志州,黄红英.水葫芦脱水工艺参数优化研究[J].江苏农业科学,2010(2):267—269.
- Du Jing, Chang Zhizhou, Huang Hongying. Study on optimization of technological parameters of dehydrated with water hyacinth[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010(2): 267—269.
- [16] 朱德文,陈永生,杜静,等.SHJ-400型水葫芦固液分离机设计与性能试验[J].农机化研究,2010,25(1):104—107.
- Zhu Dewen, Chen Yongsheng, Du Jing, et al. Design and experiment of SHJ-400 liquid-solid splitter for hyacinth[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 25(1): 104—107.
- [17] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法,第3版[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:264—271.

Pilot-scale study on dehydration effect of water hyacinth with different pulverization degree

Du Jing, Chang Zhizhou*, Ye Xiaomei, Xu Yaoding, Zhang Jianying

(*Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu Agricultural Waste Treatment and Recycle Engineering Research Center, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The dehydration technology of water hyacinth has been the choke point to achieve the utilization of its resources, so it was very important for developing the dewatering equipment with high efficiency and low cost. The selfmade equipment of SHJ-400 including solid-liquid separator and special vertical sewage pump was tested under different pulverization degree of water hyacinth through adjusting motor frequency or number of layers with blade on the vertical grinder. Firstly, influence of dehydration effect of water hyacinth under different degree of pulverization was tested in the laboratory, then the new grinder of horizontal and flail were designed based on requirements for pulverization efficiency of dewatering equipment, and a pilot test on operational effect of the whole equipment (including pulverization and dehydration) was carried out. The results showed that the dehydration rate increased with the pulverization degree of water hyacinth, but excessive pulverization caused more energy consumption of pulverization and more contents loss of dry matter as while as more proportion outflow of nitrogen, phosphorus, potassium and other nutrients of residue. The best operating condition was at pulverization degree of 32.92, i.e. 88% proportion of the remnant body length of water hyacinth was smaller than 5 cm after smashed, where moisture content of residue decreased to 83.65%, the lowest total energy consumption of 6.39 kW·h/t was obtained. In addition, the pilot test had the similar effect to laboratory test, particularly the efficiency of pulverization and dehydration were higher than that of laboratory test, the total energy consumption (including pulverization and dehydration) was reduced to 2.28-2.72 kW·h/t. According to 200 t/d processing capacity, the processing cost was 4.5 Yuan/t (the other costs including equipment depreciation was neglected). So the equipment and engineering technology are applicable for industrialization of comprehensive utilization of water hyacinth.

Key words: testing, pulverization, dehydration, sewage pumps, water hyacinth