农业环境科学学报 2010,29(2):392-395
Journal of Agro-Environment Science

猪和奶牛粪便的粒径及养分分布对固液分离效率的影响

常志州,黄红英,吴军伟,马 艳,叶小梅,杜 静

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所,南京 210014)

摘 要:以猪、奶牛粪便为材料,按<0.15、0.15~0.5、0.5~1.0、>1.0 mm 不同粒径,分析了猪、奶牛粪便粒径分布,同时分析了 4 种不同粒径颗粒中 N、P、K 养分含量,采用 XY 型螺旋式畜禽粪便固液分离机,在 0.5、1.0 mm 两种孔径筛网下,进行了固液分离,分析比较了机械固液分离对相应粒径粪便固形物及养分回收效率。结果表明,猪、奶牛粪便粒径分布以<0.15 mm 小颗粒为主,占其粪便重量的 57.99%~68.34%,奶牛粪便颗粒粒径大于猪粪便,仔猪与育成牛粪便粒径小于育肥猪与泌乳牛粪便。猪、奶牛粪便中 N、P、K 养分近 80%以上呈水溶性或存在于<0.15 mm 小颗粒之中。粪便机械固液分离获得的固形物与固形物中 N、P 养分回收比例高于相应筛网孔径粪便颗粒与养分所占比例,奶牛粪便固形物回收率为 45.5%,远高于猪粪的 27.8%,N、P 养分回收率分别为 7.14%~19.71%、7.38%~21.18%。

关键词:猪和奶牛粪便;粒径;养分分布;固液分离
中图分类号:X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)02-0392-04

Effect of Particle Sizes and Nutrient Contents in Swine and Cow Manures on Efficiency of Solid-liquid Separation

CHANG Zhi-zhou, HUANG Hong-ying, WU Jun-wei, MA Yan, YE Xiao-mei, DU Jing

(Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China)

Abstract: The aim of this study is to determine the effect of the particle sizes and nutrient contents in the swine and cow manures on the efficiency of solid-liquid separation with the XY screw separator. The fresh manures were sieved with sieves of 0.15, 0.5 and 1.0 mm, and analyzed for the contents of N, P and K in the fractions of <0.15, 0.15~0.5, 0.5~1.0 and >1.0 mm particles. The manures were also separated with the XY screw solid-liquid separator with 0.5 and 1.0 mm sieves. The distributions of particles and nutrients in the two particle fractions were analyzed. The fraction of <0.15 mm particle in the manures was the predominate fraction in the range from 57.99% to 68.34%, with the order being dairy manure<veal, grower swine<nursery swine. The 80% contents of N,P and K in the manures were soluble and in the fraction of <0.15 mm particle. The separation efficiencies with the XY screw solid-liquid separators were 27.8% for swine manures and 45.5% for cow ones. The efficiencies of N and P removal were in the range of 7.14%~19.71% and 7.38%~21.18%, respectively. The efficiencies of solid-liquid separation were affected by the particle sizes in the manures. The efficiency of the particle removal with the screw separator was higher than that with the manual sieves. It is suggested that separation efficiency could be augmented after technical improvement for screw separator.

Keywords: swine and cow manure; particle; nutrients contents; solid-liquid separation

固液分离技术作为一种畜禽养殖场粪污的前处理技术,而受到广泛的关注。国外自上世纪 30 年代开始研究畜禽养殖场粪污水的固液分离技术,已发展了较为成熟的物理沉降、化学絮凝、凝结、机械筛分、机械挤压与离心、反渗膜等固液分离技术,且得到了较广泛的使用[1-2]。

国内研究工作起步较晚,到上世纪 80 年代,才从国外引进了几种分离设备,林代炎等[3-5]设计了一种斜振筛,将它用于养殖场冲洗水的固液分离,获得了较好的效果。李冲等[6]报道了江苏海门市研制的专业畜禽粪便螺旋式固液分离机,较好地解决了使用中的堵塞技术难题。邢汝明[7]依据北京市畜禽粪便理化特

收稿日期:2009-08-19
基金项目:农业部 948 项目(2006-G62);江苏省自主创新项目(CX1077602)
作者简介:常志州,研究员,从事农业废弃物处理与资源化研究工作。
E-mail:Chang02@jaas.ac.cn

点提出了一种改进型的螺旋挤压设备，进一步提高了固液分离效果。吴军伟等[8]采用 XY 型螺旋式固液分离机进行了猪粪固液分离参数优化与效果试验，结果发现固液分离中固体物以及氮、磷等养分回收率均较低，难以达到固形物以及氮、磷回收的效果。为提高畜禽粪便固液分离效率，本试验采样分析了猪、牛粪便颗粒粒径及氮、磷、钾等养分分布，以期为评价固液分离效率与改进固液分离设备与工艺提供理论依据。

1　材料与方法

奶牛粪便采自海门市兴合奶牛场，按泌乳牛与育成牛分成两种粪便样品，猪粪便采自江苏省农科院六合基地养猪场，按仔猪与育肥猪分成两种样品，所有样品均为猪、奶牛刚排泄鲜样，多点采集混合后贮于冰柜 (4 ℃) 中备用，采样时间均为 2008 年 11 月。猪、奶牛粪便样品基本性状见表 1。

表 1 猪、牛粪便基本性状

Table 1 Basical properties of swine and cow manures

项目	pH	N/mg·kg^{-1}	P/mg·kg^{-1}	K/mg·kg^{-1}	含水量/%
育肥猪粪	6.8	18.7	8.1	23.1	78.4
泌乳牛粪	7.2	14.5	3.8	8.9	83.5

选择 0.15、0.5、1.0 mm 孔径的筛，对猪、奶牛粪便样品进行分级，同时，分析育肥猪与泌乳奶牛粪便不同粒径中氮、磷、钾养分含量，重复 2 次。

以育肥猪与泌乳奶牛粪便为材料，采用 XY 型粪便固液分离机，在 0.5、1.0 mm 孔径筛下进行固液分离，采集分离后固体样品，计算固液分离的固体回收率，同时测定固体物料中氮、磷养分含量。

项目测试方法：粪便样品采用浓 H_2SO_4–H_2O_2 消煮后，全氮采用凯氏定氮法测定，全磷采用钒钼黄比色法，全钾采用火焰光度计法。

2　结果与分析

2.1　猪、奶牛粪便粒径分布

由猪、奶牛粪便粒径分布结果可见 (表 2)，无论猪粪还是奶牛粪，其粒径分布均以<0.15 mm 小颗粒 (包括水溶性有机物与盐类，以下同) 为主，此种小颗粒占全部粪便固形物重量的 57.99%~68.34%，猪粪中仔猪粪便粒径小于育肥猪，仔猪粪中<0.15 mm 粒径的粪便所占比例高达 68.34%，育肥猪仅为 57.99%。同样，育成牛粪便粒径也小于泌乳牛，但两者之间差异小于猪粪，奶牛粪便与猪粪相比，其粪便粒径明显高于猪粪，这种差异可能是由于牲畜所用饲料种类以及胃消化系统结构不同所致[9-10]。

2.2　不同粒径猪、牛粪中养分分布

2.2.1　各粒径颗粒中养分含量

猪粪的 N、P、K 含量总体要高于牛粪 (表 3、表 4)，猪粪和牛粪的 N、P、K 养分大部分都存在于<0.15 mm 的小颗粒中或呈水溶性盐类，其 N、P、K 养分含量随粒径增大而降低的趋势比较明显，<0.15 mm 的小颗粒粪便中养分含量显著高于>0.15 mm 粒径养分含量。N、P、K 在不同粒径中分布表现趋势相同，但分布特征不同，N 含量随粒径增大而逐渐降低，而 P、K 养分当粒径大于 0.15 mm 后急剧降低，表明粪便中 P、

表 3 不同粒径育肥猪粪中的养分含量

Table 3 The contents of nutrients in different particles in the swine manures

粒径/mm	N/%	P/%	K/%
<0.15	2.79	1.26	3.74
0.15~0.50	0.71	0.26	0.39
0.50~1.00	0.53	0.20	0.28
>1.00	0.55	0.06	0.28

表 4 不同粒径泌乳牛粪养分含量

Table 4 The contents of nutrients in different particles in the cow manures

粒径/mm	N/%	P/%	K/%
<0.15	2.15	0.59	1.45
0.15~0.50	0.70	0.18	0.29
0.50~1.00	0.57	0.16	0.23
>1.00	0.63	0.11	0.23

表 2 猪、牛粪便粒径分布 (%)

Table 2 The distribution of different particle sizes in the swine and cow manures (%)

粒径分布	<0.15 mm	0.15~0.50 mm	0.50~1.00 mm	>1.00 mm
育肥猪粪	57.99±0.016 5a	14.16±0.015 8b	15.91±0.023 2b	11.93±0.023 8b
仔猪粪	68.34±0.016a	15.53±0.022b	9.81±0.000 7bc	6.31±0.005 3c
泌乳牛粪	52.85±0.007 7a	19.36±0.008b	15.11±0.020 1c	12.68±0.020 4c
育成牛粪	59.45±0.020 5a	19.9±0.028 2b	12.57±0.000 9c	8.08±0.006 8c

注 数据为平均值±标准差，同行不同小写字母表示样品间差异显著 (α=0.05)。

K 养分均呈水溶性状态或存在于小粒径颗粒之中。这种趋势与现行的饲料原料来源、组成及动植物源饲料中 N、P、K 存在形态相一致。

2.2.2 各粒径颗粒中养分的总量

由表 2 与表 3、表 4 中数据，可以得出：呈水溶性或存在于小粒径颗粒中的 N、P、K 作物养分占粪便中总养分的 78.62%~93.94%，猪粪中呈水溶性或存在于小粒径颗粒中的 N、P、K 作物养分明显高于奶牛粪便，在不同 N、P、K 养分中，又以 P、K 养分所占比例为高，猪粪中 93.94%的 K 以水溶性或存在于<0.15 mm 粒径的小颗粒中（表 5、表 6）。

表 5 育肥猪粪中不同粒径养分所占比例 (%)

Table 5 The percentages of nutrients in different particles in the swine manures (%)

粒径	<0.15 mm	0.15~0.5 mm	0.50~1.0 mm	>1.0 mm
N	86.63a	5.35b	4.50b	3.51b
P	90.57a	4.57b	3.95b	0.90c
K	93.94a	2.60b	2.16b	1.30c

注：同行不同小写字母表示样品间差异显著（α=0.05），下同。

表 6 泌乳牛粪不同粒径养分所占比例 (%)

Table 6 The percentages of nutrients in different particles in the cow manures (%)

粒径	<0.15 mm	0.15~0.5 mm	0.50~1.0 mm	>1.0 mm
N	78.62a	9.66b	6.20b	5.52b
P	81.45a	8.85b	6.20b	3.50c
K	86.46a	6.32b	3.95b	3.27c

2.3 XY 型粪便固液分离机分离效果与粪便粒径及养分分布估算值比较

以猪粪污水与奶牛粪污水为材料，采用 XY 型粪便固液分离机，在 0.5 与 1.0 mm 两筛孔孔径下进行固液分离试验（表 7）。由表 7 可见，在 0.5 与 1.0 mm 两筛孔径下，经 XY 型固液分离机分离后，实际的固体回收率均要高于在相应孔径以上的实际颗粒重量所占比例。XY 型固液分离机分离后，粪便中 N、P 养分回收比例低于固体物回收比例，但高于相应粒径 N、P 养分所占比例。从总体上看，经机械固液分离后，猪粪便中 70%以上的固体物、85%以上作物养分，奶牛粪便中大于 50%的固体物、75%以上作物养分进入了液体部分，这与 H.B.Moller、Chastain 与 Rico[11-13] 等的结果是一致的。

3 讨论

固液分离对集约化养殖粪污后续高效处理十分必要且重要，通过固液分离可以降低粪污中 COD 以及 N、P 等养分浓度，获得含较高 N、P 养分的固体物，这种固体物易于堆肥处理，同时便于运输，经固液分离后的粪污可通过厌氧处理就地使用，从而降低了消纳粪污所需土地面积要求[1-2]。

目前采用的固液分离技术主要有化学沉降、机械筛分以及螺旋挤压、卧螺离心脱水等技术，固液分离效率不仅因固液分离方法不同而有差异，还受到粪污收集方式、贮存时间与方法以及预处理[11,14] 等影响。Zhang and Westerman[15] 研究了不同固液分离技术效率后，提出了粪污中颗粒粒径分布以及化学组成对于评估固液分离效率极其重要。Moller[11] 采用螺旋挤压方式比较了对猪、牛粪污的固液分离效率，结果表明：牛粪污的固液分离效率高于猪粪，其原因是牛粪中直径大于 0.25 mm 颗粒所占比例远高于猪粪。本试验结果（表 7）同样表明：在直径为 0.5 mm 网筛下，牛粪污中固体回收率达到 45.78%，而猪粪仅为 28.77%。同时发现在直径 0.5 mm 网筛下，获得的实际固体物回收率远高于同等粒径颗粒粪便所占比例。Burton[2] 认

表 7 XY 型固液分离机固液分离效果与猪、牛粪粒径及养分分布量比较

Table 7 Comparing between efficiencies of solid-liquid separation with the XY screw separator and distributions of particles and nutrients in the different particle fractions from the swine and cow manures

项目	猪粪		奶牛粪	
	0.5 mm	1.0 mm	0.5 mm	1.0 mm
大于此孔径颗粒粪便所占比例/%	27.84	11.93	27.79	12.68
XY 型固液分离机固体回收比例/%	28.77	19.02	45.47	28.59
大于此孔径颗粒粪便 N 所占比例/%	8.01	3.51	11.72	5.52
XY 型固液分离机 N 回收比例/%	19.77	7.14	17.71	14.12
大于此孔径颗粒粪便 P 所占比例/%	4.85	0.90	9.70	3.50
XY 型固液分离机 P 回收比例/%	11.96	7.38	21.18	19.00

注：表中理论粒径与养分量指大于此孔径时粒径分布和与养分和。

为这是由于机械固液分离进料多、分离速度快，加上网筛筛孔分布、形状以及压力不同，使得部分小于相应筛孔孔径的物料不能被挤压通过筛网，而保留在筛网以上，从而提高了固体物料的回收率。

从本试验结果（表 7）看，螺旋挤压对粪污中固体回收率高于氮、磷等养分，这从表 2 与表 5、表 6 数据对比中不难看出，在同等粒径下，氮、磷养分所占比例远高于对应的粪便颗粒所占比例，表明粪污中氮、磷养分除部分为水溶性存在外，主要分布在小粒径颗粒中，同时，氮、磷养分回收率低的原因可能还与所采用的螺旋挤压固液分离方式有关[1,16]。对氮、磷两种养分回收率不同，是因为粪污中氮、固体物回收与粪污中干物料含量有关，而磷的回收效率则受其他因素所影响。

参考文献：

[1] Moller H B, Lund I, Sommer S G. Solid-liquid separation of livestock slurry: Efficiency and cost[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 74: 223-229.

[2] Burton C H. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure[J]. *Livestock Science*, 2007, 112: 208-216.

[3] 林代炎, 翁伯琦, 钱午巧. FZ-12 固液分离机在规模化猪场污水中的应用效果[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 184-186.
Lin D Y, Weng B Q, Qian W Q. Application of FZ-12 solid-liquid separator to the treatment of wastewater for large scale pig farm[J]. *Transact CSAE*, 2005, 21:184-186.

[4] 林代炎, 翁伯琦. 固液分离机研制与应用效果[J]. 中国沼气, 2007, 25(1): 31-33.
Lin D Y, Weng B Q. Design and application of soli-liquid separator FZ-12[J]. *China Biogas*, 2007, 25: 31-34.

[5] 林　斌, 徐庆贤, 钱　蕾. FZ-12 固液分离机结构特点及其在猪场粪污处理中的应用[J]. 福建农业科技, 2006, 6: 60-61.
Lin B, Xu Q X, Qian L. Structure of FZ-12 solid-liquid isolation machine and its application in treating pig farm waste[J]. *Fujian Agr Sci Technol*, 2006, 6: 60-61.

[6] 李　冲, 刘　敏, 赵国栋, 等. 规模化养殖场粪污水处理关键设备的研究与开发[J]. 农业装备技术, 2006, 32(2): 15-16.
Li C, Liu M, Zhao G D, et al. Research and development on the key facilities for dispose of excrement and foul water in scaled breeding farms [J]. *Agr Equ Technol*, 2006, 32: 15-16.

[7] 邢汝明, 李海莹. 粪便固液分离设备设计[J]. 环境卫生工程, 2007, 15(1): 25-27.
Xing R M, Li H Y. Design of night soil solid and liquid separation equipment[J]. *Env Sanit Eng*, 2007, 15: 25-27.

[8] 吴军伟, 常志州, 周立祥, 等. XY 型畜禽粪便处理机对粪便脱水效果研究[J]. 江苏农业科学, 2009(2): 286-287.
Wu J W, Chang Z Z, Zhou L X, et al. Dewatering effect of swine manure by XY solid-liquid separtor[J]. *Jiangsu Agr Sci*, 2009, (2): 286-287.

[9] Clanton C J, Nichols D A, Moser R L, et al. Swine manure characterization as affected by environmental-temperature, dietary level intake, and dietary-fat addition[J]. *Transactions of the ASAE*, 1991, 34: 2164-2170.

[10] Kerr B J, Ziemer C J, Trabue S L, et al. Manure composition of swine as affected by dietary protein and cellulose concentrations [J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84: 1584-1592.

[11] Moller H B, Sommer S G, Ahring B K. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions [J]. *Bioresource Technology*, 2002, 85: 189-196.

[12] Chastain J P, Vanotti M B, Wingfield M M. Effectiveness of liquid solid separation for treatment of flushed dairy manure: A case study[J]. *Appl Eng Agric*, 2001, 17: 343-354.

[13] Rico J L, Garcia H, Rico C, et al. Characterisation of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98: 971-979.

[14] Kunz A, Steinmetz R L R, Ramme M A, et al. Effect of storage time on swine manure solid separation efficiency by screening [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 1815-1818.

[15] Zhang R H, Westerman P W. Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutrient management[J]. *Appl Eng Agric*, 1997, 13: 657-664.

[16] Pain B F, Hepherd R Q, Pittman R J. Factors affecting the performance of four slurry separating machines[J]. *JAgric Eng Res*, 1978, 23: 231-242.

[17] Moller H B, Hansen J D, Sorensen C A G. Nutrient recovery by solid liquid separation and methane productivity of solids[J]. *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(1): 193-200.