

## 沼液施用对杨树林地土壤性质及林分生长的影响

徐 莉<sup>1,2</sup>, 周 伟<sup>1,2</sup>, 俞元春<sup>1,2</sup>, 王 玫<sup>3</sup>, 侯文军<sup>1,2</sup>, 徐长柏<sup>4</sup>, 戴 成<sup>5</sup>

(1. 南京林业大学 生物与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 3. 江苏省东台市农业委员会, 江苏 东台 224200; 4. 江苏省东台市林场, 江苏 东台 224243; 5. 中粮肉食(江苏)有限公司, 江苏 东台 224243)

**摘要:** 随着畜牧养殖业规模化、集约化发展, 禽畜粪便沼气工程产生的沼液数量增加, 沼液中氮、磷、钾等营养元素丰富, 直接排放极易造成水体富营养化和环境污染。以中粮肉食(江苏)有限公司沼液厂的猪粪沼液为试验材料, 通过2次施入不同量沼液的处理, 研究了施用沼液对杨树 *Populus* 林地土壤性质及林分生长的影响。结果表明: 施用沼液能显著增加 ( $P < 0.05$ ) 土壤有机质和养分质量分数, 提高土壤肥力。施沼液  $1\ 125\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  (处理 C5) 土壤有机质质量分数增加 28.0%, 土壤全氮增加 35.5%, 有效磷增加 62.3%, 速效钾增加 33.5%。施沼液量  $450\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  以下对杨树生长有较明显的促进作用。图 2 表 1 参 13

**关键词:** 森林土壤学; 猪粪沼液; 杨树; 土壤肥力; 生长

中图分类号: S714.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2015)02-0204-04

## Soil properties and poplar growth with pig manure biogas slurry

XU Li<sup>1,2</sup>, ZHOU Wei<sup>1,2</sup>, YU Yuanchun<sup>1,2</sup>, WANG Mei<sup>3</sup>, HOU Wenjun<sup>1,2</sup>, XU Changbai<sup>4</sup>, DAI Cheng<sup>5</sup>

(1. College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Co-innovation Center of Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Agriculture Commission of Dongtai, Dongtai 224200, Jiangsu, China; 4. Dongtai Forest Farm, Dongtai 224243, Jiangsu, China; 5. COFCO Meat (Jiangsu) Co., Ltd, Dongtai 224243, Jiangsu, China)

**Abstract:** As scale and intensity increase with development of the animal husbandry industry, use of manure biogas slurry from livestock biogas slurry projects also increases. To counter any possibility of water eutrophication and environmental pollution from direct emissions of pig manure biogas which is rich in N, P, K, and other nutrients, the effects of pig manure biogas slurry applied on soil properties and growth of a poplar (*Populus*) plantation were studied. The biogas plant of COFCO carnivorous (Jiangsu) Co. Ltd produced the slurry. Results showed that  $1\ 125\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  biogas slurry fertilization (C5) increased soil organic matter (28%), total N (35.5%), available P (62.3%), and available K 33.5%. Also, biogas slurry fertilization below  $450\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  was detrimental to poplar growth. [Ch, 2 fig. 1 tab. 13 ref.]

**Key words:** forest soil science; pig manure biogas slurry; poplar; soil fertility; growth

随着中国畜牧养殖业向着规模化、集约化的方向发展, 大中型沼气工程数量也与日剧增<sup>[1-2]</sup>。沼气工程运转过程中除了产生清洁能源——甲烷外, 还产生大量的沼液。目前, 厌氧发酵后的沼液主要是直接排放, 其中含有大量氮、磷、钾等营养元素, 极易造成水体的富营养化<sup>[3]</sup>。杨树 *Populus* 是中国栽培

收稿日期: 2014-04-23; 修回日期: 2014-06-12

基金项目: 江苏省林业“三新”工程项目(lysx[2012]42); 江苏省科技支撑计划项目(BE2013382); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 徐莉, 从事土壤生态研究。E-mail: xuli\_1988@126.com。通信作者: 俞元春, 教授, 博士生导师, 从事土壤生态、营养等研究。E-mail: ycyu@njfu.com.cn

面积最大木材产量最高的速生用材树种之一, 不仅具有生长快、成材早、产量高、易于更新的特点, 而且具有广泛的工业用途。杨树人工林在栽培过程中存在土壤肥力下降、林分生产力降低的现象, 如何维持或提高杨树林地土壤肥力已成为杨树持续利用的关键问题<sup>[4-5]</sup>。沼液是禽畜粪便等有机物经过厌氧发酵后的残留液体, 主要包括发酵过程中产生的有机、无机盐类, 如铵盐、钾盐、磷酸盐等可溶性物质, 其总固体含量小于 1%。与沼渣相比, 沼液虽然养分不高, 但其养分主要为速效性养分, 这是由于发酵物长期浸泡水中, 可溶性养分自固相转入液相, 提高了速效养分含量, 能迅速被作物吸收利用, 不但能提高作物的产量和品质, 而且具有防病抗逆作用, 是一种优质的有机液体肥料<sup>[6-9]</sup>。本研究以中粮肉食(江苏)有限公司沼气厂的猪粪沼液为试验材料, 研究了苏北平原地区沼液施肥对杨树林地土壤性质及林分生长的影响, 旨在找出猪粪沼液林地利用的技术途径和方法, 为畜牧养殖业的持续发展、农村生态环境保护及杨树林地土壤肥力的维护提供支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于江苏盐城市东台林场, 地理位置为 32°52'N, 120°49'E。属北亚热带暖湿季风气候区, 年平均气温为 14.4 °C, 年平均降水量为 1 059.9 mm, 无霜期为 200 d, 日照时数为 2 213.8 h。土壤质地为砂壤土。土壤理化性质: 容重 1.34 g·cm<sup>-3</sup>, pH 8.76, 有机质 6.24 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.32 g·kg<sup>-1</sup>, 全磷 0.25 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾 3.10 g·kg<sup>-1</sup>, 有效磷 25.22 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 30.65 mg·kg<sup>-1</sup>, 沼液 pH 7.4, 全氮 1 200.00 mg·L<sup>-1</sup>, 全磷 130.00 mg·L<sup>-1</sup>, 全钾 920.50 mg·L<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验设计

试验林分为 3 年生杨树幼林, 试验小区面积 240 m<sup>2</sup>(12.0 m × 20.0 m), 有杨树 20 株·小区<sup>-1</sup>。猪粪沼液由中粮肉食(江苏)有限公司提供。试验设置 5 个处理, 即 C1, C2, C3, C4 和 C5, 各处理的沼液施肥量分别为 5.40, 10.80, 16.20, 21.60, 27.00 m<sup>3</sup> (沼液施用量 225, 450, 675, 900, 1 125 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 设置), 沼液在 2013 年的 3 月与 8 月平均施入, 同时设置无沼液施肥的对照(ck), 小区随机区组排列, 重复 3 次·小区<sup>-1</sup>。

### 1.3 测定指标及方法

在 2013 年的 3 月(沼液施肥前)、7 月和 11 月测定树木胸径和树高, 测 15~20 株·小区<sup>-1</sup>。采集土壤样品, 土壤样品采集时随机取样点 5 个·小区<sup>-1</sup>, 采样点至少距杨树 1 m 远, 以避免杨树根系的影响, 利用土钻采集 0~20 cm 的表层混合样品, 测定土壤中氮、磷、钾的全量和有效量, 采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼液对杨树林地土壤 pH 值和养分的影响

沼液 pH 7.4, 低于土壤的 pH 值。施用沼液后, 杨树林地的土壤酸碱度变化范围为 pH 8.42~8.65, 与对照比较, 土壤 pH 值稍有降低, 但无显著差异(表 1)( $P < 0.05$ )。施用沼液能显著增加( $P < 0.05$ )土壤的有机质质量分数, 随着沼液施用量的增加更加明显( $P < 0.05$ )。1 125 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 施用量(处理 C5)在 7 月和 11 月的土壤有机质质量分数较对照分别增加了 23.3%和 28.0%。土壤全氮的变化趋势与有机质的变化一致, 施用沼液显著增加土壤的全氮质量分数( $P < 0.05$ ), 最大增幅达 35.5%(处理 C5)。全磷、有效磷也是随着沼液施用量的增加而增加, 其中 7 月全磷增幅达到 29.1%, 11 月达到 43.5%, 有效磷质量分数增加更加显著( $P < 0.05$ ), 7 月达到 58.3%, 11 月达到 62.3%(处理 C5)。全钾和速效钾 7 月增幅分别为 28.9%和 20.8%, 11 月的增幅分别为 37.8%和 33.5%(处理 C5)。可以看出: 各处理 11 月土壤中各养分质量分数和增幅均较 7 月份高。

### 2.2 沼液对杨树生长的影响

2.2.1 沼液对杨树胸径生长的影响 从图 1 可以看出: 施用沼液 8 个月后, 对照胸径增长 0.31 cm, C1 处理增长 0.35 cm, C2 处理增长 0.54 cm, C3 处理增长 0.22 cm, C4 处理增长 0.12 cm, C5 处理增长 0.09 cm, 仅 C1 和 C2 处理杨树胸径生长高于对照, 其中 C2 处理的杨树胸径增幅较为明显( $P < 0.05$ ),

表 1 沼液对杨树林地土壤养分的影响

Table 1 Effects of biogas slurry on soil nutrients of poplar plantation

时间	处理	pH 值	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )
7 月	对照	8.70 ± 0.16 a	6.23 ± 0.81 a	0.31 ± 0.03 a	0.24 ± 0.05 a	3.86 ± 0.17 a	24.55 ± 1.88 a	31.87 ± 0.91 a
	C1	8.62 ± 0.21 a	6.62 ± 0.86 ab	0.35 ± 0.21 a	0.25 ± 0.26 a	4.16 ± 0.31 b	30.12 ± 1.91 b	32.45 ± 1.71 a
	C2	8.64 ± 0.46 a	6.74 ± 0.92 b	0.38 ± 0.42 b	0.27 ± 0.11 a	4.31 ± 0.57 b	31.68 ± 1.74 b	33.96 ± 2.01 ab
	C3	8.65 ± 0.38 a	6.90 ± 0.92 b	0.41 ± 0.29 bc	0.27 ± 0.19 a	4.35 ± 0.48 b	33.76 ± 2.11 b	35.76 ± 1.54 b
	C4	8.64 ± 0.15 a	7.23 ± 1.13 bc	0.41 ± 0.27 bc	0.29 ± 0.14 ab	4.56 ± 0.71 b	36.03 ± 2.24 bc	38.01 ± 1.41 c
	C5	8.61 ± 0.22 a	7.67 ± 1.21 c	0.42 ± 0.26 c	0.31 ± 0.23 b	4.92 ± 0.97 c	38.37 ± 1.92 c	40.57 ± 2.01 c
11 月	对照	8.75 ± 0.21 a	6.15 ± 0.73 a	0.34 ± 0.13 a	0.23 ± 0.04 a	3.76 ± 0.26 a	23.89 ± 0.74 a	30.95 ± 0.78 a
	C1	8.52 ± 0.13 a	6.81 ± 0.43 b	0.37 ± 0.24 b	0.25 ± 0.16 a	4.21 ± 0.24 b	31.62 ± 1.46 b	33.86 ± 1.24 b
	C2	8.42 ± 0.54 a	6.88 ± 0.37 b	0.40 ± 0.24 c	0.27 ± 0.14 b	4.42 ± 0.34 b	32.04 ± 1.67 b	35.01 ± 1.23 b
	C3	8.45 ± 0.71 a	6.97 ± 0.86 b	0.40 ± 0.14 c	0.28 ± 0.20 b	4.65 ± 0.61 b	35.18 ± 2.08 bc	37.76 ± 2.01 bc
	C4	8.65 ± 0.25 a	7.41 ± 0.93 c	0.42 ± 0.34 cd	0.29 ± 0.48 b	4.76 ± 0.64 bc	36.40 ± 1.66 c	39.24 ± 1.36 c
	C5	8.62 ± 0.43 a	7.87 ± 0.62 c	0.44 ± 0.41 d	0.33 ± 0.34 c	5.12 ± 0.27 c	39.08 ± 1.54 c	41.38 ± 1.42 c

说明：不同小写字母表示不同处理间的差异达显著水平 ( $P<0.05$ )。

达到 3.75%，其他处理胸径生长低于对照。

2.2.2 沼液对杨树树高生长的影响 从图 2 可以看出：施用沼液 8 个月后，对照树高增长 1.5 m，C1 处理增长 2.2 m，C2 处理增长 2.0 cm，C3 处理增长 1.7 m，C4 处理增长 1.1 m，C5 处理增长 0.8 m，处理 C1 处理、C2 处理和 C3 处理杨树高生长高于对照，其中 C1 处理的生长量最大。

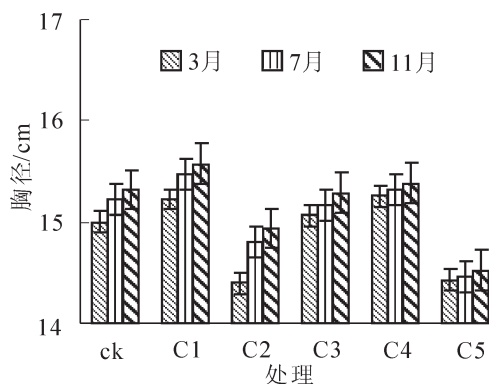


图 1 沼液对杨树胸径生长的影响

Figure 1 Effects of biogas slurry on DBH of poplar plantation

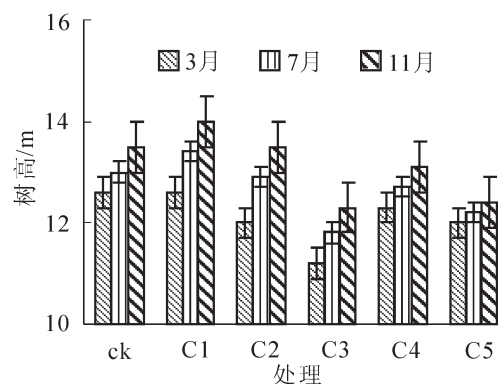


图 2 沼液对杨树树高的影响

Figure 3 Effects of biogas slurry on height of poplar plantation

### 3 讨论

沼液中有部分未完全分解的原料，施入林地后可继续分解，缓慢释放养分，长期为杨树供肥。施用沼液后杨树林地土壤 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷及速效钾均发生了一定的变化。研究地区杨树林地土壤呈碱性(pH 8.7 左右)，猪粪沼液 pH 7.4 左右，在施入沼液一段时间后，土壤 pH 值没有产生显著的变化 ( $P<0.05$ )，较对照还有一定程度的降低，表明在盐碱地施用沼液对土壤有一定的改良作用。施用沼液后，土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷及速效钾等均有明显的增加，这说明沼液中含有大量氮、磷、钾等营养元素，能够显著增加土壤的养分质量分数 ( $P<0.05$ )，提高土壤肥力。

杨树生长并不是随着施用沼液量的增加而增加。从试验结果看，较低数量沼液施肥(如 C1 处理和 C2 处理)促进了杨树生长，而在增加沼液施入量后，杨树生长没有随之增加，可能是过量施入沼液，导致土壤中水分含量过高，影响杨树根系的呼吸作用，从而影响杨树根系的吸<sup>[10-13]</sup>。也有可能是的沼液含有多种有机物质、活性成分、激素类物质，而施入量加大，短时间内无法被土壤中微生物完全分解，产生一定的有害物质，造成杨树的生长受抑制。沼液含有氮、磷、钾三大营养元素及多种微量元素，适量的施用沼液能提高土壤养分质量分数，促进林木生长<sup>[14]</sup>，但是其中还是含有激素、重金属等有害物质，

过多施用也会造成土壤的污染, 施用沼液对杨树林地土壤肥力及生长的长期影响需要更进一步研究。

#### 4 参考文献

- [1] 华永新, 朱剑平. 大中型畜禽养殖场沼气工程模式及投资效益分析[J]. 能源工程, 2004(2): 11 – 15.  
HUA Yongxin, ZHU Jianping, *et al.* Analysis on biogas engineering mode of large & medium-scale husbandry farms and investment results [J]. *Energy Eng*, 2004(2): 11 – 15.
- [2] 林保忠, 林渝宁. 渝西畜牧城大型养猪场集中供气、沼渣沼液生态化利用技术集成与示范工程建设投资效益探讨[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2011(5): 56 – 57.  
LIN Baozhong, LIN Yuning. The animal science city large-scale pig farm biogas manure centralized gas supply ecological utilization technology inteatation and demonstration projectconstruction investmeng benefir [J]. *Shanghai J Anim Husb Vet Med*, 2011(5): 56 – 57.
- [3] 徐秀银. 规模化养猪场沼液的利用现状与对策[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 521 – 522.  
XU Xiuyin. Present situation and Countermeasures of biogas slurry in large-scale pig farm [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010(6): 521 – 522.
- [4] 丁少华, 王志荣, 黄武, 等. 规模养殖场沼气工程沼液的肥效试验[J]. 中国沼气, 2010, 28(2): 43 – 44.  
DING Shaohua, WANG Zhirong, HUANG Wu, *et al.* Fertillzer efficiency of biogas slurry from biogas engineering on-large-scale pig farm [J]. *China Biogas*, 2010, 28(2): 43 – 44.
- [5] 陶朴良, 张无敌, 宋洪川, 等. 沼气发酵综合利用的现状与发展趋势[J]. 能源工程, 2001(5): 9 – 11.  
TAO Puliang, ZHANG Wudi, SONG Hongchuan, *et al.* Current situation and deelopment treng of comprehensive utilization of biogas fermentation [J]. *Energy Eng*, 2001(5): 9 – 11.
- [6] 郭强, 柴晓利, 程海静, 等. 沼液的综合利用[J]. 再生资源研究, 2005(6): 37 – 41.  
GUO Qiang, CAI Xiaoli, CHENG Haijing, *et al.* The comprehensive utilization of biogas slurry [J]. *Stud Renewable Resourc*, 2005(6): 37 – 41.
- [7] 钱靖华, 林聪, 王金花, 等. 沼液对苹果品质及土壤肥效的影响[J]. 可再生能源, 2005(4): 32 – 34.  
QIAN Jinghua, LIN Cong, WANG Jinhua, *et al.* Effect of biogas slurry on apple quality and soil fertility [J]. *Renewable Energy*, 2005(4): 32 – 34.
- [8] 朱磊, 卢剑波. 沼气发酵产物的综合利用[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 176 – 180.  
ZHU Lei, LU Jianbo. Integrated utilization of fermentation products from biogas generator [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2007, 26(sup): 176 – 180.
- [9] MCGRATH D, ZHANG C, CARTON O T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland [J]. *Environ Poll*, 2004, 127(2): 239 – 248.
- [10] 王艮梅, 韦庆翠, 袁润, 等. 不同连栽代次及龄组杨树林地土壤微生物量氮动态[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(3): 69 – 73.  
WANG Genmei, WEI Qingcui, YUAN Run, *et al.* The dynamics of soil microbial biomass nitrogen of poplar plantation with different stand ages and rotations [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2012, 36(3): 69 – 73.
- [11] ISLAM M R, RAHMAN S M E, RAHMAN M M, *et al.* The effects of biogas slurry on the production and quality of maize fodder [J]. *Turkish J Agric For*, 2010, 34: 91– 99.
- [12] 王桂芳, 李丙智, 张林森, 等. 苹果园沼液配施钾肥对土壤酶活性及果实品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 88 – 91.  
WANG Guifang, LI Bingzhi, ZHANG Linsen, *et al.* Apple orchard of biogas slurry fertilizer on soil enzyme activity and fruit quality [J]. *J Northwest For Univ*, 2009, 24(5): 88 – 91.
- [13] 韩晓莉, 李博文, 刘微, 等. 沼液配方肥对油菜生长、品质及氮素利用的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(3): 20 – 24.  
HAN Xiaoli, LI Bowen, LIU Wei, *et al.* Biogas slurry fertilizer on rape growth quality and nitrogen use efficiency [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2012, 35(3): 20 – 24.