

# 猪粪沼液对玉米产量及土壤理化性状的影响研究

陈钟佃<sup>1,2</sup>, 郭庆<sup>3</sup>, 吴飞龙<sup>4</sup>, 冯德庆<sup>1,2</sup>, 黄小云<sup>1,2</sup>, 黄秀声<sup>1,2\*</sup>

(1. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福建 福州 350013; 2. 福建省丘陵地区循环农业工程技术研究中心, 福建 福州 350013; 3. 福建省农业科学院畜牧兽医研究所, 福建 福州 350013; 4. 福建省农业科学院农业工程研究所, 福建 福州 350013)

**摘要:** 为研究猪粪沼液施用对玉米产量品质及土壤理化性质的影响, 选取规模化养殖场的猪粪沼液进行秋玉米种植试验。试验设置 4 个处理, 每个处理 3 个重复, 共 12 个小区, 每个小区 66.66 m<sup>2</sup>。对照组(CK 组)施用 100% 化肥(50% 基施 + 50% 追施), 试验组分别施用 50% 化肥基施 + 50% 沼液追施(T1 组), 100% 沼液基施(T2 组), 100% 沼液追施(T3 组)。试验结果表明: 1) T1 组玉米产量最高, 达 1159.34 kg/666.67 m<sup>-2</sup>、亩产值 2782.42 元, 经济效益明显, 产量利润分别比对照高 16.06%、385.08 元; 2) T1、T3 与对照(CK)、T2 相比, 单果重、产量明显增加; 3) 施用沼液的玉米中均不含抗生素, 不会影响玉米的食用品质安全; 4) 水旱轮作种植中, 施用沼液土壤中的理化性状不会明显改变, 也不会积累重金属等有害物质。因此, 施用 50% 化肥基施 + 50% 沼液追施可以明显提高玉米产量产值和利润, 而且不会对玉米抗生素含量和土壤理化性质产生明显影响。

**关键词:** 猪粪沼液; 玉米; 土壤理化性状; 品质; 产量

中图分类号: S216.4; X713 文献标志码: A 文章编号: 1000-1166(2023)06-0055-07

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023060055

**Effects of Pig Manure Biogas Slurry on Corn Yield and Soil Physical and Chemical Properties / CHEN Zhongdian<sup>1,2</sup>, GUO Qing<sup>3</sup>, WU Feilong<sup>4</sup>, FENG Deqing<sup>1,2</sup>, HUANG Xiaoyun<sup>1,2</sup>, HUANG Xiusheng<sup>1,2\*</sup> / (1. Institute of Agricultural Ecology, Fujian Academy Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. Fujian Engineering and Technology Research Center for Recycling Agriculture, Fuzhou 350013, China; 3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Fuzhou 350013, China; 4. Institute of Agricultural Engineering, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)**

**Abstract:** To study the effects of pig manure biogas slurry application on the yield and quality of corn and the physical and chemical properties of soil. Select pig manure biogas slurry from large-scale farms to carry out autumn corn planting experiment. The experiment is set up with 4 treatments, each treatment has 3 repetitions, a total of 12 plots, each plot is 66.66 m<sup>2</sup>. The control group (CK group) was treated with 100% chemical fertilizer (50% base application + 50% topdressing), the experimental group was treated with 50% chemical fertilizer base application + 50% biogas slurry topdressing (T1 group), 100% biogas slurry base application (T2 group), and 100% biogas slurry topdressing (T3 group). 1) the yield of T1 group was the highest, up to 1159.34kg/666.67 m<sup>2</sup>, and the output value per mu was 2782.42 yuan. The economic benefit was obvious, and the yield profit was 16.06% and 385.08 yuan higher than the control respectively; 2) Both CK group and T2 group would result in a significant decrease in single fruit weight and yield; 3) The application of biogas slurry in corn does not contain antibiotics, which will not affect the food quality and safety of corn; 4) During the rotation planting of flood and drought, the physical and chemical properties of the soil with biogas slurry will not change significantly, nor will it accumulate harmful substances such as heavy metals. Applying 50% chemical fertilizer base application + 50% biogas slurry topdressing can significantly improve the output value and profit of corn, and will not have a significant impact on the antibiotic content of corn and the physical and chemical properties of soil.

**Key words:** pig manure biogas slurry; corn; soil physical and chemical; quality; yield

收稿日期: 2022-12-05

项目来源: 福建省科研院所公益类专项(2022R1021005); 福建省人民政府-中国农业科学院“5511”协同创新工程(XTCXGC2021010); 福建省农业科学院项目(CXTD2021009-4; YDXM202205)。

作者简介: 陈钟佃(1974-), 男, 副研究员, 研究方向为生态农业研究与推广, E-mail: czd510024@163.com

通信作者: 黄秀声, E-mail: hxs706@163.com

玉米因其营养丰富、含糖量高、口感好等特点深受人们的喜爱<sup>[1]</sup>。玉米生长对水分和养分的需求量较大,需要多次施肥和灌溉,但在实际生产中,由于不合理的灌溉施肥方式易导致养分利用率低、肥料资源浪费、生产成本增加等问题<sup>[2]</sup>。沼液中含有大量氮、磷、钾、氨基酸、腐殖酸以及多种微量元素等养分,是优质的有机、多元速效肥<sup>[3]</sup>,从农业可持续发展的角度看,养殖粪污最经济、最直接的方式是回田用于农作物生产的肥源<sup>[4-6]</sup>,利用沼液、沼渣、猪粪有机肥替代化肥进行农业生产<sup>[7]</sup>,除了可以降低总磷与氨氮含量,提高土壤有机质、改善土壤团粒结构外<sup>[8-9]</sup>,还可以实现动物粪便无害处理<sup>[10-12]</sup>,降低农业生产成本。研究猪粪沼液对玉米品质及土壤理化性质的影响,对于研究畜禽粪污的利用和提高玉米品质具有一定参考价值。有学者研究表明大部分猪粪沼液重金属含量、抗生素含量都在标准范围内,可以和其他肥料混合施用,实现粪污资源化利用<sup>[13]</sup>。用沼液浸种可以提高发芽率和发芽速度<sup>[14]</sup>,增强茎秆粗壮,叶片颜色和宽度<sup>[15]</sup>。施用沼液肥料可以显著提高马铃薯<sup>[16]</sup>、芥菜<sup>[17]</sup>和小麦<sup>[18]</sup>产量和产值,增产效果显著<sup>[19-20]</sup>,沼液做追肥可提高产量,降低生产成本,但必须和化肥配合施用<sup>[21-23]</sup>,并且在施用过程中应特别注意温度的影响<sup>[24]</sup>,同时应选择合适的施用方式<sup>[25-27]</sup>。综上,沼液对农作物及土壤理化性质的影响研究较多,但有关猪粪沼液对玉米及土壤理化性质和养分的综合研究还比较少。本研究通过施用不同模式沼液,探讨不同模式沼液对玉米产量、品质、土壤理化性质和养分的影响研究,以期为提高玉米的品质和产量、沼液的资源化利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验地点位于福建省南平市延平区江布村,土壤类型水稻土,丘陵状分布,之前从未施过沼液。土壤基本理化性状为:有机质  $30.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮  $1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全磷  $2.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钾  $24.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。沼液取自南山镇规模化养猪场,沼液经曝气处理,然后在氧化塘内存放 60 天,养分含量  $\text{N } 0.38 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $0.12 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O } 0.26 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。沼液用量设计根据作物需肥总量计算,肥料施用方法根据土壤肥力情况和当地种植模式,确定玉米肥料用量为  $\text{N } 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O } 100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。对

照组(CK)、T1 组基肥选用 N-P-K(15-45-45)的复合肥,以等氮量进行折算施用量。沼液中抗生素和重金属含量分析见表 1。

表 1 沼液中抗生素和重金属含量分析

| 项目                                            | 沼液                |
|-----------------------------------------------|-------------------|
| 金霉素/( $\text{ug} \cdot \text{kg}^{-1}$ )      | 未检出(测定低限为 50.0)   |
| 四环素/( $\text{ug} \cdot \text{kg}^{-1}$ )      | 未检出(测定低限为 50.0)   |
| 土霉素/( $\text{ug} \cdot \text{kg}^{-1}$ )      | 未检出(测定低限为 50.0)   |
| 磺胺苯酰/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺吡啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺邻二甲基嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺二甲嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )   | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺间二甲基嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺甲噁唑/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺甲基嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )   | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺甲氧嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )   | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺对甲氧嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺间甲氧嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  | 0.0622(检出限为 0.10) |
| 磺胺喹噁啉/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺氯噁啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )    | 0.0564(定量限为 0.10) |
| 磺胺嘧啶/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 磺胺噻唑/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)    |
| 氯霉素/( $\text{ug} \cdot \text{kg}^{-1}$ )      | 未检出(检出限为 0.03)    |
| 总砷/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )       | 0.05              |
| 汞/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )        | 未检出(方法检出限为 0.15)  |
| 铜/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )        | 未检出(方法检出限为 5)     |
| 铅/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )        | 0.06(方法限量为 2)     |
| 镉(方法限量为 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 0.02              |

### 1.2 试验设计

本试验用玉米品种为泰甜 88。种植地前作为早稻,秋播时间为 8 月 15 日,8 月 23 日田间定植,基质育苗盘育苗,采用单行种植,株行距  $45 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 。试验设计 4 个处理,每个处理 3 个重复,共 12 个小区,每个小区  $66.66 \text{ m}^2$ 。各组猪粪沼液施用方案及施用时期如表 2、表 3 所示。

表 2 猪粪沼液施用方案

| 组别 | 施肥方案                | 施用量                                                                                   |
|----|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CK | 50% 化肥基施 + 50% 化肥追施 | $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$                                                   |
| T1 | 50% 化肥基施 + 50% 沼液追施 | $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (化肥) + $39.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (沼液) |
| T2 | 100% 沼液基施           | $79.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$                                                 |
| T3 | 100% 沼液追施           | $79.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$                                                 |

注:(1)基施:采用浇灌的形式,分批多次施入后晒田,田块土壤干后再施,这样避免漫灌流失,最后深翻作畦;(2)追施:采用管道均匀施肥;化肥作基肥时,翻耕前施入,追肥时,待玉米拔节期施用。

表3 玉米追施猪粪沼液量及施用期

| 组别                       | 沼液施入量 |      |      |
|--------------------------|-------|------|------|
|                          | 拔节期   | 抽雄期  | 灌浆期  |
| CK/(g·m <sup>-2</sup> )  | 20.0  | 40.0 | 40.0 |
| T1/(kg·m <sup>-2</sup> ) | 13.0  | 13.0 | 13.5 |
| T2                       | 0     | 0    | 0    |
| T3/(kg·m <sup>-2</sup> ) | 26.0  | 26.0 | 27.0 |

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 沼液养分含量测定

全氮、全磷、全钾含量用 CleverChem200 全自动间断化学分析分析仪测定,有机质用重铬酸钾法测定,pH 值用 pH 试纸测定。

#### 1.3.2 土壤养分测定

全量氮、全量磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、全量钾(K<sub>2</sub>O)、有机质、pH 值;NY/T53—1987 土壤全氮(半微量开氏法)、GB9837—1988 土壤全磷测定方法、NY/T 87—1988 土壤全钾测定法、1121.6—2006 土壤检测 第6部分:土壤有机质的测定、NY/T1377—2007 土壤 pH 的测定。

#### 1.3.3 玉米考种与产量测定

在玉米成熟期,对试验小区玉米进行考种,并测定实际产量。

#### 1.3.4 土壤重金属和玉米抗生素测定

总汞按 GB/22105.1—2008 方法;总砷按 GB/T22105.2—2008 方法;铅镉按 GB/T17141—1997 方

法测定;四环素类检测:液相色谱-质谱与高效液相色谱法 GB/T21317—2007;氯霉素、甲砒素和氟苯尼考检测:液相色谱-串联质谱法农业部 2483 号公告-8-2016;磺胺类和喹诺酮类药物的测定:液相色谱-串联质谱法农业部 2349 号公告-5-2015;铜(Cu)检测方法:原子吸收光谱法 GB/T13885—2017。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2013 进行数据处理和图表绘制,采用 SPSS 22.0 软件处理与分析数据,应用 Duncan 新复极差法多重比较和分析数据显著性及相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼液对玉米产量、农艺性状及品质的影响

在玉米成熟收获期,对小区玉米考种表明,在玉米穗粗、行粒数、百粒重方面,浇施沼液的处理 T1、T2、T3 均显著高于 CK( $p < 0.05$ ),T1 则显著高于 T2、T3( $p < 0.05$ )。穗长以 T1 最长,达 20.53 cm,显著高于 T2、T3 和 CK( $p < 0.05$ )。秃尖长方面,CK 显著高于 T1、T2、T3( $p < 0.05$ )。玉米糖度分析表明,浇施沼液的 T1、T2、T3 的玉米糖度均显著高于 CK( $p < 0.05$ ),T1 则显著高于 T2、T3( $p < 0.05$ )。分析表明,适当施用猪粪沼液可以显著促进玉米品质的提升,其中以 50% 化肥基施 + 50% 沼液追施的 T1 处理效果最好(见表 4)。

表4 玉米农艺性状及糖度分析

| 组别 | 穗粗/cm        | 穗长/cm         | 穗行数/行        | 行粒数/粒         | 百粒重/g         | 秃尖长/cm       | 糖度/%          |
|----|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| CK | 4.57 ± 0.15c | 18.53 ± 0.41b | 11.0 ± 0.00a | 36.76 ± 0.90c | 44.73 ± 1.40c | 2.10 ± 0.20a | 14.20 ± 0.45c |
| T1 | 5.50 ± 0.20a | 20.53 ± 0.75a | 11.0 ± 0.00a | 42.27 ± 1.76a | 55.60 ± 1.10a | 1.06 ± 0.15b | 16.50 ± 0.40a |
| T2 | 5.13 ± 0.15b | 19.20 ± 0.40b | 11.0 ± 0.00a | 39.76 ± 0.30b | 51.83 ± 1.35b | 1.70 ± 0.36a | 15.43 ± 0.35b |
| T3 | 5.00 ± 0.10b | 19.00 ± 0.45b | 11.0 ± 0.00a | 39.06 ± 0.75b | 50.33 ± 0.77b | 1.90 ± 0.20a | 15.16 ± 0.23b |

注:同一列不同字母表示差异的显著性。

玉米产量分析如表 5 所示,T1 组玉米产量最高,为 1159.34 kg·666.67m<sup>-2</sup>,显著高于 T2、T3 和 CK( $p < 0.05$ ),较 CK 组产量提高达 16.06%。T2、T3 的产量分别比 CK 组下降了 11.69%、9.08%,但差异不显著( $p > 0.05$ )。单果重方面,T1 组平均单果重最重,为 474.3 g,显著高于其它处理( $p < 0.05$ ),T2、T3、CK 间则差异不显著( $p < 0.05$ )。

如表 6 所示,由福建省农业科学院质量标准研究所对玉米的抗生素含量测定结果表明,在测定的 18 类抗生素中,玉米果实中均未发现抗生素含量;

重金属含量方面,根据国家标准 GB 2762—2012 规定,均符合食品安全食用标准。

表5 施用沼液对玉米产量的影响

| 组别 | 产量<br>(kg·666.67 m <sup>-2</sup> ) | 产量高出<br>对照/% | 最大单<br>果重/g | 平均单<br>果重/g    |
|----|------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| CK | 998.89 ± 51.25b                    | —            | 592.6       | 408.6 ± 12.97b |
| T1 | 1159.34 ± 29.27a                   | 16.06%       | 652.3       | 474.3 ± 24.55a |
| T2 | 882.15 ± 43.37c                    | -11.69%      | 574.7       | 360.9 ± 42.82b |
| T3 | 908.19 ± 17.13c                    | -9.08%       | 586.5       | 395.8 ± 37.15b |

表6 沼液中抗生素含量对玉米品质影响

| 项目                                          | 玉米               |
|---------------------------------------------|------------------|
| 金霉素/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(测定低限为 50.0)  |
| 四环素/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(测定低限为 50.0)  |
| 土霉素/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(测定低限为 50.0)  |
| 磺胺苯酰/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺吡啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺邻二甲基嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺二甲嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )   | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺间二甲基嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺甲噁唑/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺甲基嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )   | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺甲氧哒嗪/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )   | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺对甲氧嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺间甲氧嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺喹噁啉/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺氯哒嗪/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺嘧啶/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 磺胺噻唑/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )     | 未检出(检出限为 0.05)   |
| 氯霉素/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )    | 未检出(检出限为 0.03)   |
| 总砷/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )       | 0.06             |
| 汞/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )        | 未检出(方法检出限为 0.15) |
| 铜/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )        | 未检出(方法检出限为 5)    |
| 铅/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )        | 0.07(方法限量为 2)    |
| 镉/(方法限量为 2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 0.02             |

## 2.2 经济效益分析

如表7所示,在玉米种植过程中,因农艺措施和管理基本相同,种苗、人工、农药和动力费用等成本是一样。但施用沼液降低了化肥成本,每667  $\text{m}^2$ 的农田投入的可下降肥料成本达200~400元。从利润对比分析看,T1最高,每667  $\text{m}^2$ 利润达1427.42元,比CK提高69.46%,T3比CK提高了15.61%,T2效益则比CK下降了6.72%。

## 2.3 施用沼液对土壤肥力和质量的影响

如表8所示,通过沼液利用,与CK组相比,浇施沼液的各处理组在总氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量方面与CK相比较,得到不同程度的提高;总钾方面T1显著高于CK( $p < 0.05$ ),T2、T3则与CK相比,差异不显著( $p > 0.05$ )。在有机质、总磷指标方面则差异不显著( $p > 0.05$ )。土壤重金属含量方面,在如表9所示,各处理组的Hg、As、Cu含量显著高于CK( $p < 0.05$ );T1的Pb含量显著高于其它处理组( $p < 0.05$ ),T2、T3则显著低于CK( $p < 0.05$ );Cd含量方面,施用沼液的T2、T3处理与CK相比均显著提高( $p < 0.05$ ),T1则与CK差异不显著( $p > 0.05$ )。但土壤重金属按《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021),均在安全生产范围内。

表7 施用沼肥成本及产值比较

| 组别 | 成本/(元·667 $\text{m}^{-2}$ ) |     |    |      |     |     | 成本合计 | 产值      | 毛利      |
|----|-----------------------------|-----|----|------|-----|-----|------|---------|---------|
|    | 种苗                          | 人工  | 农药 | 动力费用 | 化肥  | 有机肥 | 元    | 元       | 元       |
| CK | 170                         | 650 | 75 | 260  | 400 | 0   | 1555 | 2397.34 | 842.34  |
| T1 | 170                         | 650 | 75 | 260  | 200 | 0   | 1355 | 2782.42 | 1427.42 |
| T2 | 170                         | 650 | 75 | 260  | 0   | 0   | 1155 | 1940.73 | 785.73  |
| T3 | 170                         | 650 | 75 | 260  | 0   | 0   | 1155 | 2128.80 | 973.8   |

注:平均单果重大于400克,每公斤收购价2.4元;平均单果重小于400克,每公斤收购价2.2元。

表8 施用沼液对土壤养分影响

| 组别 | 有机质<br>( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 总氮<br>( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 总磷<br>( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 总钾<br>( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 碱解氮<br>( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 速效磷<br>( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 速效钾<br>( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) |
|----|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| CK | 30.07 ± 1.08a                            | 1.50 ± 0.07b                            | 2.05 ± 0.11a                            | 24.26 ± 0.60b                           | 126.49 ± 7.22c                            | 203.55 ± 4.58b                            | 198.34 ± 6.55b                            |
| T1 | 31.05 ± 1.79a                            | 1.65 ± 0.08ab                           | 2.13 ± 0.08a                            | 25.38 ± 0.51a                           | 143.55 ± 10.33b                           | 231.42 ± 9.33a                            | 208.55 ± 4.37ab                           |
| T2 | 30.79 ± 3.03a                            | 1.63 ± 0.11ab                           | 2.21 ± 0.09a                            | 24.91 ± 0.31ab                          | 155.66 ± 6.48ab                           | 227.36 ± 5.49a                            | 210.41 ± 8.07a                            |
| T3 | 31.03 ± 1.52a                            | 1.68 ± 0.05a                            | 2.11 ± 0.07a                            | 23.96 ± 0.68b                           | 168.72 ± 2.48a                            | 230.45 ± 6.27a                            | 211.33 ± 3.51a                            |

## 3 讨论

利用养殖业畜禽粪污部分代替化学肥料是实现化肥减量的重要途径。有机肥和无机肥配合施用,

既推动了化肥减量、农作物优质高产、稳产,又提高了土壤有机质的投入和肥料利用效率,促进了养殖业和种植业绿色发展<sup>[28]</sup>。本试验的结果证明,施用猪粪沼液有助于提高玉米产量、产值和利润。在本

表9 施用沼液后土壤重金属含量变化

(mg·kg<sup>-1</sup>)

| 组别 | 总汞( Hg)       | 总砷( As)      | 铅( Pb)        | 镉( Cd)         | 铜( Cu)         |
|----|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|
| CK | 0.050 ± 0.00b | 2.17 ± 0.10c | 24.10 ± 0.56b | 0.093 ± 0.01b  | 7.79 ± 0.19c   |
| T1 | 0.080 ± 0.01a | 2.41 ± 0.12b | 28.10 ± 0.70a | 0.110 ± 0.01ab | 9.79 ± 0.32b   |
| T2 | 0.072 ± 0.00a | 3.09 ± 0.12a | 22.60 ± 0.44c | 0.130 ± 0.01a  | 10.30 ± 0.31ab |
| T3 | 0.072 ± 0.00a | 3.25 ± 0.12a | 23.50 ± 0.87c | 0.130 ± 0.03a  | 10.50 ± 0.26a  |

试验4种不同施肥方式中,T1组玉米品质良好,产量产值高,增产增效明显;其次是CK组,玉米产量、单果重和产值较T2组和T3组好,但玉米品质较T1组、T2组、T3组差;T2组玉米品质较T3组和CK组好,但玉米产量和产值等较CK组、T1组和T3组差。前人关于沼液对玉米品质的影响研究也有类似结论。和施用化肥相比,玉米施用沼液能提高发芽率<sup>[14]</sup>、产量、茎秆粗细、果穗大小、百粒重和行粒数等<sup>[25,29-31]</sup>。徐盛生<sup>[32]</sup>等对温室番茄施用沼液发现,沼液能够提高土壤孔隙度、降低土壤容重;能使番茄大小均匀,口味纯正浓郁;提高番茄抗病性和产值。沼液在蔬菜上的应用效果表明,沼液能提高小白菜<sup>[33]</sup>和青菜<sup>[34]</sup>等蔬菜的品质、产量和对氮磷钾的吸收利用率。从玉米的物理性状来看,施用不同比例的猪粪沼液对玉米品质、产量和经济效益等影响显著<sup>[31]</sup>,但并不是施用越多沼液玉米品质越好。吕淑敏<sup>[35]</sup>对玉米追施不同量沼液发现,随着沼液施用量的增加,玉米品质和产量产值等性状先增加后减少。罗伟<sup>[36]</sup>的试验结果表明,适量的沼液处理可促进马铃薯增产、改善其营养品质,但施加过量沼液不仅不能提高马铃薯品质和产量,反而会有所降低。本试验也有类似发现,施用50%化肥+50%沼液追施时,玉米品质和产量等性状最佳,采用100%沼液基施时,玉米产量和平均果重均有明显下降,这可能是因为沼液可以加速微生物对底物中有机氮的氨化作用<sup>[37]</sup>,刺激土壤微生物生长,增加其活性<sup>[38-39]</sup>,但过量施用会增加土壤溶液中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N等离子的浓度,降低土壤微生物活性,导致植株生长受到抑制,根系黄化率升高,产品品质下降<sup>[26]</sup>。

沼液是人畜粪便、农作物秸秆等有机物经厌氧发酵后的液体残余物<sup>[23]</sup>,富含农作物生长所需的氮磷钾等营养元素,能迅速被农作物吸收<sup>[40-42]</sup>。农田土壤中的重金属来源复杂,包括土壤环境自带的、畜禽粪便、肥料<sup>[43-44]</sup>。但有研究表明,若畜禽粪便中重金属含量较高,则用其制作的有机肥将导致土壤

重金属和有机质含量升高<sup>[45-46]</sup>,从而影响农作物和食用该农作物的人畜<sup>[47-48]</sup>。但本试验中玉米抗生素含量和土壤重金属含量并未超标,这可能与猪饲料中的饲料添加剂种类有关<sup>[49]</sup>。前人的研究表明,长期施用沼液可以提高土壤肥效<sup>[50-51]</sup>,增加酸性土壤pH值<sup>[52]</sup>,沼液部分代替化肥能提高土壤总氮、磷、钾含量<sup>[31]</sup>,显著增加土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾等养分含量<sup>[53]</sup>,且均不存在污染的风险<sup>[54-55]</sup>和本试验结果一致。研究表明,就玉米而言,50%沼液代替化肥不仅可以获得比纯化肥处理更优质的玉米品质和产量<sup>[56-57]</sup>,而且经济效益更好。以上研究与本试验结果相符,均表明沼液和化肥配合施用,可以提高玉米品质和产量,改善土壤理化性质和肥效,而且不会积累重金属等有害物质,对沼液资源化利用具有积极意义。

#### 4 结论

在本研究条件下,施用50%化肥基施+50%沼液追施能显著提高玉米品质、产量和产值,土壤养分也有所提升,并且玉米抗生素含量和土壤重金属含量都在标准范围内。

#### 参考文献:

- [1] 赵峻枫. 甜玉米优质高产栽培技术要点[J]. 世界热带农业信息, 2022(07): 26-27.
- [2] 蔡翠萍. 不同播种密度及施肥次数对超甜玉米产量的影响[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(12): 116-117.
- [3] GLAESNER N, KJAERGAARD C, RUBAEK GH, et al. Interactions between Soil Texture and Placement of Dairy Slurry Application: II. Leaching of Phosphorus Forms [J]. Journal of Environmental Quality, 2011, 40(2): 344-351.
- [4] 吕汶霖. 沼液农用对小麦产量、品质及土壤质量的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2011.
- [5] 王礼伟, 赵晨, 周刚, 等. 畜禽沼液农业资源化综合利用的研究进展[J]. 农业与技术, 2022, 42(09): 74-

- 77.
- [6] 李拓. 畜禽养殖粪污资源化利用现状问题及对策[J]. 中国动物保健, 2022 24(05): 118–119.
- [7] 包书芳, 黄荣春, 陈燕妮, 等. 浅析猪场治污的原因及措施[J]. 养殖与饲料, 2021 20(10): 37–38.
- [8] 聂莹, 曾晓楠. 以猪粪为原料的沼液成分分析[J]. 安徽农业科学, 2013 41(28): 11467–11468.
- [9] 孙国峰, 周炜, 何加骏, 等. 猪粪沼液施用后土壤理化性状及小麦产量的变化[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(05): 1054–1060.
- [10] 兰厚芬. 规模养殖场畜禽粪污处理和资源化利用[J]. 农家参谋, 2022(08): 78–80.
- [11] 王卫东. 规模化养猪粪便对环境的污染及防治对策[J]. 中国畜禽种业, 2021 17(10): 78.
- [12] 刘敏. 沼液肥料化还田应用效果研究[D]. 西宁: 宁夏大学, 2021.
- [13] 蒋家霞, 林昌华, 韩定角, 等. 规模猪场猪粪、沼液及有机肥的成分分析[J]. 畜牧业环境, 2020(06): 8–24.
- [14] 巴合旦·巴达力, 海拉提·扎克利亚, 杨丽. 沼液浸种对玉米种子萌发的影响[J]. 新疆农业科技, 2016(01): 17–19.
- [15] 祁连弟. 沼肥对玉米生长性状及产量影响的研究[J]. 中国沼气, 2014 32(02): 52–55.
- [16] 王艳霞, 陈爱昌. 马铃薯施用沼肥增产效果及抗病性试验研究[J]. 中国沼气, 2020 38(04): 54–56.
- [17] 毛晓月, 伍钧, 孟晓霞, 等. 沼液对芥菜产量、品质及病虫害防治的影响[J]. 华北农学报, 2017 32(S1): 283–289.
- [18] 曹易繁, 彭先进. 沼液施用对青贮小麦产量品质和土壤养分的影响[J]. 农业与技术, 2022 42(10): 90–93.
- [19] 彭智平, 刘建峰, 黄洁容, 等. 施用液体肥料对甜玉米产量品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2009(11): 82–84.
- [20] 刘庆平. 沼液农用对黑土土壤肥力、重金属含量和玉米产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [21] 鲁天文, 王勤礼, 许耀照, 等. 沼液追肥对制种玉米产量与土壤化学性质的影响[J]. 中国沼气, 2015 33(02): 81–83.
- [22] 吴华山, 郭德杰, 马艳, 等. 猪粪沼液施用对土壤氮挥发及玉米产量和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012 20(02): 163–168.
- [23] 赵麒麟. 旱旱轮作模式下沼液连续施用对土壤质量和玉米产量及品质的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2012.
- [24] 靳红梅, 常志州, 郭德杰, 等. 追施猪粪沼液对菜地氨挥发的影响[J]. 土壤学报, 2012 49(01): 86–95.
- [25] 赵新颖, 高星爱, 那伟, 等. 不同沼液施用方式对玉米农艺性状及产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(06): 38–40.
- [26] 张丽萍, 孙国峰, 王子臣, 等. 沼液施用条件下水稻秧苗生长限制因子分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2537–2543.
- [27] 李宏业, 王勇, 李婷婷, 等. 不同肥料施用对设施蟠桃产量及品质影响的研究[J]. 新疆农垦科技, 2019, 42(01): 34–38.
- [28] 吴宓, 张莉, 解子德, 等. 系统解决畜禽粪污资源化利用(下)——末端利用的关键技术[J]. 中国畜牧业, 2022(08): 27–30.
- [29] 姚光伟, 付怡, 汪文静. 沼液对玉米德单 123 产量及土壤肥力的影响[J]. 浙江农业科学, 2022 63(8): 1–3.
- [30] 田启欢, 姚建刚, 宫亚斌, 等. 沼液施用量对夏玉米生长特性的影响[J]. 畜牧产业, 2021(04): 38–41.
- [31] 陶斯娜, 何招亮, 张孟孟, 等. 麦玉轮作模式下有机(沼液)替代与减量施肥对作物产量及肥料利用的影响[J]. 四川农业大学学报, 2022: 1–13.
- [32] 徐盛生, 曲美玲. 沼肥对日光温室番茄生长的影响[J]. 中国果菜, 2022 42(06): 60–62.
- [33] 胡正江, 王昭晴, 赵自超. 华北小白菜产量、氮素利用及品质对沼液的响应[J]. 中国沼气, 2022 40(03): 24–28.
- [34] 齐文, 王德刚, 何贤彪, 等. 沼液替代化肥对青菜产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(05): 988–990.
- [35] 吕淑敏. 不同沼液用量对夏玉米源库代谢和产量形成的调节作用[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- [36] 罗伟. 沼液对马铃薯产量、品质及土壤环境质量的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2020.
- [37] 甘寿文, 徐兆波, 黄武. 大型沼气工程生态应用关键技术研究[J]. 中国生态农业学报, 2008(05): 1293–1297.
- [38] 王礼伟, 汪国莲, 王宏宝, 等. 沼液代替化肥对甜瓜生长及土壤微生物的影响[J]. 南方农业学报, 2021 52(09): 2498–2506.
- [39] 刘兰英, 黄薇, 李莹, 等. 长期施用沼液对槟榔芋土壤细菌群落结构和多样性的影响[J]. 农业生物技术学报, 2022 30(01): 125–137.
- [40] 翟赛亚. 沼液对茶园土壤环境及茶叶品质产量的影响[J]. 西北园艺(综合), 2022(02): 56–61.
- [41] 李伟, 吴树彪, BAH HAMIDOU, 等. 沼气工程高效稳

- 定运行技术现状及展望[J]. 农业机械学报, 2015 46(07): 187–196.
- [42] SVENSSON L M, CHRISTENSSON K, BJOERNSSON L. Biogas production from crop residues on a farm-scale level in Sweden: scale, choice of substrate and utilisation rate most important parameters for financial feasibility [J]. *Bioprocess & Biosystems Engineering*, 2006 29(2): 137–142.
- [43] 代鹏飞, 王帅, 钱坤, 等. 某铀矿区农田土壤重金属生物有效性分析[J]. 生态与农村环境学报, 2021 37(05): 644–650.
- [44] 常同举, 崔孝强, 阮震, 等. 长期不同耕作方式对紫色水稻土重金属含量及有效性的影响[J]. 环境科学, 2014 35(06): 2381–2391.
- [45] 张丽芳, 夏文建, 张文学, 等. 长期施用猪粪和化肥对稻田土壤 Cu、Zn 和 Cd 含量及有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022: 1–12.
- [46] 张建臣, 郭洪梅, 高凤如, 等. 山东省生猪主产区土壤重金属沉积存量研究[J]. 畜牧兽医科技信息, 2021(10): 38–40.
- [47] CHARY N S, KAMALA C T, RAJ D S S. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2008 69(3): 513–524.
- [48] 范珊珊, 刘继远, 谭晓东, 等. 北京畜禽粪便中重金属的污染风险评价[J]. 安徽农学通报, 2021 27(24): 80–84.
- [49] 李琴, 桂双林, 易其臻, 等. 畜禽粪便生物炭理化性质及其在环境修复应用中的研究进展[J]. 广东农业科学, 2022 49(02): 73–84.
- [50] DE FRANÇA AMANDA ARAUJO, VON TUCHER SABINE, URS S. Effects of combined application of acidified biogas slurry and chemical fertilizer on crop production and N soil fertility [J]. *European Journal of Agronomy*, 2021 123.
- [51] 倪亮, 孙广辉, 罗光恩, 等. 沼液灌溉对土壤质量的影响[J]. 土壤, 2008(04): 608–611.
- [52] 石亚楠, 刘鸣达, 张克强, 等. 猪场厌氧肥水灌溉对设施油菜产量及品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015 34(01): 190–195.
- [53] 刘敏. 沼液肥料化还田应用效果研究[D]. 西宁: 宁夏大学, 2021.
- [54] 李金澄, 孙吉翠, 张忠兰, 等. 沼液-土壤-玉米系统中重金属迁移富集特性[J]. 江苏农业科学, 2020 48(21): 292–297.
- [55] 秦乃群, 马巧云, 高敬伟, 等. 沼渣施用对花生小麦轮作作物产量及土壤养分和重金属含量的影响[J]. 中国农学通报, 2022 38(08): 58–63.
- [56] 何娇, 梁巧玲, 靳志锋. 生物有机肥对甜玉米产量·品质和土壤肥力的影响[J]. 安徽农业科学, 2021 49(24): 175–177.
- [57] 潘飞飞, 唐蛟, 孙壮, 等. 沼液替代化肥对冬小麦产量的影响[J]. 作物杂志, 2022(03): 174–180.