



沼液替代氮肥对轻度盐化潮土土壤性质和玉米产量的影响

张典¹, 孙楷清^{2, 3}, 杨全刚^{2, 3*}, 张延杰⁴, 石艳春¹, 庄兆恒¹,
库元^{2, 3}, 战威名^{2, 3}, 冯晶鑫^{2, 3}

(1. 中广核环保产业有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 山东农业大学资源与环境学院,
山东 泰安 271018; 3. 土肥高效利用国家工程研究中心, 山东 泰安 271018;
4. 中广核阳信生物能源科技有限公司, 山东 阳信 251800)

摘要: 为研究沼液替代氮肥对轻度盐化潮土的土壤性质和作物产量的影响, 在山东省滨州市阳信县轻度盐化潮土上开展了玉米田间试验, 试验共设置 4 个处理, 分别为常规施肥 (XG) 及沼液替代常规施肥氮肥的 50% (T50)、70% (T70) 和 100% (T100)。结果表明, 与常规施肥比较, 沼液替代氮肥处理土壤碱解氮、速效钾和有机质含量显著提高, 分别增加了 32.30% ~ 34.29%、27.37% ~ 72.25% 和 14.96% ~ 21.09%, 其中 T100 处理更有利于提升土壤有机质含量, T50 处理对土壤有效磷和速效钾的提高效果最好; T50 和 T70 处理显著增加了土壤铁、铜、锌等微量元素含量; T50 处理并不能显著增加土壤汞、镉、铬、铅等重金属含量和土壤电导率; 沼液替代氮肥显著提高土壤碱性磷酸酶和蔗糖酶活性, 分别提高 7.18% ~ 32.59% 和 17.38% ~ 19.85%; 沼液替代氮肥处理显著提高微生物丰富度; 相较于 XG 处理, T50、T70 和 T100 处理显著提升了玉米的产量, 分别提高了 19.01%、16.84% 和 18.69%。综合分析, 沼液替代不同比例氮肥能够显著改善土壤性质和提高玉米产量, 在常规施肥的基础上施用 50% 沼液替代氮肥效果最好。研究结果可为沼液在轻度盐化潮土上的应用提供理论参考。

关键词: 沼液; 盐化潮土; 土壤性质; 产量

盐渍土是我国分布广泛的土地资源, 总面积大约为 $3.69 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[1]。其中黄淮海地区盐渍土面积约为 $44.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 主要土壤类型为盐化潮土^[2]。盐化潮土中盐分含量过高会破坏土壤结构, 造成土壤板结, 还会降低土壤中微生物的数量以及活性, 从而阻碍土壤中多种营养元素的转化, 造成土壤养分贫瘠^[2-3]。土壤盐分过高还会引起土壤中渗透压升高, 影响作物对土壤养分和水分的吸收^[4]。因此, 研究如何提高盐化潮土中养分有效性以及改善土壤结构对提升当地农业发展具有积极意义。

沼液是禽畜粪便等有机物经过厌氧发酵后的残留液体^[5], 其中含有丰富的可供作物直接吸收的速效养分, 能够改善作物对盐碱土养分吸收的状

况^[6]。李忠华等^[7]研究表明, 随着沼液施用量的提升, 土壤中氮、磷、钾元素的含量均随之升高。同时沼液中大量的有机物质可以作为胶结剂促进土壤团聚体的形成, 对土壤盐分过高造成的土壤板结有良好的改善效果^[8-9]。刘中良等^[10]发现, 长期施用沼液可以改善大量施用无机肥料所带来的土壤板结的问题。施用沼液还能提升土壤中多种酶的活性^[8], 从而提高土壤中速效养分的含量。合理施用沼液还能降低畜牧养殖业所带来的环境污染问题, 降低农业生产成本^[11]。但沼液中氮素等大量元素含量低、施用量低, 不能满足作物生长需求, 施用量高会出现烧苗现象, 因此, 在施用沼液的同时必须配施一定量的氮肥, 研究沼液替代氮肥比例及对土壤性质和作物产量的影响对降低化肥投入、节约成本及提高农业经济和生态效益具有重要意义。

研究表明, 沼液可以部分替代化肥进行施肥且不会造成小麦减产, 但不宜将沼液作为单一肥源进行施用^[12]。沙土上沼液替代 50% 氮肥比例最佳, 有利于提高小麦产量和品质^[13], 棕壤上沼液替代 60% 氮肥显著提高土壤速效养分含量、玉米产量

收稿日期: 2023-11-05; 录用日期: 2024-01-13

基金项目: 中广核环保产业有限公司测土施肥体系研究 (077-GN-B-2022-C45-P 99-00002); 国家重点研发计划环渤海盐碱地耕地质量与产能提升技术模式与应用 (2021YFD190090205)。

作者简介: 张典 (1989-), 助理工程师, 硕士研究生, 研究方向为农业废弃物资源化利用、绿色农业发展。E-mail: yqg200205@126.com。

通讯作者: 杨全刚, E-mail: sttzy@sdaa.edu.cn。

和品质^[14]。在砂姜黑土上研究表明,沼液替代化肥比例为 50% 时,小麦秸秆生物量和地上部总生物量均达最大值^[15]。灰钙土上沼液替代 45% 化肥可有效改善土壤结构,显著提高土壤肥力和玉米产量^[16]。沼液替代 66% 的化肥显著提高滨海稻田土壤有机氮的有效性,同时还提高了土壤氮库的稳定性。但目前对于沼液在轻度盐化潮土上替代氮肥后对土壤性质和作物产量的影响研究较少,本文以山东省滨州市阳信县轻度盐化潮土为研究对象,研究沼液替代不同比例氮肥对土壤性质以及玉米产量的影响,为沼液在轻度盐化潮土上的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地块位于山东省滨州市阳信县,属于黄河冲积平原,温带季风型气候,海拔 12 m,年均日照时数为 2704.2 h,光照充足,历年年均气温 12.3℃,极端最高气温 40.1℃,极端最低气温 -21.5℃,年降水量较少,历年平均降水量为 567.7 mm。无霜期 200 d 左右,土壤类型为轻度盐化潮土(表 1)。

表 1 土壤基本性质

| pH | 有机质 (g · kg ⁻¹) | 碱解氮 (mg · kg ⁻¹) | 有效磷 (mg · kg ⁻¹) | 速效钾 (mg · kg ⁻¹) | 电导率 (mS · cm ⁻¹) | 盐分 (%) |
|------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|
| 8.15 | 15.81 | 58.47 | 8.41 | 106.67 | 0.12 | 0.18 |

注:土壤中的磷、钾含量以 P、K 计算。下同。

1.2 试验材料

玉米品种为登海 605。沼液由中广核阳信生物能源科技有限公司提供,发酵原料为牛粪,pH 为 8.8,总氮 2.60 kg · m⁻³,总磷 3.40 kg · m⁻³,总钾 2.00 kg · m⁻³,盐分 1.62%,容重 1030 kg · m⁻³,微量元素和重金属含量见表 2。

表 2 土壤和沼液中的微量元素、重金属含量

| 材料 | (mg · kg ⁻¹) | | | | | | | | |
|----|--------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| | Fe | Mn | Cu | Zn | Hg | Cd | Cr | Pb | As |
| 土壤 | 7.58 | 6.05 | 0.61 | 2.89 | 0.190 | 0.065 | 9.27 | 6.23 | 2.56 |
| 沼液 | 15.60 | 0.33 | 0.20 | 0.37 | 0.028 | 0.017 | 0.11 | 0.26 | 0.39 |

1.3 试验设计

2022 年 6 月 15 日播种玉米,9 月 27 日收获。试验共设 4 个处理,分别为常规施肥(XG)及沼

液替代常规施肥 50%(T50)、70%(T70)和 100% 氮肥(T100),3 次重复,小区面积为 48 m²,随机区组设计。沼液施用分为苗肥(7 月 8 日)和玉米大喇叭口追肥(8 月 10 日)。XG 处理施用苗肥缓控释肥(N-P₂O₅-K₂O: 27-14-11) 375.00 kg · hm⁻²和追肥尿素 300 kg · hm⁻²,T50、T70、T100 处理分别施用苗肥沼液 19.47、27.26、38.94 m³ · hm⁻²和追肥沼液 26.54、37.15、53.08 m³ · hm⁻²,通过施用尿素(N-P₂O₅-K₂O: 46-0-0)、磷酸二氢铵(N-P₂O₅-K₂O: 12-61-0)、硫酸钾(N-P₂O₅-K₂O: 0-0-50)保持处理间养分相同。化肥施用方式为在两行玉米间开深 10 cm 沟施入,沼液按照 1:4 比例稀释后开深 10 cm 沟施入,同时在常规施肥处理补充灌溉同等体积清水。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 土壤样品采集

土壤样品采用梅花形取样法采集,一部分土样置于 4℃ 冰箱保存,用于测定土壤酶活性等指标;一部分土壤样品存于 -80℃ 冰箱冷冻保存用于土壤微生物群落结构的测定;剩余部分于室内自然风干,研磨过 0.85 和 0.15 mm 筛,用于常规土壤分析。

1.4.2 土壤样品测定

pH 值采用雷磁 PHS-3C pH 仪(水土比 2.5:1, 25℃)测定;土壤电导率采用雷磁 DDS-307 电导率仪(水土比 5:1, 25℃)测定。土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用 0.5 mol · L⁻¹ NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用火焰光度法测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化—外加热法测定;土壤微量元素、重金属含量使用 CP-5000 电感耦合等离子体发射光谱仪测定。土壤碱性磷酸酶、尿酶和蔗糖酶活性分别采用对硝基苯磷酸盐法、苯酚钠比色法和 3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

1.4.3 土壤微生物群落多样性的测定

土壤总 DNA 的提取:根据 E.Z.N.A.®soilDNAkit (OmegaBio-tek, Norcross, GA, U.S.)说明书,土壤微生物群落总 DNA 进行提取,使用 1% 的琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 的提取质量,使用 NanoDrop2000 测定 DNA 浓度和纯度。

PCR 扩增和测序:使用 338F (ACTCCTACGGGAG GCAGCAG) 和 806R (GGACTACHVGGGTWTCTAAT) 对细菌 16S rRNA 基因 V3 ~ V4 区进行 PCR 扩增,使用引物 ITS1F (5'-CTTGCTCATTTAGAGGAAGTAA-3')



和 ITS2R (5'-GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3') 对真菌 ITS 基因进行 PCR 扩增, PCR 反应体系: 5 × FastPfuBuffer 4 μL, 2.5 mmol · L⁻¹ dNTPs 2 μL, ForwardPrimer (5 μmol · L⁻¹) 0.8 μL, ReversePrimer (5 μmol · L⁻¹) 0.8 μL, FastPfuPolymerase 0.4 μL, BSA 0.2 μL, TemplateDNA 10 ng。PCR 扩增条件 95 °C 3 min, 其次是细菌 27 个循环, 真菌 35 个循环 (95 °C 变性 30 s, 55 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 30 s), 最后 72 °C 稳定延伸 10 min, 使用 Illumina 公司的 MiseqPE300 平台进行测序。

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2018 和 SPSS 26.0 进行整理和方差分析, 使用 Origin 2022 做图, 邓肯比较法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 沼液替代氮肥对土壤理化性质的影响

如表 3 所示, 沼液替代氮肥可以提高土壤 pH

值、碱解氮、有效磷以及速效钾的含量。与 XG 处理相比, T100 处理显著提高了土壤 pH 值, 增加了 0.36; T50、T70、T100 处理的土壤有机质和碱解氮含量均显著增加, 分别提高了 14.96%、17.67%、21.09% 和 32.30%、34.29%、34.23%。T70、T50 处理与 XG 处理相比, 均能显著提高土壤中有有效磷含量, 分别提高了 48.90%、45.92%, 但 T100 处理相较于 XG 处理土壤有效磷含量没有显著差异; 与 XG 处理相比, 沼液替代氮肥的处理均能显著提高土壤速效钾含量, 分别提高了 72.25%、34.20%、27.37%, 其中 T50 处理的效果最好, 较 T70、T100 处理分别提高了 28.35%、35.23%。T50 处理与 XG 处理相比较, 土壤电导率没有显著差异, 仅提高了 7.69%, T70 处理土壤电导率显著高于 XG、T50 处理, 分别提高了 73.80%、59.85%, 与 XG、T50、T70 处理相比, T100 处理土壤电导率分别显著提高了 107.69%, 92.86% 和 22.72%。

表 3 土壤基本理化性质

| 处理 | pH | 有机质 (g · kg ⁻¹) | 碱解氮 (mg · kg ⁻¹) | 有效磷 (mg · kg ⁻¹) | 速效钾 (mg · kg ⁻¹) | 电导率 (mS · cm ⁻¹) |
|------|--------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| XG | 8.14b | 16.64b | 59.41b | 10.04b | 101.59c | 0.13c |
| T50 | 8.38ab | 19.13a | 78.60a | 14.95a | 174.99a | 0.14c |
| T70 | 8.39ab | 19.58a | 79.78a | 14.65a | 136.33b | 0.22b |
| T100 | 8.40a | 20.15a | 79.75a | 11.21b | 129.40b | 0.27a |

注: 表中数据为平均值; 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 沼液替代氮肥对土壤微量元素含量的影响

由图 1 可知, 与 XG 处理相比较, T50、T70、T100 处理均显著增加土壤中 Fe 的含量, 分别提高了 61.72%、57.29%、27.03%, 其中 T50、T70 处理

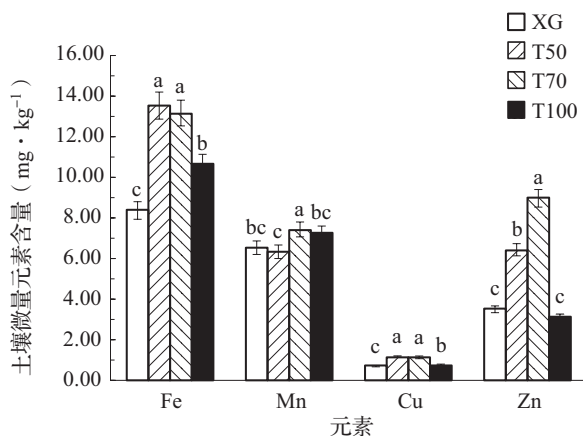


图 1 土壤微量元素含量

注: 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

与 T100 处理相对比, 土壤中铁含量显著提高, 分别提高了 27.31%、23.82%。T70 处理与 XG、T50 和 T100 处理相比较, 显著提高了土壤锰的含量, 分别增加了 13.65%、17.06% 和 2.20%。与 XG 处理相比, T50、T70、T100 处理均显著提高了土壤铜的含量, 分别增加了 64.38%、59.90%、4.76%。与 XG、T50、T100 处理相比较, T70 处理提高土壤中锌含量的效果最显著, 分别提高了 155.27%、39.56%、186.26%, T50 处理土壤锌含量显著高于 XG、T100 处理, 分别提高了 82.91%、105.11%。

2.3 沼液替代氮肥对土壤重金属含量的影响

由表 4 可以看出, 与 XG 处理相比, T50 处理对土壤汞、铬、镉、铅的含量均没有显著影响, 但显著提高了土壤砷的含量, 增加了 68.90%; T70 处理土壤铬、砷、铅的含量显著高于 XG 处理, 分别提高了 19.55%、45.33%、106.01%。T70 处理与 XG、T50 处理相比, 土壤汞含量显著增加, 分别

提高了 143.48% 和 86.67%。T100 处理与其他处理相比显著增加了土壤中汞、铬、铅、砷的含量，汞分别提高了 504.35%、363.33%、148.21%，铬分别提高了 41.03%、33.59%、17.97%；铅分别提高了 142.68%、86.14%、66.99%，砷分别增加了 406.36%、199.79%、145.79%。

| 表 4 土壤重金属含量 (mg · kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------------|-------|--------|---------|--------|--------|
| 处理 | 汞 | 镉 | 铬 | 铅 | 砷 |
| XG | 0.23c | 0.070a | 9.87c | 6.42c | 2.83c |
| T50 | 0.30c | 0.071a | 10.42bc | 8.37bc | 4.78b |
| T70 | 0.56b | 0.080a | 11.80b | 9.33b | 5.83b |
| T100 | 1.39a | 0.070a | 13.92a | 15.58a | 14.33a |

2.4 沼液替代氮肥对土壤酶活性的影响

与 XG 处理相比，T50、T70、T100 处理土壤碱性磷酸酶活性均显著增加，分别提高了 7.18%、10.36%、32.59%，与 T50 和 T70 处理相比，T100 处理显著增加土壤碱性磷酸酶活性，分别提高了 23.71% 和 20.14%。对土壤碱性磷酸酶活性影响效果由大到小的顺序为 T100>T70>T50>XG。T100 处理与 XG、T50 和 T70 处理相比，土壤脲酶活性均有显著提高，分别增加了 14.76%、10.98% 和 10.65%。与 XG 处理相比，T50、T70 和 T100 处理土壤蔗糖酶活性分别显著提高了 17.38%、19.40% 和 19.85%。沼液替代氮肥处理间土壤蔗糖酶活性的差异不显著（表 5）。

| 表 5 土壤酶活性 | | | |
|-----------|---|--|---|
| 处理 | 碱性磷酸酶 (μmol · h ⁻¹ · g ⁻¹) | 脲酶 (μg · d ⁻¹ · g ⁻¹) | 蔗糖酶 (mg · d ⁻¹ · g ⁻¹) |
| XG | 1401.28c | 761.56b | 48.92b |
| T50 | 1501.94b | 787.49b | 57.42a |
| T70 | 1546.51b | 789.83b | 58.41a |
| T100 | 1858.01a | 873.96a | 58.63a |

2.5 沼液替代氮肥对土壤微生物的影响

2.5.1 沼液替代氮肥对土壤微生物 α-多样性的影响

由表 6 可知，沼液替代氮肥处理均能显著提高土壤微生物群落的丰富度，但对于微生物多样性影响不显著。T50、T70、T100 处理的 Ace 丰富度指数相较于 XG 处理分别显著增加了 38.79%、30.72% 和 39.72%；Chao1 丰富度估计指数分别显著升高了 41.01%、31.39% 和 40.92%。而施加沼液的处理相较于 XG 处理的 Shannon 多样性指数没有显著差异，其

中 T50 处理相较于 XG 处理提升了 13.04%；T70 和 T100 处理分别降低了 2.76% 和 2.68%。

| 表 6 土壤微生物群落 α-多样性分析 | | | |
|---------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 处理 | Ace 丰富度 指数 | Chao1 丰富度 估计指数 | Shannon 多样性 指数 |
| XG | 413.09b | 414.43b | 3.86a |
| T50 | 573.34a | 584.37a | 4.36a |
| T70 | 540.00a | 544.53a | 3.75a |
| T100 | 577.16a | 584.02a | 3.76a |

2.5.2 沼液替代氮肥对土壤微生物群落结构的影响

如图 2 所示，常规施肥与沼液替代氮肥的处理土壤真菌优势菌门（相对丰度 >2%）包括子囊菌门（Ascomycota）、被孢霉门（Mortierellomycota）、未分类真菌（Unclassified_k_Fund）、油壶菌门（Olpidiomycota）、疏霉门（Kickxellomycota）、担子菌门（Basidiomycota），但所占比例存在差异，其中子囊菌门所占比例最大。T50 处理担子菌门占比高于 XG、T70、T100 处理，T70 处理疏霉门占比高于 T50 和 T100 处理，T100 处理中的被孢霉门占比低于 XG、T50、T100 处理，而油壶菌门占比显著高于 XG、T50、T70 处理，这说明沼液用量过高会促进油壶菌门的发育，抑制被孢菌门和担子菌门的发育。

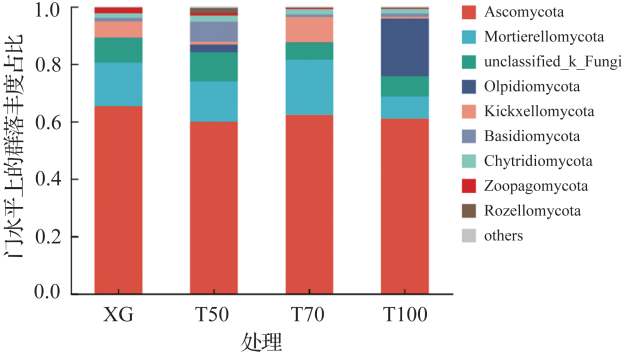


图 2 土壤微生物群落结构

2.5.3 沼液替代氮肥对土壤微生物的 β-多样性影响

沼液替代氮肥的情况下，在 OTU 水平下采用 NMDS 对不同处理土壤真菌群落结构差异进行分析，结果如图 3 所示，不同处理真菌群落形成显著聚类。在 OTU 水平下群落相似性检验分析（ANOSIM）显示，不同处理土壤真菌群落组成存在显著差异（P<0.001），表明不同处理的物种样本在分类差异的基础上显著地聚集到不同的类群中。XG、T50、T70 和 T100 处理之间出现明显分离。

这说明沼液替代氮肥对土壤真菌群落结构有显著影响。

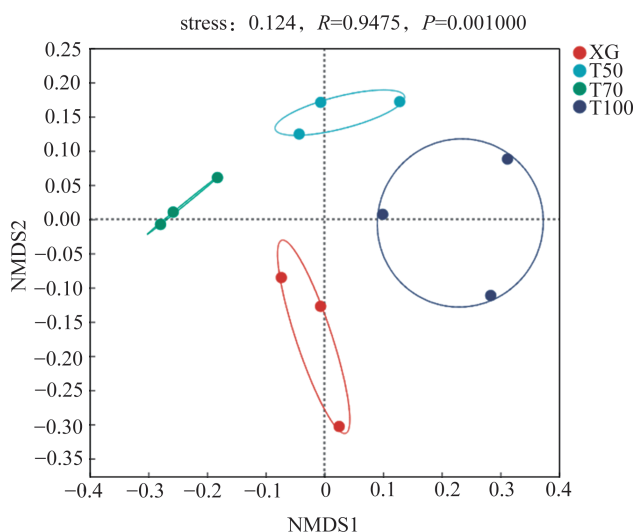


图3 土壤微生物群落结构的 NMDS 分析

2.6 沼液替代氮肥对玉米产量的影响

由表7可以看出, T70和T100处理显著提高了玉米的行粒数, 分别提高了10.09%和9.17%; T50、T70和T100处理均显著增加了玉米的穗粒数以及百粒重, 其中穗粒数分别增加了12.84%、10.54%和11.55%, 百粒重分别增加了5.53%、5.78%和6.48%; 相较于XG处理, T50、T70和T100处理显著提高了玉米的产量, 分别提高了19.01%、16.84%和18.69%。

表7 玉米产量指标

| 处理 | 穗行数 | 行粒数 | 穗粒数 | 百粒重 (g) | 产量 (kg·hm ⁻²) |
|------|--------|---------|---------|------------|------------------------------|
| XG | 17.00a | 32.70b | 553.67b | 31.47b | 10906.65b |
| T50 | 17.70a | 35.30ab | 624.81a | 33.21a | 12979.05a |
| T70 | 17.00a | 36.00a | 612.00a | 33.29a | 12743.55a |
| T100 | 17.30a | 35.70a | 617.61a | 33.51a | 12945.45a |

3 讨论

3.1 沼液替代氮肥对土壤理化性质的影响

沼液中含有大量的氮、磷、钾等营养元素以及丰富的有机质, 施加到土壤中能在一定程度上提高土壤养分及有机物质的含量。李文涛^[17]将沼液灌溉到农田后, 土壤中铵态氮和有效磷含量均增加了20%左右, 土壤速效钾含量提高了35%, 有机质含量也有明显提高; Xu等^[18]连续3年向农田中施加沼液, 证明施用沼液可以明显改善土壤质量。本试

验中沼液替代氮肥施入土壤中的处理均能提高土壤营养元素以及有机质的含量, T100处理土壤有机质含量最高, 这说明土壤中有机质含量的提升主要取决于沼液的施用量^[19]。

本试验中沼液替代氮肥的各处理对土壤pH的提升均不显著, 这与王康等^[6]的研究结果一致。沼液中也含有较高的盐分, 大量施用沼液会造成土壤盐分的积累, 可能引起土壤质量和作物产量的下降。本试验中T100处理土壤电导率显著高于其他处理, 郭全忠等^[20-21]通过研究不同用量以及不同年限施用沼液对土壤盐分的积累, 发现过量施用沼液以及常年连续施用沼液都会造成土壤盐分含量的升高, 每公顷施加1600 m³沼液会使土壤电导率提升1.6倍, 连续7年向土壤中施加600 t·hm⁻²的沼液, 土壤盐分含量比不施加沼液的处理提升4.74倍。因此, 在施用沼液时应控制施用量, 并定期监测土壤盐分的变化情况, 避免对土壤造成破坏。

3.2 沼液替代氮肥对土壤微量元素及重金属含量的影响

微量元素是植物生长发育过程中不可缺少的营养物质, 对于作物的产量和品质有一定的影响^[22]。沼液中含有丰富的微量元素, 施加沼液能够增加土壤中微量元素含量^[23]。同时沼液中还含有镉、铬、砷、铅等重金属元素, 长期过量施用沼液可能会造成重金属对土壤的污染^[24]。Barlog等^[25]将秸秆、沼液、化肥按不同比例加入土壤中, 发现随着沼液比例的提升, 土壤微量元素和重金属含量均有不同程度的升高。本试验表明, 沼液替代氮肥的处理土壤微量元素含量均有不同程度的提升。沼液替代氮肥的处理土壤重金属含量均有所增加, 且随着沼液施入量的升高, 土壤重金属含量随之升高, 但均未超出相关国家标准。但也说明随着沼液施入量的增大, 土壤可能存在重金属积累的风险^[26-27]。段然等^[28]对连续施用6年沼液的土壤分析, 发现土壤中各类重金属含量均在国家标准范围内, 未发生重金属污染现象。

3.3 沼液替代氮肥对土壤酶活性的影响

土壤酶是一种能够催化土壤中各种物质以及能量转化过程的物质, 是反映土壤生态条件的重要指标^[29]。土壤酶活性与土壤养分状况有着紧密联系^[30-31]。邱莉萍等^[32]通过施用化肥、秸秆以及厩肥等营养物质长期培肥土壤, 发现长期使用有机物质可以显著提升土壤脲酶和碱性磷酸酶活性。

Jüschke 等^[33]通过施加不同浓度沼液和液体厩肥,发现较高浓度的沼液可以在短期内提升土壤酶活性,本试验通过施加不同用量的沼液发现土壤碱性磷酸酶、脲酶以及蔗糖酶活性均与沼液用量呈正相关。李文龙等^[34]通过研究不同用量沼液配施钾肥后土壤酶活性的变化也得出了相似结果。

3.4 沼液替代氮肥对土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤中最活跃的肥力因子之一,不同数量和种类的微生物对土壤中养分的转化以及植物对养分的吸收都有一定程度的影响^[35-36]。本试验发现,沼液替代氮肥处理土壤中细菌的丰富度显著提升,但多样性没有显著变化。李文涛^[17]将不同用量沼液施入土壤中,发现随着沼液施入量的升高,土壤中微生物数量最多,提高 40.91%,但土壤中微生物种类变化不明显,这与本试验得到的结果相似。王礼伟等^[37]通过研究不同用量沼液替代化肥施入土壤中,发现随着沼液替代化肥的比例升高,土壤中子囊菌门数量较 CK 提升了 21.58%,而担子菌门和被孢菌门的数量明显降低。与本试验中 T100 处理的被孢菌门占比显著降低的结果一致。

4 结论

(1) 沼液替代氮肥可以显著提高轻度盐化潮土的有机质、速效养分、微量元素含量和碱性磷酸酶及蔗糖酶活性,增加土壤中细菌丰富度,显著影响真菌群落结构。

(2) 沼液替代 50% 氮肥情况下,施加沼液仅提升土壤电导率 7.69%,对土壤重金属汞、镉、铬、铅含量没有显著影响,可以提高玉米产量 19.01%。因此,沼液替代 50% 氮肥为最佳处理,施用时期为玉米苗期和大喇叭口期。

参考文献:

[1] 杨劲松,姚荣江,王相平,等. 中国盐渍土研究: 历程、现状与展望 [J]. 土壤学报, 2022, 59 (1): 10-27.

[2] 战威名, 诸葛玉平, 匡元, 等. 聚磷酸铵与不同物料配施对滨海盐化潮土磷素形态的影响 [J]. 农业工程学报, 2022, 38 (21): 119-126.

[3] 朱家辉. 滨海盐碱地控释掺混肥配施调理剂对玉米-小麦生长及土壤养分的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.

[4] 李茜, 孙兆军, 秦萍. 宁夏盐碱地现状及改良措施综述 [J]. 安徽农业科学, 2007 (33): 10808-10810, 10813.

[5] 王远远, 刘荣厚. 沼液综合利用研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007 (4): 1089-1091.

[6] 王康, 许玉超, 戴辉, 等. 沼液在土壤改良上的应用研究 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (24): 299-303.

[7] 李忠华, 殷世鹏, 孙雁明, 等. 施用沼液对土壤氮磷钾的影响 [J]. 现代农业科技, 2017 (12): 199-201, 206.

[8] 郑莉. 沼液施用对黄淮海平原盐化潮土土壤结构稳定性的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.

[9] 田慎重, 王瑜, 张玉凤, 等. 旋耕深松和秸秆还田增加农田土壤团聚体碳库 [J]. 农业工程学报, 2017, 33 (24): 133-140.

[10] 刘中良, 宇万太. 土壤团聚体中有机碳研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19 (2): 447-455.

[11] 吴飞龙, 叶美锋, 林代炎. 沼液综合利用研究进展 [J]. 能源与环境, 2009 (1): 94-95, 105.

[12] 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 (5): 1054-1060.

[13] 王桂良, 张家宏, 王守红, 等. 沼液替代化肥氮对冬小麦产量、品质及生长发育的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35 (5): 467-475.

[14] 崔宇星, Azeem M, 孙吉翠, 等. 沼液与化肥配施对耕层土壤化学性状及玉米产量品质的影响 [J]. 山东农业科学, 2020, 52 (5): 77-81.

[15] 王威, 唐蛟, 殷金忠, 等. 秸秆全量还田配施沼液对砂姜黑土水稳性团聚体及结合有机碳的影响 [J]. 土壤, 2023, 55 (1): 53-61.

[16] 刘敏, 纪立东, 王锐, 等. 沼液配施化肥对土壤质量及作物生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2022 (5): 68-76.

[17] 李文涛. 沼液对土壤改良作用研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.

[18] Xu M, Xian Y, Wu J, et al. Effect of biogas slurry addition on soil properties, yields, and bacterial composition in the rice-rapeseed rotation ecosystem over 3 years [J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19 (5): 2534-2542.

[19] 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 (4): 608-611.

[20] 郭全忠, 葛一洪, 龚晓松, 等. 沼液用量对设施土壤养分和盐分累积与迁移的影响 [J]. 陕西农业科学, 2022, 68 (3): 56-61.

[21] 郭全忠, 龚晓松, 刘化隆. 长期施用沼肥对设施菜田土壤养分和盐分累积量的影响 [J]. 西北农业学报, 2020, 29 (1): 127-134.

[22] 邓英, 谢振翅. 农作物微量元素应用研究进展 [J]. 湖北农业科学, 1999 (2): 26-28.

[23] 成全红. 沼液、沼渣在休闲循环农业示范园区综合应用分析研究 [J]. 林业科技通讯, 2018 (2): 51-53.

[24] 王霜, 邓良伟, 王兰, 等. 猪场粪污中重金属和抗生素的研究现状 [J]. 中国沼气, 2016, 34 (4): 25-33.

[25] Barlog P, Hlisnikovsky L, Kunzova E. Concentration of trace metals in winter wheat and spring barley as a result of digestate, cattle slurry, and mineral fertilizer application [J].



- Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27 (5): 4769–4785.
- [26] 张利. 施用沼肥对保护地土壤性状及作物产量品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [27] 董志新, 卜玉山, 续珍, 等. 沼气肥养分物质和重金属含量差异及安全农用分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (3): 105–110.
- [28] 段然, 王刚, 杨世琦, 等. 沼肥对农田土壤的潜在污染分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2008 (3): 310–315.
- [29] 周礼恺, 张志明, 曹承绵. 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用 [J]. 土壤学报, 1983 (4): 413–418.
- [30] De la Paz Jimenez M, De la Horra A, Pruzzo L, et al. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35 (4): 302–306.
- [31] 陈恩凤, 周礼恺, 邱凤琼, 等. 土壤肥力实质的研究—II. 棕壤 [J]. 土壤学报, 1985 (2): 113–119.
- [32] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004 (3): 277–280.
- [33] Jüschke E, Strippel C, Marschner B, et al. Organic carbon dynamics and enzyme activities in agricultural soils amended with biogas slurry, liquid manure and sewage sludge [J]. Agricultural Sciences, 2012, 3 (1): 104–113.
- [34] 李文龙, 赵猛, 顾万荣, 等. 沼肥与钾肥配施对玉米叶片抗氧化酶及土壤酶活性的影响 [J]. 南方农业学报, 2017, 48 (10): 1782–1788.
- [35] 樊军, 郝明德. 长期轮作与施肥对土壤主要微生物类群的影响 [J]. 水土保持研究, 2003 (1): 88–89, 114.
- [36] 黄玉霞, 李俊华, 褚贵新, 等. 施肥对菜地土壤微生物和土壤酶活性的影响 [J]. 石河子大学学报 (自然科学版), 2007 (5): 552–557.
- [37] 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 (9): 2498–2506.

Effects of replacing nitrogen fertilizer with biogas slurry on soil properties and corn yield in lightly salinized fluvo-aquic soil

ZHANG Dian¹, SUN Kai-qing^{2, 3}, YANG Quan-gang^{2, 3*}, ZHANG Yan-jie⁴, SHI Yan-chun¹, ZHUANG Zhao-heng¹, SHE Yuan^{2, 3}, ZHAN Wei-ming^{2, 3}, FENG Jing-xin^{2, 3} (1. China Guangdong Nucleur Group Environmental Protection Industry Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518000; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong 271018; 3. National Engineering Research Center for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an Shandong 271018; 4. China Guangdong Nucleur Group Yangxin Bioenergy Technology Co., Ltd., Yangxin Shandong 251800)

Abstract: In order to study the effect of biogas slurry replacing nitrogen fertilizer on soil properties of lightly salinized fluvo-aquic soil and crop yield, a corn field experiment was carried out on lightly salinized fluvo-aquic soil in Yangxin County, Binzhou City. Four treatments were set up, which were conventional fertilization (XG), biogas slurry replacing 50% (T50), 70% (T70) and 100% (T100) of conventional fertilization nitrogen. The results showed that compared with conventional fertilization, the contents of soil alkali-hydrolytic nitrogen, available potassium and organic matter were significantly increased by 32.30%–34.29%, 27.37%–72.25% and 14.96%–21.09%, respectively. T100 treatment was more beneficial to increase soil organic matter content. T50 treatment had the best effect on soil available phosphorus and available potassium. T50 and T70 treatments significantly increased the contents of iron, copper, zinc. T50 treatment could not significantly increase the content of hydrargyrum, cadmium, chromium, lead and soil conductivity. Replacing nitrogen fertilizer with biogas slurry significantly increased soil alkaline phosphatase and sucrase activities by 7.18%–32.59% and 17.38%–19.85%, respectively. Biogas slurry instead of nitrogen fertilizer treatment significantly increased microbial richness. Compared with XG treatment, T50, T70 and T100 treatments significantly increased corn yield by 19.01%, 16.84% and 18.69%, respectively. Comprehensive analysis showed that replacing nitrogen fertilizer with biogas slurry of different proportions could significantly improve soil properties and increase corn yield, and applying 50% biogas slurry on the basis of conventional fertilization had the best effect. The research results can provide theoretical reference for the application of biogas slurry on lightly salinized fluvo-aquic soil.

Key words: biogas slurry; salinized fluvo-aquic soil; soil properties; yield