

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.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.24.066

# 沼液在土壤改良上的应用研究

王康<sup>1</sup>,许玉超<sup>1</sup>,戴辉<sup>1</sup>,练梅华<sup>1</sup>,向新跃<sup>2</sup>,宗德富<sup>3</sup>,鞠军华<sup>4</sup>,束剑峰<sup>1</sup>

(1. 江苏苏港和顺生物科技有限公司,江苏盐城 224145; 2. 江苏省沿海农业发展有限公司,江苏南京 210000;

3. 盐城市大丰区华丰农业开发有限公司,江苏盐城 224145; 4. 江苏绿洲米业有限公司,江苏盐城 224145)

**摘要:**为了研究沼液对盐碱地和滩涂的改良效果,在临港产业园从未种植过的土壤上进行沼液喷洒灌溉试验。结果表明,施用300 t/hm<sup>2</sup> 鸡粪沼液,能够促进碱蓬和芦苇等植被的生长;0~15 cm 表层土壤和15~30 cm 深层土壤的容重降低7.1%和3.6%,电导率降低77.9%和75.6%,氯离子含量降低81.5%和78.7%,pH值增加2.1%和1.7%,有机质含量增加63.4%和72.8%;表层土壤的有效氮、有效磷、速效钾含量分别降低1.4%、16.1%、5.4%,而深层土壤分别增加21.6%、12.9%、31.2%;表层土壤中总活菌数、芽孢杆菌数量上升了1个数量级,霉菌数量增加了3倍,放线菌数量达到2.0×10<sup>5</sup> CFU/g。

**关键词:**沼液;盐碱土;改良;滩涂;土壤养分;土壤微生物

**中图分类号:** S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)24-0299-05

大中型沼气工程解决了畜禽粪便处理问题,可实现畜禽粪便的资源化利用,保护环境。沼气发酵的残留物沼渣和沼液是农业上的优良有机肥料,其中沼液中的养分含量占发酵残留物总含量的85%<sup>[1]</sup>。沼液中的养分主要是速效养分,能够被植物快速吸收利用,是一种速缓兼备的液体有机肥<sup>[2]</sup>。现有研究表明,沼液中平均约3/4的氮为生物有效态氮,生物有效态磷含量占全磷含量的85%左右,生物有效态钾含量占全钾含量的81%;另外,沼液中还含有大量的有机质、氨基酸和腐殖酸等活性物质和有益微生物群<sup>[3]</sup>,被认为是一种良好的土壤改良剂。

经过多年研究分析得出,沼液在农业应用上的优点主要有以下几个方面:(1)有机质含量高,能够补充土壤的有机质,促进团粒结构的形成,疏松土壤,提高土壤通气、保水保肥

能力;(2)富含氮磷钾大量元素和钙镁硫硼等中微量元素,营养全面,能够调节土壤中各养分含量的比例,降低土壤板结程度,提高植物对养分的均衡吸收能力,增加植物抗性;(3)含有胡敏酸和富里酸等具有高官能团的物质,能够提高土壤缓冲酸碱变化的能力,防止土壤酸化<sup>[4]</sup>,改良盐碱地<sup>[5]</sup>;(4)含有多种酶、纤维素、氨基酸、植物激素和腐植酸等活性物质,易于植物吸收,可促进植物生长,增加产量;(5)含有抗生素等生物农药,对农作物的红蜘蛛、黄蜘蛛平均防治率达90%以上,可降低农药使用率;(6)调节微生物种类组成和酶活性,抑制有害病原菌的繁殖,加快被固定养分的活化和释放;(7)降低化肥的使用量,从而减少农业的面源污染。

江苏省盐城市虽然耕地面积多,有7 926 km<sup>2</sup>,但是主要为4~7级低等土壤(土壤养分含量分级表),单位产量低;另外还有272 km<sup>2</sup> 荒地和4 550 km<sup>2</sup> 滩涂可作为储备资源<sup>[6]</sup>,但是土壤肥力低,盐碱重,需要改良才可以利用。本研究主要探讨沼液在沿海土壤改良上的应用,以期对荒地和滩涂的利用问题提供一条解决途径,为环境保护提供一些帮助。

## 1 方法与材料

### 1.1 试验材料

试验于2019年3月1日至2019年7月1日在江苏省盐

Journal of Environmental Quality,2006,35(3):734-741.

[13] Vaufléury A D, Kramarz P E, Binet P, et al. Exposure and effects assessments of Bt - maize on non - target organisms (gastropods, microarthropods, mycorrhizal fungi) in microcosms [J]. Pedobiologia,2007,51(3):185-194.

[14] Andersen M N, Sausse C, Lacroix B, et al. Agricultural studies of GM maize and the field experimental infrastructure of ECOGEN[J]. Pedobiologia,2007,51(3):175-184.

[15] Kramarz P, Vaufléury A D, Gimbert F. Effects of Bt - maize material on the life cycle of the land snail *Cantareus aspersus* [J]. Applied Soil Ecology,2009,42(3):236-242.

[16] Kramarz P E, De V A, Carey M. Studying the effect of exposure of the snail *Helix aspersa* to the purified Bt toxin, Cry1Ab[J]. Applied Soil Ecology,2007,37(1-2):169-172.

[17] 李洪冉,董向丽,褚栋. 蜗牛对农作物的危害不容忽视[J]. 中国植保导刊,2015,35(4):88.

[18] 张文斌,任丽,杨慧平,等. 农田蜗牛的发生规律及其防治技术研究[J]. 陕西农业科学,2012,58(5):267-269.

[19] 徐文华,王瑞明,吴春,等. 江苏沿海地区农田蜗牛的发生特点与防治对策[J]. 生物安全学报,2002,11(2):63-69.

[20] 王华军. 蜗牛的习性与防治[J]. 蚕桑通报,2002,33(2):53-55.

收稿日期:2019-07-15

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)1003-06];

江苏省研发计划(现代农业)(编号:BE2017338)。

作者简介:王康(1992—),男,江苏淮安人,硕士研究生,主要从事鸡粪发酵的沼液生产液体肥研究。E-mail:419497140@qq.com。

通信作者:束剑峰,硕士,主要从事土木工程及畜禽粪便处理方面的研究。E-mail:ghsjf@163.com。

城市大丰区临港产业园内进行。供试沼液为江苏苏港和顺生物科技有限公司沼气站由鸡粪厌氧发酵得到的沼液,其养分指标为总氮含量 3.2 g/kg,总磷含量 0.49 g/kg,总钾含量 4.4 g/kg,13 种氨基酸含量 247.8 mg/L,有机质含量 32.6 g/kg,pH 值 8.5,盐度 10.37 g/L。

### 1.2 处理设计

试验设置 2 个处理。一个为对照处理(CK),全程不施用沼液,面积为 1 hm<sup>2</sup>;一个为沼液处理(CLI),于 2019 年 3 月 1 日施入沼液 300 t/hm<sup>2</sup>,面积为 15 hm<sup>2</sup>;2 个处理间间隔 20 m 宽的道路。

### 1.3 样品采集、处理与指标测定方法

2019 年 6 月 10 日,按照 S 型取样方法,确定 15 个取样点,分成 3 组,每组有 5 个取样点。用土钻分别采集 0~15 cm 和 >15~30 cm 深的土壤,将同组同等深度的土壤混合均匀,采用四分法的方式,截取 1 kg 新鲜土壤,分成 2 份,其中 1 份在 4℃ 冰箱中保存,另外 1 份风干过 20 目和 100 目筛后室内保存。

碱蓬鲜质量和根长通过天平和直尺测定。容重通过环刀法测定。pH 值和电导率(EC 值)分别通过 pH 测定仪和电导率仪测定。氯离子含量通过硝酸银滴定法测定。有机质含量采用

K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 外加热法测得。全氮含量采用半微量开氏法测定。有效氮含量采用碱解扩散吸收法测定。有效磷、速效钾含量通过土壤养分速测仪测定。菌数、芽孢杆菌、放线菌、霉菌含量通过平板涂布法计数测定。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行分析、统计和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼液施用对地上植被的影响

从图 1 和表 1 可以看出,施用沼液的地块,碱蓬和芦苇等植被生长更茂盛。在芦苇方面,未施用沼液的芦苇植株矮小和稀疏,叶片枯黄;施用沼液的芦苇植株高大、浓密,叶片发绿。在碱蓬方面,未施用沼液的碱蓬植株矮小、稀疏、参差不齐,叶片红绿相间,并以红色为主,整株鲜质量只有 9.8 g,根长为 5.6 cm;施用沼液的碱蓬植株粗壮、茂盛,整体呈深绿色,部分为黄绿色,未见红色,整株鲜质量达 55.2 g,根长达 10.2 cm,分别比未施用沼液的碱蓬增加了 463.3% 和 82.1%,差异显著。

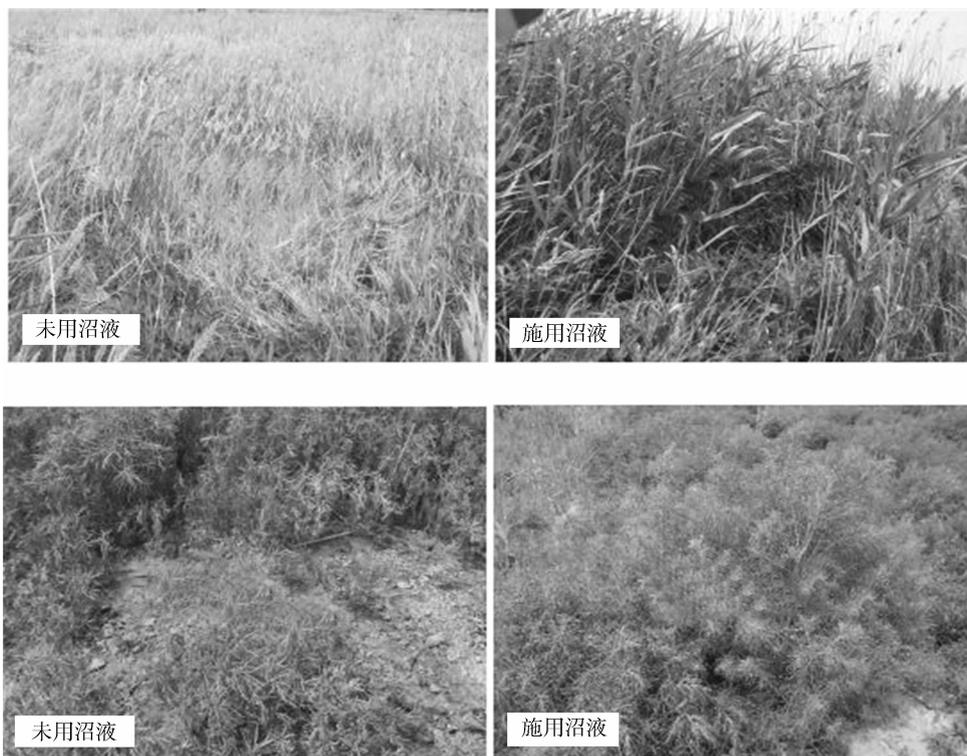


图1 施用沼液和未施用沼液的植被对比

表1 沼液施用碱蓬生长指标的影响

处理	整株鲜质量 (g)	根长 (cm)
未施用沼液	9.8 ± 1.0b	5.6 ± 0.4b
施用沼液	55.2 ± 3.6a	10.2 ± 0.5a
增长率 (%)	463.3	82.1

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

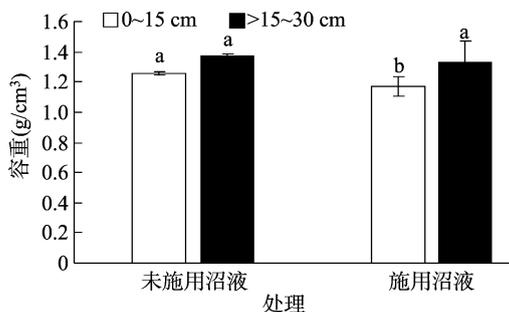
### 2.2 沼液施用对土壤容重的影响

从图 2 可以看出,施用沼液能够有效降低土壤容重。未

施用沼液的表层土壤容重为 1.26 g/cm<sup>3</sup>,土壤偏紧实,而深层土壤容重为 1.38 g/cm<sup>3</sup>,土壤紧实。相比未施用沼液土壤,施用沼液的表层土壤和深层土壤容重分别降为 1.17 g/cm<sup>3</sup> 和 1.33 g/cm<sup>3</sup>,降低了 7.1% 和 3.6%。不同处理间表层土壤容重差异显著,施用沼液后出现了质的变化,达到了适宜种植级别;但不同处理间深层土壤容重差异不大。

### 2.3 沼液施用对土壤 pH 值的影响

从图 3 可以看出,施用沼液对土壤 pH 值影响不大。未施用沼液的表层土壤和深层土壤 pH 值分别为 7.97 和 8.02,



柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下图同  
图2 沼液施用对不同深度土壤容重的影响

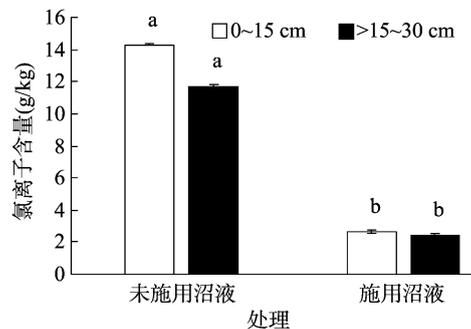


图5 沼液施用对不同深度土壤氯离子含量的影响

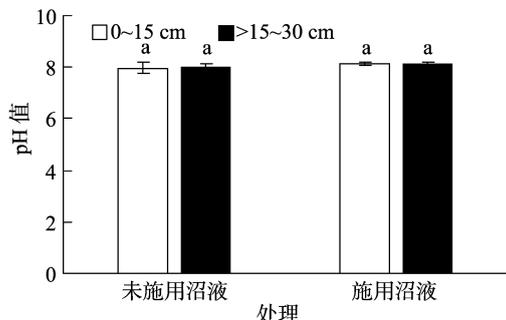


图3 沼液施用对不同深度土壤 pH 值的影响

属于碱土。相比未施用沼液土壤,施用沼液的表层土壤和深层土壤 pH 值分别上升为 8.14 和 8.16,提高了 2.1% 和 1.7%,但是差异不显著。

#### 2.4 沼液施用对土壤电导率的影响

从图 4 可以看出,施用沼液能够有效降低荒地土壤电导率。未施用沼液的表层土壤和深层土壤 EC 值分别为 7.15 mS/cm 和 8.32 mS/cm,属于盐土。相比未施用沼液土壤,施用沼液的表层土壤和深层土壤 EC 值分别降为 1.58 mS/cm 和 2.03 mS/cm,分别降低了 77.9% 和 75.6%,基本属于轻度盐土,差异显著。

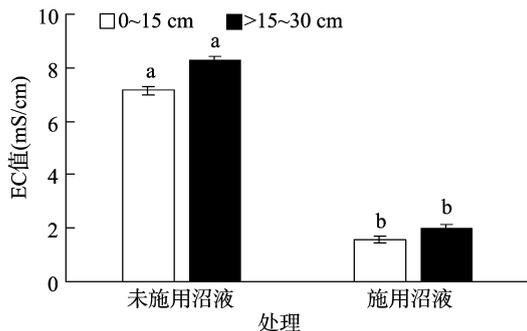


图4 沼液施用对不同深度土壤电导率的影响

#### 2.5 沼液施用对土壤氯离子含量的影响

从图 5 可以看出,施用沼液能够有效降低土壤的氯离子含量。未施用沼液的表层土壤和深层土壤氯离子含量分别为 14.29 g/kg 和 11.69 g/kg,含量极高。相比未施用沼液土壤,施用沼液的表层土壤和深层土壤氯离子含量分别降为 2.64 g/kg 和 2.49 g/kg,分别降低了 81.5% 和 78.7%,差异显著,但氯离子含量还是相对偏高。

#### 2.6 沼液施用对土壤有机质含量的影响

从图 6 可以看出,施用沼液能够提高土壤的有机质含量。未施用沼液的表层土壤和深层土壤有机质含量分别为 3.33 g/kg 和 2.32 g/kg,属于土壤养分含量分级表中的 6 级土壤。相比未施用沼液土壤,施用沼液的表层土壤和深层土壤有机质含量分别增加为 5.44 g/kg 和 4.01 g/kg,提升了 63.4% 和 72.8%,差异显著。

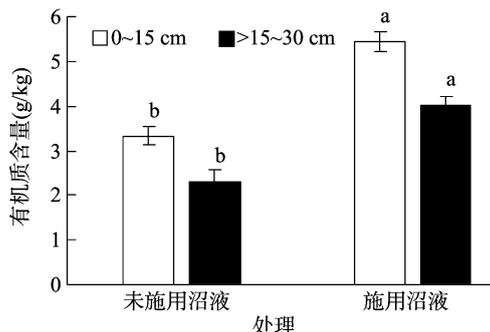


图6 沼液施用对不同深度土壤有机质含量的影响

#### 2.7 沼液施用对土壤有效氮含量的影响

从图 7 可以看出,施用沼液会对土壤的有效氮含量产生影响。未施用沼液的表层土壤和深层土壤有效氮含量分别为 58.80 mg/kg 和 62.24 mg/kg,含量低,基本属于 5 级土壤。相比未施用沼液土壤,施用沼液的表层土壤有效氮含量出现了小幅度下降,降为 57.99 mg/kg,降低了 1.4%,无显著差异;而深层土壤的有效氮含量出现大幅度上升,增加为 75.69 mg/kg,提升了 21.6%,差异显著。

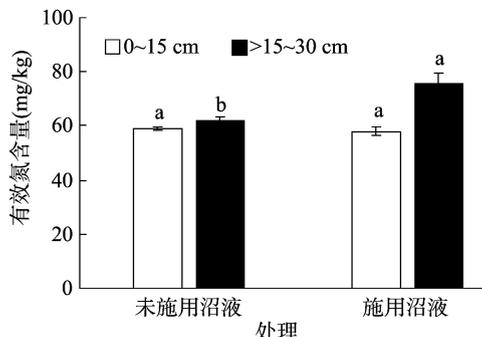


图7 沼液施用对不同深度土壤有效氮含量的影响

#### 2.8 沼液施用对土壤有效磷含量的影响

从图 8 可以看出,施用沼液会对土壤的有效磷含量产生影响。未施用沼液的表层土壤和深层土壤有效磷含量分别为

9.09 mg/kg 和 10.02 mg/kg, 基本都属于 4 级土壤。相比未施用沼液土壤, 施用沼液的表层土壤有效磷含量出现小幅度下降, 降为 7.63 mg/kg, 降低了 16.1%, 差异显著; 而深层土壤的有效磷出现小幅度上升, 增加为 11.31 mg/kg, 提升了 12.9%, 差异不显著。

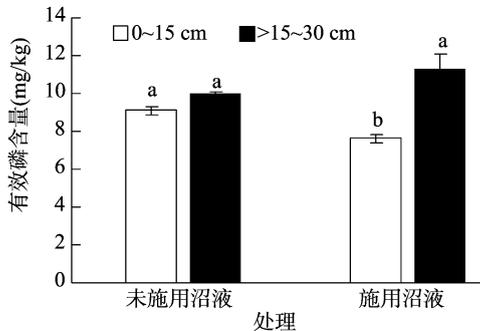


图8 沼液施用对不同深度土壤有效磷含量的影响

### 2.9 沼液施用对土壤速效钾含量的影响

从图 9 可以看出, 施用沼液会对土壤的速效钾含量产生影响。未施用沼液的表层土壤和深层土壤速效钾含量分别为 276 mg/kg 和 445 mg/kg, 属于 1 级土壤。相比未施用沼液土壤, 施用沼液的表层土壤速效钾含量出现小幅度下降, 降为 261 mg/kg, 降低了 5.4%, 差异不显著; 而深层土壤的速效

钾含量出现大幅度上升, 增加为 584 mg/kg, 增加了 31.2%, 差异显著。

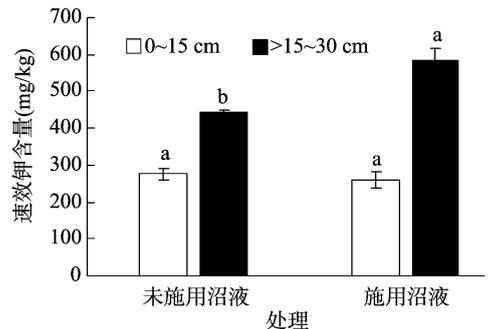


图9 沼液施用对不同深度土壤速效钾含量的影响

### 2.10 沼液施用对土壤微生物的影响

从表 2 可以看出, 施用沼液能够增加表层土壤中微生物数量和种类, 其中对芽孢杆菌的影响最大。施用沼液表层土壤的总活菌数和芽孢杆菌含量比未施用沼液的表层土壤分别提升了 1 个数量级, 增加了 40 倍左右; 霉菌数增加了 3 倍。在未施用沼液的表层土壤中没有放线菌, 说明放线菌数量极小或者没有; 而施用沼液的表层土壤中放线菌含量达到了  $2.0 \times 10^5$  CFU/g, 与未施用沼液的处理相比数量明显增加。

表 2 0~15 cm 土壤中微生物的含量

处理	微生物含量			
	总活菌数 ( $\times 10^5$ CFU/g)	芽孢杆菌 ( $\times 10^4$ CFU/g)	霉菌 ( $\times 10^3$ CFU/g)	放线菌 ( $\times 10^5$ CFU/g)
未施用沼液	1.7 ± 0.3	2.0 ± 0.2	1.0 ± 0.2	0
施用沼液	61.3 ± 2.5	82.7 ± 4.0	4.0 ± 0.7	2.0 ± 0.4

## 3 讨论

植被茂盛代表土壤环境更适合植物生长, 养分供应充足, 是土壤向良性方向发展的标志。本试验中施用沼液的土壤植被整体生长茂盛, 覆盖度广, 生物量大。这与柴彦军等得出的施用沼液可以增加毛竹的胸径和生物量结论<sup>[7]</sup>一致。碱蓬是盐碱地指示性植物。土壤含盐量为 0.4% ~ 1.0% 时, 碱蓬呈黄绿、翠绿或深绿色, 植株高大茂盛, 叶片细长; 含盐量为 1.0% ~ 1.6% 时, 碱蓬叶片呈浅红色、赤红色到紫红色, 植株矮小; 含盐量为 1.6% ~ 2.0% 时, 碱蓬颜色变得枯黄, 慢慢死亡; 含盐量 > 2% 时, 碱蓬会短期内枯死<sup>[8]</sup>。本试验中施用沼液的碱蓬植株粗壮, 根系发达, 整体呈黄绿色到深绿色, 而未施用沼液的碱蓬植株纤细, 根小, 叶片红绿相间, 甚至紫红, 一定程度上反映了施用沼液降低了土壤盐分<sup>[9]</sup>。

土壤容重反映了土壤的松散情况, 耕作适宜程度。本试验中施用沼液使表层和深层土壤容重分别降低了 7.1% 和 3.6%, 表层土壤达到了适宜种植级别, 调节了土壤的保水、透水 and 通气能力, 这王建东等研究结果<sup>[10]</sup>相同。沼液中的有机质和腐殖质可促进土壤团粒结构的形成; 植被根系发达, 对土壤的扰动增强, 从而形成大小多级孔隙, 使总孔隙数增多。在垂直水平上, 土壤容重随着深度的增加而增加<sup>[11]</sup>。降水的冲刷和淋洗作用导致表层土壤中细小颗粒被带走或者深入

下层。

电导率在一定程度上反映土壤中可溶性盐含量。增施外源有机质, 可以有效降低土壤的可溶性盐含量和电导率<sup>[12]</sup>。温国良发现, 在滨海稻麦轮作的盐碱地施用沼液降低了 81.5% 的含盐量<sup>[13]</sup>。本研究中施用沼液后, 土壤电导率和氯离子含量降幅均较大, 再次证明了这一结论。有机质含量增加能够疏松土壤<sup>[14]</sup>, 增强导水性能<sup>[11]</sup>, 促进土壤脱盐, 抑制土壤返盐; 高分子腐殖酸等具有官能团的物质, 能够络合部分金属阳离子, 使得水溶性金属阳离子含量降低; 碱蓬、芦苇等盐生作物生长茂盛, 密度高, 能够吸收大量的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  等盐分储存在盐泡中<sup>[15-16]</sup>, 从而降低土壤可溶性盐含量。

pH 值反映了土壤的酸碱程度, 影响着土壤中各物质的有效性, 尤其是对阳离子的影响较大。现有研究中沼液对土壤 pH 值的影响结果不一。王宗寿则发现, 在施用沼液后, 表层土壤的 pH 值可以上升 0.23 ~ 1.03<sup>[17]</sup>。这与本试验结果一致。林少华等在弱碱性紫甘蓝田块上发现, 施用沼液后土壤 pH 值出现了小幅度下降<sup>[18]</sup>。而蔡茂等于海口市美兰区三江镇采土样研究发现沼液排放前后土壤酸碱度变化不大<sup>[19]</sup>。不同研究结果不一致的主要原因是土壤胶体不同, 土壤胶体吸附钾、钙、镁等离子, 它们与土壤溶液中离子处于动态平衡状态, 而它们彼此代换会影响土壤的酸碱度。

有机质、有效养分含量是土壤肥力的重要指标。研究发

现,沼液施入土壤后,土壤中有有机质、有效氮、有效钾、有效磷含量都会有所增加<sup>[20-24]</sup>。本研究结果与其有些不同。在本研究中,施用沼液田块,同层级土壤中有有机质含量都得到大幅度增加,并且表层土壤比深层土壤有机质含量要高;在有效氮、有效磷、速效钾含量方面,深层土壤有所提升,甚至出现了大幅度提升,但是表层土壤出现了小幅度的下降。表层土壤受干扰程度远高于深层土壤。表层土壤容易发生淋洗和地表径流,有效养分多为可溶性盐,容易流失掉。碱蓬等盐生作物一般都属于浅根作物,根系主要分布在土壤表层,导致表层土壤中的速效氮和速效钾消耗量巨大。沼液与土壤呈现碱性,且沼液中70%以上氮以铵态氮形式存在<sup>[25]</sup>,易形成氨大量挥发;可溶性有机碳能够显著抑制硝化反应,维持土壤中较高的铵态氮含量;有机碳可促进反硝化作用,促进N<sub>2</sub>O的排放。虽然碱蓬等植被对磷的需求较少,但是沼液磷含量本身较少,且容易被土壤中Ca、Fe和Al等氧化物固定,导致表层土壤有效磷含量出现小幅度降低,这和罗伟等研究结果<sup>[26]</sup>一致。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,在土壤氧化、硝化、氨化、固氮、硫化以及有机质的分解和养分转化等过程中起重要作用。研究发现,沼液可以增加土壤细菌、酵母菌、真菌、放线菌等数量,也有利于提高土壤微生物的多样性<sup>[27]</sup>。这与本研究结果一致。沼液中含有大量的微生物,可以增加土壤的微生物种类和数量。沼液中大量的有机质改良了土壤理化环境,为微生物提供了良好的微域环境,同时大量的葡萄糖、氨基酸、纤维素等为土壤微生物提供了营养来源,能够有效地促进微生物的代谢和繁育。而微生物数量的增加,能够加快植物残体的分解,促进土壤有机质的形成,同时可加快土壤有机质的矿化和腐殖化,促进土壤养分的释放,使得土壤中养分循环加快。另外,土壤微生物也是很多土壤动物的食物,微生物数量的增加会增加土壤动物的数量和多样性,导致表层土壤受到的干扰程度和强度增加,加快土壤的改良。

#### 4 结论

在盐碱地上施用300 t/hm<sup>2</sup>的鸡粪沼液,能够增加土壤的有机质含量,促进土壤团粒结构的形成,疏松土壤,调节土壤的水、肥、气、热,大幅度降低土壤的盐度和氯离子含量,降低土壤盐害和氯害发生程度,而土壤的pH值变化不大。表层土壤的有效养分含量会出现小幅度下降,而深层土壤的有效养分含量增加。表层土壤中总活菌数以及真菌、放线菌、芽孢杆菌数量增多,生物活性增强。

施用沼液促进碱蓬和芦苇等植物生长,增加生态系统的多样性,能够加快土壤改良的进程,缩短改良所需的时间,降低改良土壤的成本。

#### 参考文献:

[1] 乔锋,肖洋,赵淑苹. 海林农场沼肥连年施用对玉米产量和土壤化学性质的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(36):93-98.  
 [2] 王青霞. 秸秆还田下不同施肥模式对水稻土微生物群落的影响[D]. 杭州:浙江农林大学,2019.  
 [3] 王子臣,王鑫,张岳芳,等. 沼液COD对黄瓜幼苗生长及土壤环境因子的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(4):15-22.

[4] 闫兆鹏,孙嘉怡,杨守军,等. 沼液施用对小麦产量及土壤理化性质的影响[J]. 海峡科技与产业,2019(1):170-172.  
 [5] 卜丹蓉,周丹燕,葛之藏,等. 施用沼液对苏北沿海杨树人工林土壤活性有机碳的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(7):1785-1790.  
 [6] 钟兰艳,李静,陈洪全. 盐城市耕地资源利用研究[J]. 林区教学,2011(3):50-52.  
 [7] 柴彦君,黄利民,董越勇,等. 沼液施用量对毛竹林地土壤理化性质及碳储量的影响[J]. 农业工程学报,2019,35(8):214-220.  
 [8] 宋洪海,梁漱玉. 土壤条件对翅碱蓬生长发育的影响[J]. 现代农业科技,2010(3):290-291,296.  
 [9] 苏芳莉,孙旭,孙权,等. 湿地翅碱蓬生长及渗透调节物质对盐度的响应[J]. 生态学杂志,2018,37(7):1997-2002.  
 [10] 王建东,龚时宏,鲍子云,等. 灌水模式对免耕地土壤容重变化的影响[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2013,11(2):130-136.  
 [11] 郑健,殷李高,冯正江,等. 沼液施用对设施土壤饱和和导水率的影响[J]. 节水灌溉,2019(4):46-51,55.  
 [12] 农明英,张乃明,史静,等. 外源有机物料对次生盐渍化大棚土壤的改良效果[J]. 中国土壤与肥料,2013(6):6-10.  
 [13] 温国梁. 沼液施用对滨海盐碱地水稻和小麦生长以及土壤性状的影响[D]. 南京:南京林业大学,2016.  
 [14] 张无敌,尹芳,李建昌,等. 沼液对土壤有机质含量和肥效的影响[J]. 可再生能源,2008,26(6):45-47.  
 [15] 刘晴晴. 不同生境盐地碱蓬根系拒盐机制研究[D]. 济南:山东师范大学,2018.  
 [16] 赵可夫,范海,江行玉,等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. 应用与环境生物学报,2002(1):31-35.  
 [17] 王宗寿. 利用沼液种植黑麦草对土壤环境质量的影响[J]. 农业环境科学学报,2007,26(增刊1):172-175.  
 [18] 林少华,凌玮,孙芹菊,等. 滨海盐碱地施用沼液对紫甘蓝生长及土壤性状的影响[J]. 中国沼气,2019,37(1):80-87.  
 [19] 蔡茂,余雪标,周卫卫,等. 沼液排放对土壤质量的影响[J]. 热带生物学报,2014,5(1):52-56.  
 [20] 杨诗贵,洪宁,李铸,等. 沼液施用背景下稻田土壤养分的含量特征[J]. 江苏农业科学,2017,45(2):239-244.  
 [21] 陈永杏,董红敏,陶秀萍,等. 猪场沼液灌溉冬小麦对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(3):154-158.  
 [22] 卜丹蓉. 施用沼液和生物炭对杨树林土壤活性有机碳、氮的影响[D]. 南京:南京林业大学,2015.  
 [23] 杨乐,张凤华,庞玮,等. 沼液灌溉对绿洲农田土壤养分的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2011,29(5):542-545.  
 [24] 陈贵,赵国华,张红梅,等. 沼液浇灌对茭白生长、品质及土壤养分的影响[J]. 中国沼气,2016,34(4):81-86.  
 [25] 靳红梅,常志州,叶小梅,等. 江苏省大型沼气工程沼液理化特性分析[J]. 农业工程学报,2011,27(1):291-296.  
 [26] 罗伟,张智慧,伍钧,等. 沼液对成都平原地区土壤氮、磷、钾含量及其平衡的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(3):185-191.  
 [27] 张无敌,尹芳,徐锐,等. 沼液对土壤生物学性质的影响[J]. 湖北农业科学,2009,48(10):2403-2407.