

滨海盐碱地施用沼液对紫甘蓝生长及土壤性状的影响

林少华¹, 凌 玮², 孙芹菊², 韩建刚², 李萍萍²

(1. 南京林业大学 土木工程学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学 生物与环境学院, 南京 210037)

摘 要: 为探讨在江苏省东台市滨海盐碱土上进行紫甘蓝大田种植的最佳施用量与施用方式, 试验研究了不同沼液施用对紫甘蓝产量、品质以及土壤特性的影响。结果表明 施加沼液可以提高紫甘蓝产量。浇施时, 最佳沼液施用总量为每小区 25.2 L ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$), 产量最高为 $3747.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。应用沼液可以提高甘蓝 Vc 含量, 但对可溶性糖没有明显促进作用。总体而言, 浇施效果好于喷施, 沼液的理想施用量范围为 $5.6 \sim 6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。施用沼液可以改良滨海盐碱土壤性状, 有助于降低土壤的 pH 值和 EC 值, 改善土壤的酸碱度, 提高或恢复土壤的肥力。

关键词: 盐碱地; 沼液; 紫甘蓝; 土壤性状

中图分类号: X713 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2019)01-0080-08

Effects of Biogas Slurry Application on Purple Cabbage Growth and the Soil Properties in Coast Saline-alkali Land / LIN Shao-hua¹, LING Wei², SUN Qin-ju², HAN Jian-gang², LI Ping-ping² / (1. College of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: This study was conducted to determine the optimal application manner and amount of biogas slurry for purple cabbage plantation in coastal saline-alkali land in Dongtai, Jiangsu province. The effects of biogas slurry application on purple cabbage yield, quality and soil characteristics were investigated. The results indicated that biogas slurry application could improve purple cabbage yield. The highest yield was $3747.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ when the application amounts of biogas slurry was 25.2 L per plot ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) with the application way of pouring. And the slurry application could increase the content of Vc, but had little effect on the content of soluble sugar. The application way of pouring was generally better than the way of spraying, and the ideal amount of biogas slurry application was $5.6 \sim 6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$. The slurry application could also improve coastal saline-alkali soil properties, which was conducive to decrease soil pH and EC values, and ameliorate the pH value, improve or restore soil fertility. So the biogas slurry is effective for growing vegetables on saline-alkali soil.

Key words: saline-alkali land; biogas slurry; purple cabbage; soil property

沼气工程是实现畜禽粪便及养殖污水无害化处理与资源化利用的有效途径。然而, 沼气工程在获得清洁能源的同时, 大量集中产生的高浓度沼液给周围环境带来了巨大压力^[1]。虽然污水处理技术可以实现其达标排放, 但存在处理费用高昂的难题。如何实现沼液的安全、经济的处置, 已成为限制集约化养殖企业自身发展的瓶颈问题^[2]。

沼液中含有丰富的氮、磷、钾等大量营养元素和锌等微量营养元素, 是一种速效的有机肥料^[2-7]。已有研究表明, 沼液农用不仅可以提高蔬菜作物的生长速率、农产品的产量、质量^[8-15], 还对改良土壤

理化性状也有一定积极作用^[7, 16-18]。此外, 还对多种植物病害具有较好的防治效果^[17]。但沼液还田后, 对不同类型土壤的性状和植物生长的效果不同^[19-20]。据统计, 广泛分布于我国各地的盐碱土, 总面积达 $3.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占全国可利用土地面积的 4.88%, 其中滨海盐碱土约 $1.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[21]。如能对该部分具有农业利用潜力盐碱地成功进行改良, 无疑对于提高我国耕地数量和农业生产力具有极为重要的意义, 但当前沼液施于滨海盐碱土的应用研究还很少。

本研究在江苏省东台市滨海盐碱土上, 施加沼

收稿日期: 2017-11-10 修回日期: 2017-12-21

项目来源: 江苏省农业科技支撑计划项目(BE2013382)

作者简介: 林少华(1975-) 男, 教授, 研究方向为养殖废水处理与资源化利用, E-mail: franklinsh@126.com

液进行紫甘蓝的大田种植,探寻沼液施用的最佳施用量、施用方式以及对土壤性状的影响,为集约化畜禽养殖沼气工程所产沼液在盐碱土上代替常规肥料种植蔬菜提供科学依据与参考。

1 材料与方 法

表 1 试验施加沼液的各项理化性质

	COD mg·L ⁻¹	总氮 mg·L ⁻¹	氨氮 mg·L ⁻¹	硝酸盐氮 mg·L ⁻¹	总磷 mg·L ⁻¹	pH 值	电导率 ms·cm ⁻¹	氧化还原电位 mv
基肥	3073.3	996.7	1016.7	69.6	10.6	8.35	12.92	-64
第 1 次追肥	5813.3	651.3	912.2	21.3	28.1	8.48	11.65	-64
第 2 次追肥	2346.7	1870.8	1378.2	58.5	19.8	8.06	15.42	-47

1.2 试验设计

沼液施加方式分为浇施和喷施。每种施加方式均设置 7 个不同的处理,每个处理重复 3 次,见表 2。其中处理 1(CK)为不施加沼液的纯清水处理,其余处理基肥均为每小区 7.2 L,处理 3~7 施加两次基肥。每个小区面积为 3 m²(1.5 m×2 m) 随机

表 2 试验处理及沼液施加量

处 理	每小区沼液施加总量		每小区基肥施加量 L	每小区每次追肥施加量 L	追肥稀释比例 (V _{沼液} :V _{清水})
	L	(m ³ ·667 m ⁻²)			
1(CK)	0	0	0	0	—
2	7.2	1.6	7.2	0	0:18
3	13.2	2.9	7.2	3	3:15
4	19.2	4.3	7.2	6	6:12
5	25.2	5.6	7.2	9	9:9
6	31.2	6.9	7.2	12	12:6
7	43.2	9.6	7.2	18	18:0

1.3 样品采集及分析方法

采用五点混合法分别于施加基肥前、第 1 次追肥前、第 2 次追肥前和收获后采集土样,取样深度为 0~20 cm。样品采集后尽快带回实验室,经风干、磨细处理后,测定土壤性状指标。植株成熟后,进行人工采收,每个小区单独计产,采收结束后合并统计小区总产量,并估算亩产量。每小区避开边缘效应,选取 2 株作为样本,以测定养分含量。果实样品磨匀后,放入 4℃ 冰箱保存待测。

土壤指标分析方法:有机质采用重铬酸钾-外加热法;全氮采用浓硫酸-混合催化剂联合消煮,定氮仪测定;有效磷采用 0.5 mol·L⁻¹NaHCO₃ 浸提,铝锑抗比色法测定;pH 值和 EC 值采用 0.01 mol·L⁻¹

1.1 试验材料

试验用地位于江苏省东台市金东台农场,供试土壤为滨海盐碱土。试验所用沼液取自当地某大型畜禽养殖企业的沼气站。沼液各项理化性质见表 1。

分布。

试验从 2015 年 4 月 9 日开始施加基肥,4 月 10 日将秧苗移栽下地,5 月 5 日施加第 1 次追肥,5 月 24 日施加第 2 次追肥,于 7 月初逐步完成采收。采用常规方法整理作垄,每行沟宽 0.6 m,每列沟宽 0.2 m,定植密度为 16 株·区⁻¹,株距 50 cm,行距 60 cm。

的 CaCl₂ 浸提,电位法测定。

作物品质指标分析方法:可溶性糖采用蒽酮法、Vc 采用 2,6-二氯酚酚滴定法、硝酸盐采用紫外分光光度法分别进行测定。

1.4 统计分析

使用 SPSS22.0 进行数据分析处理,变量的差异采用单因素方差分析(Analysis of variance,ANOVA),均值比较采用最小显著差法(Least significant difference, LSD)。

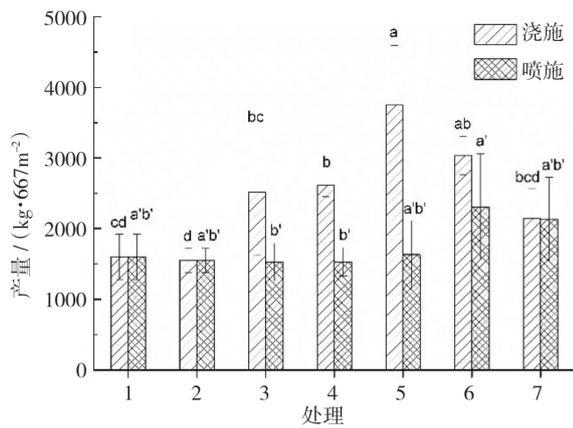
2 结果与分析

2.1 不同沼液施用对紫甘蓝产量的影响

不同沼液施加对紫甘蓝产量的影响,结果如图

1 所示。浇施时 随着沼液施加量增加 紫甘蓝产量表现出先增加后减小的趋势。处理 4 5 和 6 与处理 1(CK) 对照组相比,均表现出显著性差异($p < 0.05$)。其中处理 5 沼液施用总量每小区为 25.2 L ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,紫甘蓝产量最高,达到 $3747.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$; 其次是处理 6 施用总量每小区为 31.2 L ($6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,产量为 $3032.34 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$, 和 CK 对照组相比,紫甘蓝的增产分别达到 133.85% 和 75.37%。

喷施时 各处理组与处理 1(CK) 对照组相比,均无显著性差异。且总体而言,喷施组的产量明显低于浇施组。这可能是喷施时 施加面积比浇施大,造成沼液浪费过多,也可能是沼液喷在叶面上时,对叶子造成伤害所致。



注: 图中同一施加方式不同字母表示浇施时差异显著($p < 0.05$),下同。

图1 不同施加量对紫甘蓝产量的影响

2.2 不同沼液施用对紫甘蓝品质的影响

2.2.1 对可溶性糖的影响

不同沼液施用对紫甘蓝可溶性糖的影响,结果如图 2 所示。浇施情况下,处理 5 沼液施用总量为每小区 25.2 L ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,紫甘蓝可溶性糖的含量最高,达到 2.89%。喷施情况下,处理 6 沼液施用总量为每小区 31.2 L ($6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,紫甘蓝可溶性糖的含量最高,达到 2.87%,分别比对照组 CK 提高了 16.90% 和 16.13%,但均未产生显著性差异。这表明,施用不同量的沼液对紫甘蓝可溶性糖含量产生影响,甚至具有一定提高作用,但效果并不明显,且不同沼液施加方式也未表现出明显差异。

2.2.2 不同沼液施用对 Vc 含量的影响

不同沼液施用对紫甘蓝 Vc 含量的影响,结果

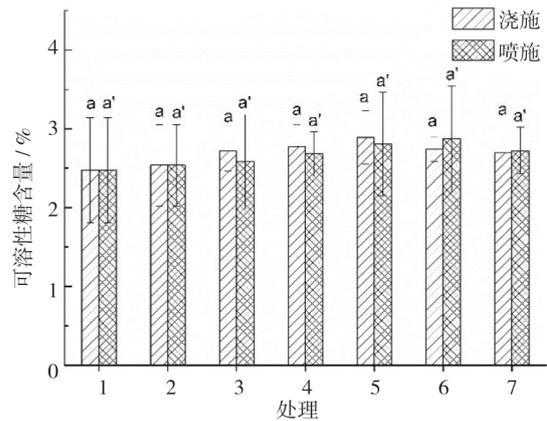


图2 不同施加量对紫甘蓝可溶性糖含量的影响

如图 3 所示。由结果可知,处理 6 沼液施用总量为每小区 31.2 L ($6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,不管采用什么施加方式,紫甘蓝的 Vc 含量均最高,浇施与喷施处理含量分别达到每 100 g 鲜样 70.46 mg 和每 100 g 鲜样 68.34 mg,比处理 1(CK) 对照组提高了 25.6% ($p < 0.05$) 和 22.8% ($p < 0.05$),产生了显著性差异。其余各处理与 CK 相比并未产生显著性差异。不同施加方式之间,Vc 含量差异不明显。结果表明,浇施总量为每小区 31.2 L ($6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,对于提高紫甘蓝中的 Vc 含量效果最好。

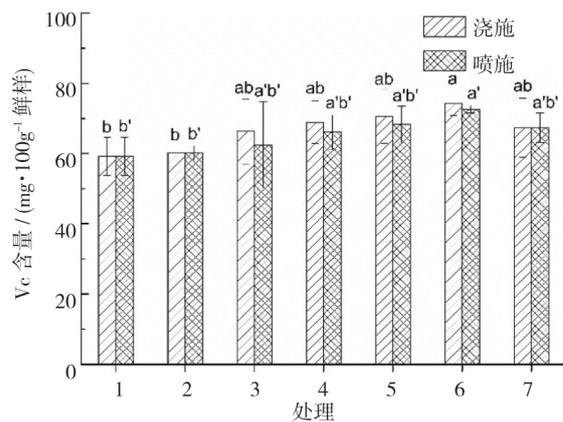


图3 不同施加量对紫甘蓝 Vc 含量的影响

2.2.3 对硝酸盐含量的影响

不同沼液施用对紫甘蓝硝酸盐含量的影响,结果如图 4 所示。从结果可以看出,随着施用量的增大,紫甘蓝中硝酸盐含量会逐渐提高,当施用总量为每小区 43.2 L ($9.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,浇施与喷施的含量分别达到 $261.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $232.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但各处理与处理 1(CK) 对照组相比,均未产生显著性差异($p > 0.05$)。本研究条件下,紫甘蓝硝酸盐含量没有出现累积现象,适当的施用沼液对紫甘蓝

植株体内的硝酸盐含量影响不大。各处理硝酸盐含量均显著低于《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求(GB 18406.1-2001)》中标准要求。

2.3 不同沼液施用对土壤性质的影响

2.3.1 对土壤 pH 值的影响

施加沼液对土壤 pH 值的影响见表 3。结果表明,不管是施加多少量的沼液或者使用什么施加方式,在施加沼液后,土壤的 pH 值都有所下降,最终 pH 值与施加沼液前相比,普遍产生显著性差异($p < 0.05$)。处理 5 即沼液施用总量为每小区 25.2 L ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,达到最佳效果。这说明,在紫甘蓝生长的过程中,施用沼液肥可以改善土壤的酸碱度。尽管处理 1 (CK) 土壤 pH 值在紫甘蓝生长过程中也出现一定程度下降,但是其一直保持着较高

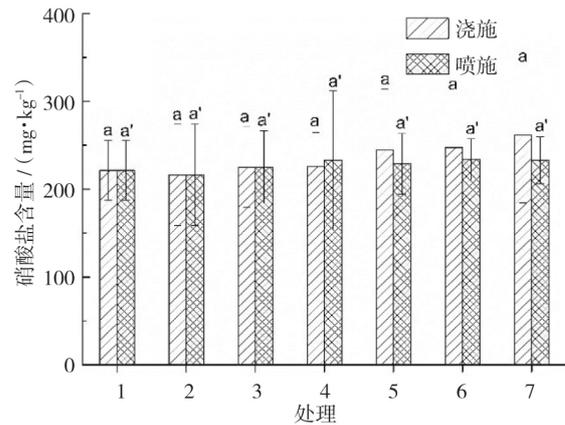


图 4 不同施加量对紫甘蓝硝酸盐含量的影响

水平。需要注意的是,在紫甘蓝收获后,土壤的 pH 值普遍会比收获前略微上升。

表 3 沼液施用前后土壤的 pH 值变化

处理	施基肥前		第 1 次追肥前		第 2 次追肥前		收获后	
	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施
1 (CK)	8.29 ± 0.03	8.29 ± 0.03	7.96 ± 0.05	7.96 ± 0.05	7.97 ± 0.02	7.97 ± 0.02	8.07 ± 0.09	8.07 ± 0.09
2	8.20 ± 0.04	8.20 ± 0.04	7.92 ± 0.03	7.92 ± 0.03	7.90 ± 0.03	7.90 ± 0.03	8.03 ± 0.07	8.03 ± 0.07
3	8.19 ± 0.01	8.18 ± 0.10	7.94 ± 0.05	7.88 ± 0.03	7.86 ± 0.04	7.89 ± 0.06	7.88 ± 0.03	8.02 ± 0.08
4	8.24 ± 0.07	8.15 ± 0.04	7.89 ± 0.08	7.91 ± 0.07	7.78 ± 0.05	7.88 ± 0.02	7.84 ± 0.06	7.93 ± 0.07
5	8.24 ± 0.05	8.13 ± 0.06	7.89 ± 0.09	7.85 ± 0.02	7.78 ± 0.08	7.77 ± 0.03	7.78 ± 0.12	7.88 ± 0.01
6	8.15 ± 0.06	8.13 ± 0.05	7.86 ± 0.07	7.77 ± 0.03	7.78 ± 0.05	7.78 ± 0.04	7.82 ± 0.03	7.90 ± 0.10
7	8.19 ± 0.05	8.21 ± 0.13	7.92 ± 0.06	7.88 ± 0.07	7.86 ± 0.06	7.88 ± 0.04	8.01 ± 0.07	7.93 ± 0.14

2.3.2 对土壤 EC 值的影响

施加沼液对土壤 EC 值的影响见表 4。结果表明,第 1 次追肥前,EC 值开始大幅度地上升。可能是由于当时处于春夏之交,随着气温升高,导致土壤的蒸发量大,表层土壤中的可溶性盐的含量迅速增

加,EC 值迅速上升。在紫甘蓝收获后,土壤 EC 值又降回到很低的水平,甚至比施加基肥前土壤的 EC 值还低,并产生显著性差异($p < 0.05$)。总体而言,施用沼液有助于降低土壤中的 EC 值,降低可溶性盐的含量。

表 4 沼液施用前后土壤的 EC 值变化

($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)

处理	施基肥前		第 1 次追肥前		第 2 次追肥前		收获后	
	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施
1 (CK)	188.33 ± 0.51	188.33 ± 0.51	635.00 ± 1.45	635.00 ± 1.45	1082.50 ± 4.16	1082.50 ± 4.16	163.10 ± 1.73	163.10 ± 1.73
2	385.00 ± 1.24	385.00 ± 1.24	960.00 ± 1.61	960.00 ± 1.61	1503.00 ± 2.10	1503.00 ± 2.10	156.97 ± 1.00	156.97 ± 1.00
3	388.33 ± 2.32	348.33 ± 5.12	561.00 ± 3.56	802.00 ± 1.33	1854.00 ± 1.65	2676.67 ± 1.20	137.47 ± 0.47	131.57 ± 0.61
4	381.33 ± 4.44	445.00 ± 1.89	817.33 ± 1.50	910.50 ± 2.30	2890.00 ± 5.58	1714.00 ± 2.24	136.73 ± 1.02	121.03 ± 1.66
5	381.33 ± 2.21	481.67 ± 3.71	1015.00 ± 0.56	810.00 ± 2.23	2395.00 ± 2.01	1020.00 ± 3.46	135.00 ± 1.00	124.73 ± 1.00
6	239.83 ± 1.69	282.67 ± 2.65	747.50 ± 7.70	667.00 ± 1.54	1819.00 ± 1.60	1168.50 ± 1.52	132.33 ± 1.37	115.57 ± 1.16
7	388.33 ± 1.50	207.27 ± 4.72	800.50 ± 3.55	868.00 ± 0.80	2556.67 ± 3.90	1940.00 ± 1.93	144.63 ± 3.93	157.13 ± 2.31

2.3.3 对土壤有机质含量的影响

施加沼液对土壤有机质含量的影响如表 5 所

示。总体而言,第 1 次追肥前,土壤有机质的含量变化比施加基肥前普遍出现一定程度下降;至第 2 次

追肥前,土壤中的有机质含量仍继续呈下降趋势。这是因为随着紫甘蓝生长进入旺盛期,从土壤中大量汲取有机物质所致。采收后,除处理1(CK)外,其余各处理土壤中的有机质普遍呈现上升趋势,这可能是由于收获后,紫甘蓝的根茎残叶等残留在土壤中所致。且各施加沼液的处理组土壤有机质含量与施基肥前比,均产生显著性差异($p < 0.05$)。浇

施情况下,处理5(沼液施用量为每小区 25.2 L,即 $5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 达到最佳效果。喷施时,处理5(沼液施用量为每小区 25.2 L,即 $5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 和处理6(沼液施用总量为每小区 31.2 L,即 $6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 均可达到最佳。结果表明,施加沼液增加了土壤的肥力,提高了其保肥性能。

表5 沼液施用前后土壤有机质变化

(g·kg⁻¹)

处理	施基肥前		第1次追肥前		第2次追肥前		收获后	
	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施
1(CK)	1.64 ± 0.14	1.64 ± 0.14	1.57 ± 0.07	1.57 ± 0.07	1.25 ± 0.10	1.25 ± 0.10	1.22 ± 0.11	1.22 ± 0.11
2	1.64 ± 0.08	1.64 ± 0.08	1.53 ± 0.17	1.53 ± 0.17	1.12 ± 0.12	1.12 ± 0.12	1.25 ± 0.03	1.25 ± 0.03
3	1.68 ± 0.21	1.70 ± 0.10	1.57 ± 0.26	1.50 ± 0.04	0.90 ± 0.23	1.45 ± 0.15	1.94 ± 0.14	1.95 ± 0.16
4	1.61 ± 0.13	1.63 ± 0.05	1.57 ± 0.07	1.49 ± 0.06	1.04 ± 0.19	1.39 ± 0.08	1.93 ± 0.09	1.99 ± 0.05
5	1.61 ± 0.03	1.56 ± 0.11	1.52 ± 0.04	1.57 ± 0.16	1.39 ± 0.12	1.84 ± 0.14	2.05 ± 0.31	2.14 ± 0.13
6	1.64 ± 0.10	1.63 ± 0.09	1.59 ± 0.17	1.48 ± 0.05	1.57 ± 0.13	1.12 ± 0.20	2.01 ± 0.12	2.14 ± 0.16
7	1.68 ± 0.08	1.64 ± 0.11	1.52 ± 0.06	1.61 ± 0.03	1.49 ± 0.15	1.25 ± 0.09	2.00 ± 0.16	2.11 ± 0.29

2.3.4 对全氮含量的影响

施加沼液对土壤全氮含量的影响如表6所示。总体上看,紫甘蓝种植土壤的全氮含量呈现出一种动态变化。在第1次追肥前,由于紫甘蓝处于幼苗期,对氮量的需求较少,所以土壤全氮含量总体上变化不大,部分处理组土壤全氮含量还出现增大;在第2次追肥前,土壤中全氮比第1次追肥前普遍出现下降,这是因为在这个阶段,紫甘蓝处于生长旺盛期,需要大量养分所致。待紫甘蓝收获后,各处理的

土壤全氮含量显现了差异。施肥量较高的处理,土壤全氮量普遍高于较低施加量的处理。不管浇施还是喷施,处理5施用沼液总量为每小区 25.2 L($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,达到最佳,全氮含量分别达到 $1146.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1154.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但处理7(沼液施用总量为每小区 43.2 L,即 $9.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 的土壤全氮量却出现下降。可见,适量的沼液施用有助于恢复甚至增加土壤中的全氮含量,但若施加过量,则会出现反作用,导致土壤中的养分含量下降。

表6 沼液施用前后土壤全氮变化

(mg·kg⁻¹)

处理	施基肥前		第1次追肥前		第2次追肥前		收获后	
	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施
1(CK)	1031.8 ± 48.3	1031.8 ± 48.3	882.5 ± 33.1	882.5 ± 33.1	897.4 ± 27.9	897.4 ± 27.9	924.2 ± 34.2	924.2 ± 34.2
2	1043.0 ± 51.4	1043.0 ± 51.4	1011.8 ± 20.3	1011.8 ± 20.3	958.9 ± 43.5	958.9 ± 43.5	954.5 ± 26.1	954.5 ± 26.1
3	1059.9 ± 59.7	997.6 ± 34.0	1037.1 ± 37.4	998.4 ± 22.6	972.0 ± 61.2	915.1 ± 43.4	963.4 ± 18.6	956.8 ± 51.8
4	1028.9 ± 39.2	1010.9 ± 54.5	1042.2 ± 52.6	1016.6 ± 71.7	975.2 ± 30.5	974.1 ± 65.3	976.9 ± 52.9	978.7 ± 29.6
5	1028.9 ± 53.1	1063.0 ± 22.0	1044.5 ± 17.4	1105.7 ± 38.4	991.2 ± 47.1	988.6 ± 34.5	1146.0 ± 75.3	1154.2 ± 22.6
6	1066.4 ± 25.3	1038.9 ± 46.6	1048.2 ± 31.9	1132.4 ± 45.4	976.8 ± 40.2	1019.2 ± 27.7	1043.7 ± 62.2	1097.8 ± 56.8
7	1059.9 ± 28.0	1059.4 ± 19.8	1008.5 ± 50.9	1004.9 ± 36.7	963.3 ± 26.1	986.3 ± 37.0	967.1 ± 72.3	974.7 ± 55.9

2.3.5 对有效磷含量的影响

施加沼液对土壤有效磷含量的影响见表7。土壤有效磷含量随时间波动很大。在第1次追肥前,紫甘蓝植株处于幼苗期,对磷的需求较少,所以土壤

中有效磷含量普遍较高;在第2次追肥前,植株处于生长旺盛期,对养分的需求大,所以有效磷的含量呈现下降的趋势;至收获时,由于对养分的需求减少,在追肥后则土壤中有效磷的含量出现升高。不管喷

施还是浇施,处理 5(沼液施用量为每小区 25.2 L,即 $5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 和处理 6(沼液施用总量为每小区 31.2 L,即 $6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 相较于其他处理而言,有效磷含量均一直处于较高的水平。相较于初始值来说,经过一茬紫甘蓝的种植,土壤的有效磷含量总

体呈现上升。施用沼液,可以增加土壤中有效磷的含量,提高土壤的质量,改善蔬菜的生长环境。比较施肥前和收获后的数据发现,喷施比浇施对于土壤有效磷含量的提高作用更明显。

表 7 沼液施用前后土壤有效磷含量变化

(mg·kg⁻¹)

处理	施基肥前		第 1 次追肥前		第 2 次追肥前		收获后	
	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施	浇施	喷施
1(CK)	9.6±3.6	9.6±3.6	14.7±4.2	14.7±4.2	8.5±2.1	8.5±2.1	14.9±1.7	14.9±1.7
2	11.5±2.1	11.5±2.1	19.4±3.3	19.4±3.3	12.5±3.8	12.5±3.8	18.2±4.4	18.2±4.4
3	22.7±1.5	9.7±6.1	19.7±2.4	16.6±4.2	17.0±2.6	13.2±2.8	25.2±3.3	20.3±6.0
4	30.0±2.9	14.2±3.1	27.3±3.9	16.7±1.7	21.5±5.0	11.1±2.6	28.0±2.5	17.1±4.0
5	29.9±3.6	14.6±4.1	29.6±3.7	18.3±3.1	19.1±5.4	12.6±2.1	36.3±1.9	27.3±3.2
6	22.7±5.4	13.1±2.3	33.4±3.5	23.9±4.1	15.6±3.3	16.8±2.3	36.2±3.8	33.1±3.1
7	19.1±4.7	7.9±2.6	32.9±3.4	23.6±2.0	24.9±5.2	14.8±3.9	32.2±2.3	17.7±6.4

3 讨论

3.1 沼液施用对紫甘蓝产量和品质的影响

已有的研究表明,沼液能够显著提高作物的产量,但施加浓度或施加量不同,效果也会不同。如袁祖华等研究不同浓度沼液的喷施对黄瓜产量的影响,结果表明喷施沼液有利于提高黄瓜产量,但是喷施浓度过高反而会降低产量^[11]。本研究条件下,对于浇施而言,随着沼液施加量增加,紫甘蓝产量均先增加后减小,沼液施加量存在一个较优范围。最佳沼液施用总量为每小区 25.2 L ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$),此时紫甘蓝产量可达 $3747.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。喷施时,各处理组与处理 1(CK)相比,均无显著性差异,且喷施组的产量明显低于浇施组。这表明,欲充分发挥沼液的肥效,取得高产,浇施是比喷施更好的施加方式。

在施加沼液肥对紫甘蓝 Vc 含量影响方面,处理 6 沼液施用总量为每小区 31.2 L ($6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,不管喷施还是浇施,紫甘蓝的 Vc 含量均最高,并与对照组产生了显著差异,而其余各处理与 CK 相比并未产生显著性差异。在对紫甘蓝可溶性糖的影响方面,施用不同量的沼液对紫甘蓝可溶性糖含量提高效果并不明显,不同沼液施加方式也未表现出明显差异。而李伟群的研究表明在 10%、20%、

30% 的浓度配比下,黄瓜的 Vc 含量比 CK 分别增长了 16.60%、48.95% 和 45.07%;可溶性糖含量的表现上,20%、30% 的浓度配比下,黄瓜可溶性糖含量比 CK 分别增长了 5% 和 7%^[22]。不同研究的结果表明,施加沼液肥可以有效提高蔬菜中 Vc 和可溶性糖含量的论断并不普遍适用,这可能受施用沼液浓度配比与施加方式、土壤特性和蔬菜种类等多种因素的影响。

对于硝酸盐指标而言,一般认为,氮肥用量、硝态氮吸收与还原转化不平衡、植株吸收和生长的不协调等,共同影响蔬菜对硝态氮的积累^[23]。在徐卫红等人的研究中还出现了沼液种植莴苣和生菜时硝酸盐含量下降的情况^[15]。在本研究中,随着沼液施用量的增大,紫甘蓝的硝酸盐含量会逐渐提高,但没有出现累积现象,各处理硝酸盐含量均显著低于《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求(GB 18406.1-2001)》中标准要求。

3.2 沼液施用对紫甘蓝种植土壤性质的影响

滨海盐碱地,是在海洋和陆地的相互作用下由大量泥沙沉积而成的连接陆地和海洋的缓冲地带,绝大多数属泥质海岸带^[24]。由于受水文地质、气候、母质等条件影响,土壤 pH 值、盐分含量高,理化性质不良,植物存活困难^[25]。

长期以来,改良盐碱土壤多采用工程措施,如淡

水淋洗压盐、客土转移土壤盐分,添加化学改良剂,种植耐盐植物进行生物修复等多种方法^[24-26]。这些措施要么工程量大、费用高;要么周期长,见效慢。本研究条件下,施用沼液可以改善土壤的酸碱度,有助于降低可溶性盐的含量。从施加沼液后的有机质和有效磷指标看,施加沼液提高了滨海盐碱土壤的肥力,增加了保肥性能;从土壤全氮指标看,沼液施用适当,也有助于恢复甚至增加土壤中的全氮含量。综上所述,而施加沼液,既可以实现沼液的消纳,又可以实现滨海盐碱土壤的改良;既能取得良好的经济效益,更能取得良好的社会效益。

但需注意,施加沼液改善滨海盐碱土壤酸性、降低可溶性盐含量的作用,可能是暂时性的。若不继续施用沼液,土壤的相关指标如 pH 值和 EC 值可能会又会慢慢恢复到原来的状态。另外,本研究所用沼液为碱性,施加后,土壤 pH 值反而出现了下降,后续有必要进一步验证并对出现该现象的机理展开研究。

4 结论

本研究条件下,浇施时,随着沼液施加量增加,紫甘蓝产量表现出先增加后减小的趋势,当沼液施用总量为每小区 25.2 L ($5.6 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,紫甘蓝产量最高可达 $3747.2 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。施加沼液肥可以提高紫甘蓝 Vc 含量,在沼液施用总量为每小区 31.2 L ($6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$) 时,不管喷施还是浇施,紫甘蓝的 Vc 含量均最高。沼液施加对紫甘蓝可溶性糖含量提高效果并不明显。虽然随着沼液施用量的增大,紫甘蓝硝酸盐含量有所提高,但硝酸盐含量均在安全范围内。总体而言,浇施效果优于喷施,沼液的最佳施用量范围为 $5.6 \sim 6.9 \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。

在滨海盐碱土施用沼液肥种植紫甘蓝,可以改善土壤的酸碱度,有助于降低其可溶性盐的含量,提高土壤的肥力,增加其保肥性能,对滨海盐碱土实现改良。总之,沼液是可以代替常规肥料在盐碱土上种植蔬菜的有机肥料。

参考文献:

[1] Jun Lu, Lina Jiang, Dingjiang Chen, et al. Decontamination of anaerobically digested slurry in a paddy field e-

cosystem in Jiaying region of China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 146: 13 - 22.

- [2] 张玲玲, 李兆华, 刘化吉, 等. 水培芹菜净化不同浓度沼液的试验研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20 (Z1): 154 - 157.
- [3] Xuebo Zheng, Jianbo Fan, Jian Cui, et al. Effects of biogas slurry application on peanut yield, soil nutrients, carbon storage, and microbial activity in an Ultisol soil in southern China [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, 16: 449 - 460.
- [4] Ankit Singla, Suresh Kumar Dubey, Muhammad Aslam Ali, et al. Methane flux from paddy vegetated soil: a comparison between biogas digested liquid and chemical fertilizer [J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2015, 23: 139 - 148.
- [5] Silvia Bachmann, Stefanie Wentzel, Bettina Eichler-Löbermann. Codigested dairy slurry as a phosphorus and nitrogen source for *Zea mays* L. and *Amaranthus cruentus* L. [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2011, 174: 908 - 915.
- [6] 王伟楠, 杨改河, 任广鑫, 等. 孔德杰. 叶面喷施沼液对苹果树营养生长和果实品质的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)* 2008, 36(11): 151 - 156.
- [7] 李泽碧, 王正银, 李清荣, 等. 沼液、沼渣与化肥配施对莴笋产量和品质的影响 [J]. *中国沼气*, 2006, 24(1): 27 - 30.
- [8] S. D. Evens, P. R. Goodrich, R. C. Munter, et al. Effect of solid and liquid beef manure and liquid hog manure on soil characteristics and on growth, yield, and composition of corn [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1997, 6: 361 - 368.
- [9] Fang-Bo Yu, Xi-Ping Luo, Cheng-Fang Song, et al. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science*, 2010; 60: 262 - 268.
- [10] Sara Elfstrand, Birgitta Båth, Anna Mårtensson. Influence of various forms of greenmanure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. *Applied Soil Ecology* 2007, 36: 70 - 82.
- [11] 袁祖华, 石洪艳. 沼液在黄瓜上的应用效果研究 [J]. *现代农业科技*, 2010, (14): 97 - 98.
- [12] 黄亚丽, 杜晓哲, 尹淑丽, 等. 不同沼液用量对番茄生长发育的影响 [J]. *中国沼气*, 2012, 30(4): 45 - 48.

- [13] 白光慧,李霞,王小琴,等. 温室黄瓜沼液浇施与喷施效果对比研究[J]. 现代农业科技, 2013, (11): 86 - 87.
- [14] 李轶,张振. 沼液对番茄果实品质的影响[J]. 中国沼气, 2001, 19(1): 37 - 39.
- [15] 徐卫红,王正银,权月梅,等. 沼液对莴笋和生菜硝酸盐含量及营养品质的影响[J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 34 - 37.
- [16] R. N. Garg, H. Pathak, D. K. Das, R. K. Tomar. Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil [J]. *Environmental Monitoring and Assessment* 2005, 107: 1 - 9.
- [17] 曹云,常志州,马艳,等. 沼液施用对辣椒疫病的防治效果及对土壤生物学特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 507 - 516.
- [18] 王卫平,朱凤香,陈晓旻,等. 沼液浇灌对土壤质量和萝卜产量品质的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 484 - 487.
- [19] Abubaker, J, Cederlund, H, Arthurson, V, Pell, M. Bacterial community structure and microbial activity in different soils amended with biogas residues and cattle slurry [J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 72(72): 171 - 180.
- [20] 翟逸,李平,韦秀丽,等. 不同作物、土壤类型和灌溉方式对沼液消纳能力的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 27(6): 2485 - 2488.
- [21] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837 - 845.
- [22] 李伟群. 不同浓度沼液叶面肥对黄瓜品质及产量的影响[J]. 北方园艺, 2009, (12): 65 - 66.
- [23] 王朝辉,田霄鸿,李生秀. 叶类蔬菜的硝态氮累积及成因研究[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1136 - 1141.
- [24] 王睿彤,孙景宽,陆兆华. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土生化特性的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 425 - 431.
- [25] 郑艳美. 秸秆生物反应堆对滨海盐碱土的改良培肥效果[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(5): 97 - 99.
- [26] 程镜润,陈小华,刘振鸿,等. 脱硫石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1505 - 1513.