

沼液对土壤质量及小白菜产量品质的影响

黄界颖¹, 伍震威², 高连芬², 唐晓菲², 马友华^{1*}, 郑斌¹

(1 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2. 安徽省环境监测中心站, 合肥 230061)

摘要: 以规模化畜禽养殖粪便污水发酵的沼液作为有机肥, 研究其对土壤质量及小白菜产量品质的影响。设置 6 个沼液用量的盆栽试验处理, 以小白菜为试验植物。结果表明, 各处理不同程度地提高了土壤的 pH, 土壤有机质、碱解 N、速效 K 含量均与沼液的施用量呈正相关, r 值分别为 0.618、0.637、0.710 ($P < 0.01$); 各处理的速效磷含量没有表现出显著差异; 重金属等有害元素在农田、蔬菜地国家土壤环境质量指标内; 本试验设计中沼液最高用量条件下 ($1\ 080\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 单季施用沼液土壤质量是安全的。施用沼液显著提高小白菜产量, 促进小白菜对矿质元素的吸收, 提高小白菜 Vc、可溶性糖含量, 但是沼液最高用量 T₅ 处理小白菜中 Cr、Zn 和 Cd 含量均超标, 说明大量消解沼液时还需要进一步考虑重金属 Cr、Zn、Cd 在蔬菜中的积累问题。

关键词: 沼液; 小白菜; 土壤质量; 品质

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)05-0849-06

Effects of biogas slurry on soil quality and yield quality of Chinese cabbage

HUANG Jie-ying¹, WU Zhen-wei², GAO Lian-fen², TANG Xiao-fei², MA You-hua¹, ZHENG Bin¹

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Anhui Environmental Monitoring Center, Hefei 230061)

Abstract: Biogas slurry fermented by manure sewage from scale livestock culture was used as organic fertilizer to study its effects on soil quality and yield and quality of Chinese cabbage. The pot experiment included 6 treatments with different fertilizer quantity. The results showed that all treatments improved the soil pH with different degrees. The contents of soil organic matter, available N and available K were positive correlated with biogas slurry quantity, and R values were 0.618, 0.637 and 0.710, respectively ($P < 0.01$), but there was no significant difference between the application of biogas slurry and available P. And the concentrations of soil heavy metals were lower than the criteria of National Soil Quality Standards for farmland and vegetable field, which mean the soil quality is safe under a single application of the highest dosage treatment ($1\ 080\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) in this experimental design. Application of biogas slurry could remarkably improve cabbage yield, promote mineral nutrient uptake and increase the Vc content, the soluble sugar content, however, the Cr, Zn and Cd contents in Chinese cabbage of T₅ treatment exceeded all the National Food Safety Standard, indicating substantial digestion biogas slurry also need for further consideration of the accumulation of heavy metals of Cr, Zn and Cd in vegetables.

Key words: biogas slurry; Chinese cabbage; soil quality; quality

规模化畜禽养殖粪便的集中排放, 给养殖场周边的环境造成了巨大的压力。为解决畜禽粪便污染实现其资源化, 国家大力推广并建设大中型沼气工程。畜禽粪便污水经沼气工程厌氧发酵后, 可去除污水中的 COD_{Cr}70%左右, TS 分解率 50%左右, 病

毒菌杀灭率 96%以上, 但是 COD 含量、总氮、总磷等含量依然较高^[1], 无法满足直接排放的要求, 随着规模化畜禽养殖沼气工程发展步伐的加快, 养殖场畜禽污水经沼气工程处理后产生的大量沼液又成为新的污染源, 这使沼液的利用与净化技术研究显

收稿日期: 2012-06-11

基金项目: 2009 年度高等学校省级优秀青年人才基金(2009SQRZ034), 安徽省自然科学基金(120805QD76)和国家科技支撑计划(2007BAD87B06, 2012BAD15803)共同资助。

作者简介: 黄界颖, 女, 博士研究生, 讲师。E-mail: hjy@ahau.edu.cn

* 通信作者: 马友华, 男, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: yhma@ahau.edu.cn

得非常迫切。

目前把沼液作肥料与化肥配合施用的研究较多^[2-6], 而利用沼液灌溉满足作物的肥料要求, 大量消纳沼液方面的研究并不多, 事实上, 单独施用沼液在有机农业生产中效果显著^[7]。本试验以小白菜为材料, 研究了不同用量沼液对小白菜产量、品质及土壤质量和生态安全的影响, 试图为大量消解养殖场沼气工程产生的沼液利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试土壤为巢湖潮土, 取自巢湖烔炀镇西宋圩, 为 0~20 cm 表层土, 土壤质地为粘壤土, pH 6.58、有机质 11.5 g·kg⁻¹、全氮 1.26 g·kg⁻¹、碱解 N 82.6 mg·kg⁻¹、速效 P 14.6 mg·kg⁻¹、速效 K 106 mg·kg⁻¹。重金属含量为 Cd 0.557 mg·kg⁻¹, Cr 70.91 mg·kg⁻¹,

Ni 36.55 mg·kg⁻¹, Pb 21.58 mg·kg⁻¹, Cu 35.34 mg·kg⁻¹, Zn 92.12 mg·kg⁻¹。

供试蔬菜为小白菜, 品种为白叶四月慢, 购于合肥丰乐种子蔬菜公司。

供试沼液为猪粪经正常厌氧发酵产生沼气后的沼液, 采自合肥市包河区大圩村沼气系统, pH 8.38, T-N 448.83 mg·L⁻¹, T-P 82.07 mg·L⁻¹, T-K 2 315.75 mg·L⁻¹。Cd 0.026 mg·L⁻¹, Cr 0.079 mg·L⁻¹, Ni 0.091 mg·L⁻¹, Cu 1.793 mg·L⁻¹, Zn 6.763 mg·L⁻¹, Pb 未检出。

1.2 试验设计

种植试验于 2009 年 3 月至 5 月在安徽农业大学农萃园进行。用上下口径分别为 18 cm、13 cm, 高 17 cm 的塑料钵, 每钵装过 3 mm 筛风干土样 2.5 kg。共设 6 个处理(表 1), 每处理 3 次重复, 随机排列。

表 1 试验处理及施肥量
Table 1 Experimental design and fertilizing amounts

沼液处理编号 Code	沼液总施用量/L·钵 ⁻¹ Total quantity for biogas slurry application	沼液每次施用量/L·钵 ⁻¹ Quantity of biogas slurry application per time	沼液:清水 Ratio of biogas slurry to water	折合纯 N/L·钵 ⁻¹ Equivalent to pure N
CK	0	0	-	0
T1	0.450	0.090	1:5	0.202
T2	0.675	0.135	1:3	0.303
T3	1.350	0.270	1:1	0.606
T4	2.025	0.405	3:1	0.909
T5	2.700	0.540	-	1.212

注: 沼液的施用量按照沼液的全氮含量 448.83 mg·L⁻¹ 计算。

Note: the application of total quantity of biogas slurry is calculated according to its content of total nitrogen (448.83 mg·L⁻¹).

试验在农萃园露天进行, 育苗待小白菜长至 4 叶期, 每钵移栽定植 5 株, 沼液用量按平均每 6 d 施用 1 次, 共施用 5 次, 期间逢干浇水, 栽培管理措施按常规方式进行, 各处理保持一致。待收获时, 测定小白菜可食部分鲜重, 地上部 N、P、K 量、可溶性糖、维生素 C 等营养指标及重金属含量。土壤待稍干燥, 破碎混匀取样, 风干后处理备用。

1.3 测定项目及方法

植株采摘当日以 2,4-二硝基苯肼比色法测定 Vc 含量; 蒽酮比色法测定可溶性糖含量; 半微量滴定法、钒钼黄比色法、火焰光度法分别测定全 N 含量、全 P 含量、全 K 含量^[8]。

土壤用电位法(1:1 水土比)、重铬酸钾容量法、碱解扩散法、Olsen 法、火焰光度法分别测定土壤 pH、有机质含量、碱解 N 含量、速效 P 含量、速效 K 含量^[8]; 重金属用 ICP-AES 电感耦合等离子体发射光谱法测定^[9]。

用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法、过硫酸钾氧化-钼蓝比色法、火焰光度法分别测定沼液中 T-N 含量、T-P 含量及 T-K 含量^[8]。

试验数据采用 DPS2000 进行统计分析, 差异显著性用 ONE-WAY ANOVA 方差分析, 进行 Duncan's 新复极差法检验。

2 结果与分析

2.1 不同沼液浇灌量对土壤有机质、pH 以及速效养分的影响

从小白菜收获后土壤分析结果表 2 可以看出, 各处理不同程度地提高了土壤的 pH, 有效地防止了土壤的酸化, 其中改善程度最明显是 T5 处理, pH 接近中性, 较对照增加 0.33 个单位。从土壤有机质来看, 土壤有机质随沼液的施用量增加而增加, 说明土壤有机质的提高主要取决于有机肥的施用。与对照相比, 各处理的有机质含量增加了 0.07~0.56

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 增加率为 0.62%~4.93%, 经多重比较, 除 T5 处理与 CK 间存在显著差异 ($P<0.05$) 外, 其他处理与 CK 间差异不显著 ($P>0.05$); 与对照相比, 各处理的碱解氮含量增加了 5.38~13.58 $\text{m g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 增加率为 7.40%~18.68%, 经多重比较, CK 与 T4、T5 间存在显著差异 ($P<0.05$), 其他处理与 CK 间差异不显著 ($P>0.05$), 土壤中碱解氮含量与施入氮肥量呈正相关, r 值为 0.637 ($P<0.01$), 趋升斜率为 0.2616, 这与王宗寿^[10]研究结果一致, 而不同于倪亮^[2]、覃舟^[11]与吴飞龙^[12]等施用沼液对增加土壤中碱解氮不明显的结论。各处理的速效磷含量没有表现出显著差异, 各施肥处理的

速效 K 含量比 CK 增加了 81.67~168.33 $\text{m g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 增加率为 71.02%~146.37%, 经多重比较, CK 与各处理间均存在显著差异 ($P<0.05$), 且 T1 处理和 T2、T3、T4、T5 间也存在显著差异 ($P<0.05$), 这可能是由于本试验选用的沼液中钾含量较高造成的。处理 T3、T4、T5 之间的差异不显著, 可能是受土壤胶粒负电荷的限制, 没有出现随施用量增加而增加的趋势。另外, T4 处理速效钾含量比 T2 处理低的原因可能与植物吸收有关。从表 4 中可以看出, T4 处理的植物钾含量明显高于 T2 处理, 这可能是导致 T4 处理土壤钾含量较低的原因。

表 2 施用沼液对土壤有机质、pH 以及速效养分的影响

Table 2 Effects of biogas slurry on soil organic matter content, pH and soil available N, P and K concentrations

处理 Treatment	pH	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Organic matter	碱解 N/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Alkaline hydrolysis N	速效 P/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available P	速效 K/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available K
CK	6.53±0.24 ^b	11.36±0.31 ^b	72.71±1.29 ^b	15.76±1.93 ^a	115.00±8.66 ^c
T1	6.65±0.11 ^{ab}	11.43±0.32 ^b	78.09±7.77 ^{ab}	16.76±1.77 ^a	196.67±12.58 ^b
T2	6.82±0.09 ^a	11.45±0.12 ^b	80.35±0.97 ^{ab}	18.48±1.08 ^a	285.00±8.66 ^a
T3	6.72±0.03 ^{ab}	11.57±0.36 ^{ab}	84.31±8.37 ^{ab}	18.36±1.67 ^a	270.00±17.32 ^a
T4	6.82±0.10 ^a	11.56±0.13 ^{ab}	85.44±6.86 ^a	16.52±1.62 ^a	260.00±20.00 ^a
T5	6.86±0.07 ^a	11.92±0.07 ^a	86.29±6.49 ^a	16.25±0.94 ^a	283.33±12.58 ^a

注: 同一列中标有不同字母者为差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Note: the data followed with different letters in the same column are significant difference at the 0.05 level. The same below.

表 3 施用沼液对土壤重金属含量的影响

Table 3 Effects of biogas slurry on the heavy metal content in soil

处理 treatment	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn
CK	0.456±0.025 ^{ab}	69.55±2.55 ^a	35.49±0.84 ^{ab}	25.87±1.85 ^a	28.81±1.33 ^a	75.37±1.41 ^a
T1	0.402±0.047 ^b	65.43±7.32 ^a	32.87±3.80 ^b	26.18±3.31 ^a	29.31±0.82 ^a	68.57±8.68 ^a
T2	0.452±0.004 ^{ab}	74.65±0.94 ^a	37.11±0.44 ^{ab}	30.79±1.06 ^a	27.00±2.99 ^a	77.86±3.48 ^a
T3	0.465±0.005 ^{ab}	68.69±3.07 ^a	35.80±0.69 ^{ab}	24.24±2.18 ^a	33.58±2.28 ^a	76.93±1.41 ^a
T4	0.450±0.001 ^{ab}	74.44±0.75 ^a	37.53±0.35 ^{ab}	29.82±0.52 ^a	30.98±0.57 ^a	78.44±1.23 ^a
T5	0.483±0.018 ^a	73.68±2.83 ^a	45.89±9.41 ^a	29.99±5.34 ^a	31.48±0.93 ^a	76.19±1.42 ^a

2.2 不同沼液浇灌量对土壤重金属含量的影响

从表 3 中可见, 随着沼液用量的增加, 土壤中重金属元素 Cr、Pb、Cu、Zn 在土壤中的含量均有所增加, 但变化不大, 各处理与对照相比均没有达到显著差异。而土壤 Cd、Ni 含量以 T5 处理含量最高, T1 处理含量最低, 其余各处理间没有显著差异, 这与王卫平等人的研究结果不同^[3]。对照国家土壤环境质量标准, 除 T5 处理的 Ni 含量符合国家二级标准 (适用于一般农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场等土壤) 之外, 本试验中所有处理的土壤重金属含量均符合国家一级标准, 能维持自然背景的环境质量^[13]。说明重金属等有害元素在国家土壤环

境质量允许范围内, 但沼液长期灌溉对土壤质量的影响还有待进一步研究。

2.3 不同沼液浇灌量对小白菜生长和营养元素吸收的影响

由表 4 可以看出, 施用沼液能提高小白菜产量, 与对照相比, 各处理的小白菜生物量增加了 12.5~55.43 $\text{g}\cdot\text{钵}^{-1}$, 增加率为 9.03%~40.06%。经多重比较, 各处理与 CK 间均存在显著差异 ($P<0.05$), 小白菜生物量与沼液施用量呈正相关, r 值为 0.9657 ($P<0.01$), 趋升斜率为 0.4651。由于沼液中总氮、总磷等含量较高^[1], 养分主要为速效态, 施入土壤后能迅速实现作物需求与供 N 同步, 在施

用后短期内增加 N 吸收及作物产量^[14],施用沼液明显促进了小白菜对矿质元素的吸收。与对照相比,各处理的小白菜 N 含量增加了 0.02~0.5%,增加率为 0.78%~19.69%。经多重比较,处理 T5、T4、T2 均与 CK 间存在显著差异 ($P<0.05$);小白菜 P、K 含量表现出随着沼液用量提高,各处理 P、K 含量增加幅度也随之增大的规律,且均以 T5 处理增幅最大,其中,T5 处理小白菜 P 含量增幅为 15.19%,T5 处理小白菜 K 含量增幅为 18.86%;小白菜 N、P、

K 吸收量也对应表现出随着沼液用量提高而增加的规律。这是因为沼液中含有丰富的营养物质和大量的生长素、赤霉素、维生素等生物活性物质,这类活性物质既可以促进植物根系发育,也有助于植物体内的氮代谢,能增强植株的抗病能力^[15],施用沼液后,可以降低土壤容重,提高土壤饱和导水率和持水量^[16],土壤微生物分解转化土壤中迟效养分,增加土壤中 N、P、K 的有效性,有利于小白菜对 N、P、K 的吸收^[17],提高产量。

表 4 施用沼液对小白菜生长和营养元素吸收的影响

Table 4 Effects of biogas slurry on the growth and nutrient elements uptake of Chinese cabbage

处理 Treatment	生物量/ $g \cdot 盆^{-1}$ Biomass	N 含量/% N content	P 含量/% P content	K 含量/% K content	N 吸收量/ $g \cdot 盆^{-1}$ Uptake of N	P 吸收量/ $g \cdot 盆^{-1}$ Uptake of P	K 吸收量/ $g \cdot 盆^{-1}$ Uptake of K
CK	138.37±9.32 ^c	2.54±0.02 ^d	0.237±0.005 ^c	2.28±0.14 ^b	3.51±0.25 ^d	0.32±0.03 ^d	3.16±0.35 ^c
T1	150.87±20.58 ^{bc}	2.65±0.07 ^{cd}	0.240±0.010 ^c	2.39±0.09 ^b	3.99±0.47 ^{cd}	0.36±0.05 ^{cd}	3.59±0.48 ^{bc}
T2	168.23±19.82 ^b	2.74±0.10 ^{bc}	0.257±0.005 ^b	2.28±0.15 ^b	4.60±0.52 ^{bc}	0.43±0.05 ^{bc}	3.81±0.24 ^{bc}
T3	164.47±7.94 ^b	2.56±0.04 ^d	0.257±0.006 ^b	2.48±0.08 ^b	4.21±0.25 ^c	0.42±0.02 ^{bc}	4.09±0.31 ^b
T4	176.00±7.93 ^{ab}	2.87±0.11 ^b	0.267±0.005 ^{ab}	2.69±0.06 ^a	5.05±0.37 ^b	0.46±0.01 ^b	4.74±0.31 ^a
T5	193.80±9.66 ^a	3.04±0.06 ^a	0.273±0.005 ^a	2.71±0.09 ^a	5.88±0.20 ^a	0.54±0.04 ^a	5.25±0.36 ^a

2.4 不同沼液浇灌量对小白菜 Vc 含量的影响

蔬菜的品质中以维生素 C 最为重要,因为人体不能自身合成,需要从蔬菜和水果中摄取。其次是糖分,可溶性糖含量是影响蔬菜口感的主要因素之一,并对蔬菜采后贮藏、运输中的营养品质也有重要影响^[18]。

由图 1 可见, T5、T4 处理的小白菜 Vc 含量与对照相比存在显著差异, T5 处理 Vc 含量最高,比对照增加 74.27%,其余依次为 T4>T3>T1>T2>CK,分别为 40.23%、12.51%、4.51%和 3.35%。

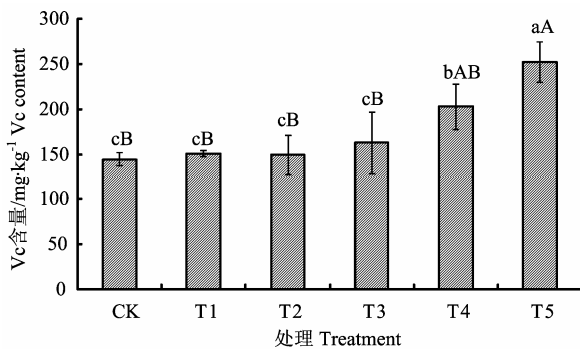


图 1 不同处理间小白菜 Vc 含量比较

Figure 1 Comparison the difference of Vc content between treatments

2.5 不同沼液浇灌量对小白菜可溶性糖含量影响

各处理对小白菜可溶性糖含量的影响如图 2 所

示, T5 处理可溶性糖含量增加最大,为 34.11%,与 CK 之间差异极显著。其他处理随沼液用量的减少对可溶性糖含量增幅依次降低,分别为 T4 (8.42%) > T3 (1.32%) > CK,其中 T1、T2 处理比对照分别降低了 0.20%及 1.22%。在适宜的范围内,氮肥用量对蔬菜糖分含量的影响随着施氮量的增加而增加^[18],本试验沼液处理中的氮素含量适宜小白菜生长,所以其可溶性糖含量增加。

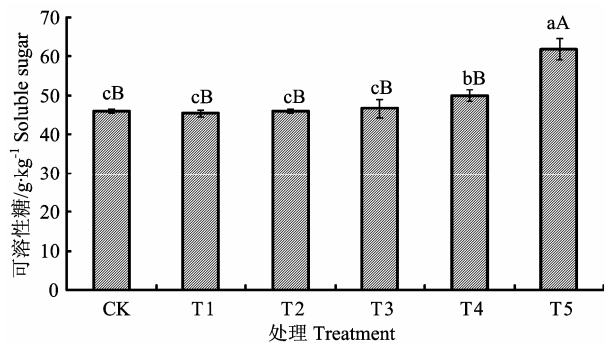


图 2 不同处理间小白菜可溶性糖含量比较

Figure 2 Comparison the difference of soluble sugar content between treatments

2.6 不同沼液浇灌量对小白菜重金属含量的影响

从表 5 看出,根据我国蔬菜食品安全标准及食品中污染物限量标准^[19],小白菜 Cr 和 Zn 含量在各处理中均存在超标现象,可能与此次试验土样 Cr、

Zn 含量较高有关,但在高沼液用量处理中 Cr、Zn 含量有一定程度提高,说明沼液施用影响了小白菜吸收重金属。小白菜 Cd 含量以 T4、T5 处理最高,与 CK 及 T1、T2、T3 处理相比差异显著,并且超出蔬菜食品安全标准,说明大量消解沼液时还需要进一步考虑重金属 Cr、Zn、Cd 在蔬菜中的积累问题。另外,在小白菜各处理 Cd、Cr 和 Ni 含量比较中,发现在低沼液用量 T1、T2、T3 处理中 Cd、Cr

和 Ni 含量均低于 CK,这可能与沼肥中含有大量有机质,有机质的强力吸附以及腐殖质分解形成的腐殖酸可与土壤中的重金属离子形成络合物,从而达到降低植物对重金属吸收有关。而在高沼液用量 T4、T5 处理中,Cd、Cr、Ni、Cu 和 Zn 含量相比低用量沼液处理都有一定程度增加,可能与随沼液进入土壤的重金属量较高有关。

表 5 施用沼液对小白菜重金属含量的影响
Table 5 Effects of biogas slurry on the heavy metal content in Chinese cabbage mg·kg⁻¹

处理 Treatment	重金属含量 Content of heavy metal					
	Cd	Cr	Pb	Ni	Cu	Zn
CK	0.035±0.003 ^b	2.85±0.52 ^b	ND	3.38±0.29 ^{ab}	3.57±0.82 ^c	35.10±8.66 ^b
T1	0.034±0.003 ^b	2.65±1.00 ^b	ND	3.36±0.49 ^{ab}	5.91±0.09 ^b	36.87±6.26 ^b
T2	0.031±0.005 ^b	1.46±0.38 ^c	ND	2.41±0.33 ^c	5.34±1.27 ^b	34.58±4.12 ^b
T3	0.035±0.008 ^b	1.95±0.09 ^{bc}	ND	2.56±0.21 ^{bc}	3.82±0.14 ^c	35.80±2.83 ^b
T4	0.050±0.001 ^a	1.72±0.29 ^{bc}	ND	3.74±0.22 ^a	9.83±0.42 ^a	52.05±5.81 ^a
T5	0.056±0.010 ^a	4.82±0.80 ^a	ND	4.19±0.80 ^a	9.40±0.58 ^a	46.48±9.16 ^{ab}
GB	≤0.05	≤0.5	≤0.3	-	≤10	≤20

注: ND 表示未检出, Pb 最低检出限为 0.01 mg·kg⁻¹。Note: ND represents not detected, and the LOD of Pb is 0.01 mg·kg⁻¹。

3 结论

采用规模化的畜禽养殖场粪便发酵后的沼液灌溉,对土壤和植株均有一定的正面影响。本试验结果表明,各处理不同程度地提高了土壤的 pH,有效地防止了土壤的酸化。土壤有机质、碱解 N、速效 K 含量均与沼液的施用量呈正相关, r 值分别为 0.618、0.637 和 0.710 ($P<0.01$)。各处理的速效磷含量没有表现出显著差异;重金属含量各处理差异不大,且都在农田、蔬菜地国家土壤环境质量标准允许范围内,说明本试验设计中沼液最高用量条件下(1 080 t·hm⁻²),单季施用沼液土壤质量是安全的。但沼液长期灌溉对土壤质量的影响还有待进一步研究。

施用沼液能显著提高小白菜产量,各处理与 CK 间均存在显著差异 ($P<0.05$),小白菜生物量与沼液施用量呈正相关, r 值为 0.965 7 ($P<0.01$),趋升斜率为 0.465 1;促进小白菜对矿质元素的吸收,提高小白菜 Vc、可溶性糖含量;各处理小白菜的 Cr 和 Zn 含量均超标,T4、T5 处理小白菜 Cd 含量与 CK 及 T1、T2、T3 处理差异明显,并且高于 0.05 mg·kg⁻¹ 的允许标准,说明当沼液施用超过一定量时,沼液中的重金属会在土壤和植物系统造成不同程度的累积,从而对土壤和植物产生一定的环境压力^[20]。在本次试验中,受土壤影响,小白菜 Cr、Zn

含量在各处理中均超标,沼液最高用量条件下(1 080 t·hm⁻²),小白菜 Cd 含量超标,且小白菜 Cr、Zn 含量有一定程度增长,说明大量消解沼液时还需要进一步考虑重金属 Cr、Zn、Cd 在蔬菜中的积累问题。

参考文献:

- [1] 刘荣厚,郝元元,叶子良,等.沼液发酵工艺参数对沼液及沼液成分影响的实验研究[J].农业工程学报,2006,22(S1): 85-88.
- [2] 倪亮,孙广辉,罗光恩,等.沼液灌溉对土壤质量的影响[J].土壤,2008,40(4): 608-611.
- [3] 王卫平,朱凤香,陈晓,等.沼液农灌对土壤质量和青菜产量品质的影响[J].浙江农业学报,2010,22(1): 73-76.
- [4] 王远远,刘荣厚,沈飞,等.沼液作追肥对小白菜产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2008(1): 220-222,242.
- [5] 李泽碧,王正银,李清荣,等.沼液、沼渣与化肥配施对茼蒿产量和品质的影响[J].中国沼气,2006,24(1): 27-30.
- [6] 蒋华,王忠义,李忠碧,等.沼液对番茄、萝卜、芹菜、豇豆产量及品质的影响[J].贵州农业科学,2007,35(2): 99-100.
- [7] Möller K, Stinner W. Effects of organic wastes digestion for biogas production on mineral nutrient availability of biogas effluents[J]. Nutr Cycl Agroecosyst, 2010, 87: 395-413.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [9] 水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [10] 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(S): 172-175.
- [11] 覃舟. 施用沼液对紫甘蓝产量、营养品质及土壤质量的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(7): 83-86.
- [12] 吴飞龙, 叶美锋, 林代炎, 等. 不同沼液施用量下象草养分利用效率和土壤养分含量的变化研究[C]//第3届全国农业环境科学学术研讨会. 2009, 10: 158-163.
- [13] 国家环境保护局南京环境科学研究所. 土壤环境质量标准. 中华人民共和国国家标准(GB15618-1995)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [14] Möller K, Stinner W, Deuker A, et al. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems[J]. Nutr Cycl Agroecosyst, 2008, 82(3): 209-232.
- [15] 董晓涛. 沼液对果菜类蔬菜生长发育调控机制研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2004.
- [16] Garg R N, Pathak H, Dasi D K, et al. Slurry for improving wheat yield and physical properties of soil[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2005, 107(1/3): 1-9.
- [17] 孙羲. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988.
- [18] 李梦梅. 生物有机肥对提高蔬菜产量品质的作用机理研究[D]. 南宁: 广西大学, 2005.
- [19] GB2762-2005. 食品中污染物限量标准[S]. 2005
- [20] 赵麒淋, 伍钧, 陈璧瑕, 等. 施用沼液对土壤和玉米重金属累积的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 251-255.