

华北小白菜产量、氮素利用及品质对沼液的响应

胡正江¹, 王昭晴², 赵自超^{2*}

(1. 山东省桓台县农业农村局, 山东 桓台 256400; 2. 农业农村部废弃物基质化利用重点实验室, 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东 济南 250100)

摘要: 为探究沼液替代化肥对蔬菜产量、氮素利用和品质的影响, 评估沼液在蔬菜上的应用效果, 以华北小白菜为试验对象, 通过盆栽试验设置不施氮肥 (CK)、农户习惯施肥 (CF) 以及 6 个沼液 (BF) 处理。结果显示: 沼液处理相比化肥提高了小白菜产量和氮素利用率, 产量增加了 3.5%~52.0%, 氮素利用率提高了 17.8~33.1 个百分点; 相对于化肥, 施用沼液能显著提高小白菜的品质; 综合来看 BF4 (氮素减量 16.3%) 的效果最好。结论表明, 适量沼液可以完全替代化肥用于小白菜的生产。

关键词: 沼液; 小白菜; 产量; 氮素利用; 品质

中图分类号: S216.4; X53 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2022)03-0024-05

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2022030024

Response of Chinese Cabbage Yield, Nitrogen Utilization and Quality to Biogas Slurry in North China / HU Zhengjiang¹, WANG Zhaoqing², ZHAO Zichao^{2*} / (1. Agricultural Bureau of Hantai County, Hantai 256400, China; 2. Key Laboratory of Wastes Matrix Utilization, Ministry of Agriculture and Rural, Institute of Agricultural Resource and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: The present study aimed to better understand the effects of applying biogas slurry on Chinese cabbage yield, nitrogen (N) use efficiency and quality. A pot experiment consisting of one treatment without N fertilizer (CK), farmer's conventional N fertilizer input (CF) and six treatments with different application rate of biogas slurry N fertilizer was conducted. Compared to the conventional chemical fertilizer treatment, the application of biogas slurry treatments increased Chinese cabbage yield and the nitrogen use efficiency by 3.5%~52.0% and 17.8~33.1 percentage points, respectively. The application of biogas slurry treatments significantly improved Chinese cabbage quality, compared with the conventional chemical fertilizer treatment, and the effect of BS2 was the best. Application of biogas slurry promoted the absorption of nutrients in lettuce. Overall, BF4 treatment had the best effect. The comprehensive analysis suggested that applying the suitable amount of biogas slurry is an effective way to produce Chinese cabbage.

Key words: biogas slurry; Chinese cabbage; yield; nitrogen utilization; quality

2021 年中央一号文件强调, 要进一步推进农业绿色发展, 持续推进化肥减量增效, 加强畜禽粪污资源化利用。沼气工程是目前最具前景的畜禽粪污资源化利用方式之一, 不仅可以高效处理畜禽粪污, 还可以产生清洁能源(沼气), 但是产生的大量沼液不好处理, 沼液利用一直是个难题^[1-2]。已有研究表明, 沼液富含蔬菜生长所需要的养分、微量元素和维生素等营养物质, 用沼液替代部分化肥不仅可以提高蔬菜产量和品质, 还能改善土壤理化和生物特征^[3-4]。笔者认为沼液是可以完全替代化肥用于蔬

菜的生产, 但是用量、用法以及应用效果还需进一步研究。因此, 以华北种植面积比较大的叶菜类蔬菜小白菜为研究对象, 研究其产量、氮素利用以及品质对不同量沼液施用的响应。以期评价沼液在小白菜上的应用效果, 为实现蔬菜绿色发展、化肥减量增效提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

室内试验于 2020 年 3 月至 2020 年 5 月在山东

收稿日期: 2022-02-07 修回日期: 2022-03-14

项目来源: 山东省大科学计划项目(优势特色主导产业发展专项)(2018-001); 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ020)。

作者简介: 胡正江(1966-)男, 山东桓台人, 高级农艺师, 主要从事农业技术推广工作, E-mail: 2565568369@qq.com

通信作者: 赵自超, E-mail: 2008zcc@163.com

省农业科学院日光温室内进行。

1.2 试验材料

1.2.1 试验用盆

试验采用盆栽试验,试验用盆的尺寸为:30 cm 长、14 cm 宽和 10 cm 高。

1.2.2 供试土壤

供试土壤是华北典型的潮土,取自山东省淄博市桓台县,其基础理化性状如下:容重为 $1.31 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, pH 值为 7.8,有机质含量为 $15.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮含量为 $51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量 $28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $145 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,取回后风干过筛备用。

1.2.3 供试肥料

试验用化肥为单质肥料,氮肥为尿素(46% N),磷肥为过磷酸钙(12% P_2O_5),钾肥为硫酸钾(50% K_2O);试验所用沼液取自山东省淄博市临淄区一大型沼气工程,原料为牛粪和猪粪,沼液的 pH 值和电导率分别为 8.6 和 $12.2 \text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$,全氮(N)、磷(P_2O_5)和钾(K_2O)含量分别为 $2200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $670 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1555 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

试验设置 8 个处理,分别为不施氮肥处理(CK),农民习惯施肥处理(化肥,CF)和 6 个不同量沼液处理(BF),每个处理 3 次重复,共 24 盆。每盆装土 5.28 kg (风干重)。试验开始前调节土壤含水量至田间持水量,预培养一周。化肥处理(CF)的 N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥量分别为每盆 0.352 g 、 0.352 g 和 0.318 g ,相当于大田的 N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥量分别为 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $135 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,氮肥分两次平均施用,基肥和追肥各 1 次,随水施用磷钾肥全部作为基肥;CK 处理只施用磷肥和基肥,全部作为基肥。沼液各处理的氮施用量分别为每盆 0.176 g (BF1)、 0.220 g (BF2)、 0.2508 g (BF3)、 0.2948 g (BF4)、 0.352 g (BF5)和 0.440 g (BF6),所有沼液处理分两次稀释后浇灌,基肥和追肥各 1 次,基追比 1:1。所有处理的磷钾肥施用量一致,沼液磷钾不足部分,化肥补充。小白菜每盆定植 6 棵。定植前施肥 1 次,生长旺期追肥 1 次。每次施肥时,每盆的沼液+清水总量一致(见表 1)。试验期间采取的其它管理措施,诸如防病、防虫、灌溉等各处理严格一致。

1.3.2 指标测定与计算

小白菜采收时沿着土壤上部平割,测定小白菜

表 1 不同处理施肥时每盆的沼液和清水浇灌量

| 处理组 | 沼液/mL | 清水/mL | 施 N 量/($\text{mg}\cdot\text{盆}^{-1}$) |
|-----|-------|-------|---|
| CK | 0 | 400 | 0 |
| CF | 0 | 400 | 176 |
| BF1 | 40 | 360 | 88 |
| BF2 | 50 | 350 | 110 |
| BF3 | 57 | 343 | 125.4 |
| BF4 | 67 | 333 | 147.4 |
| BF5 | 80 | 320 | 176 |
| BF6 | 100 | 300 | 220 |

鲜重。采收的新鲜小白菜分成两份,一份用来测定品质指标,另一份烘干后测定含氮量和含水率,用来计算氮素利用率(NUE)。

表征小白菜的品质指标主要有维生素 C (VC)、硝酸盐、可溶性糖和可滴定酸含量,其中采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定 VC 含量,采用 3,5-二硝基水杨酸显色法测定硝酸盐含量,萘酚比色法测定可溶性含量,NaOH 滴定法测定可滴定酸含量^[5]。小白菜氮含量和含水率分别采用凯氏定氮法和烘干法测定^[6]。

各处理的氮素利用率采用以下公式计算^[7]:

$$\text{NUE}(\%) = (\text{施氮肥处理的氮吸收量} - \text{不施氮肥处理的氮吸收量}) / \text{氮肥施用量} \times 100\%$$

1.3.3 统计分析

数据分析和绘图利用 Microsoft Excel 2016 软件进行,利用 SPSS 22.0 软件对数据进行差异显著性检验(Duncan 法, $\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 沼液施用对小白菜产量的影响

如图 1 所示,相比不施氮肥处理,施氮肥可以显著增加小白菜产量(鲜重)。与化肥处理相比,即使多个沼液处理降低了施氮量,也没有降低小白菜的产量,其中 BF3、BF4、BF5 和 BF6 处理相比 CF 处理显著增加了小白菜产量,增幅分别为 25.9%、40.0%、52.0% 和 34.2%。

从沼液对于小白菜产量的影响来看,并不是沼液施用量越多,小白菜产量越高,从图 2 可以看出小白菜产量与沼液施用量呈一元三次函数关系,沼液施用量的变化可以解释 99.1% 的小白菜产量变化。

从图 3 可以看出,各处理的小白菜干物质积累

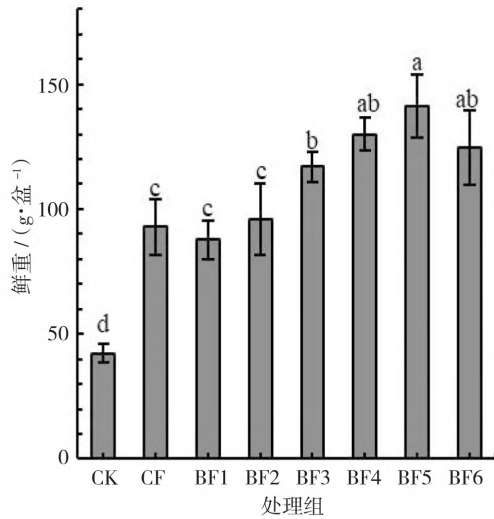


图1 沼液对小白菜产量(鲜重)的影响

注:不同小写字母表示不同处理在 $p < 0.05$ 水平差异显著,下同。

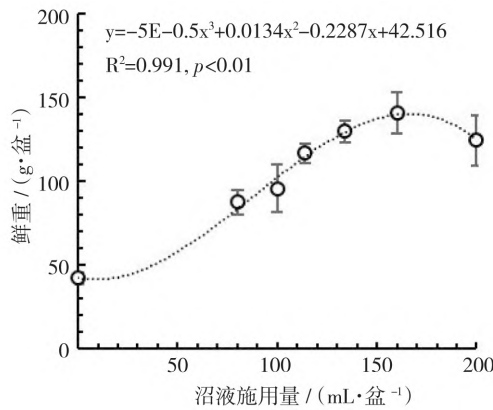


图2 沼液施用量与小白菜产量的相互关系

量与小白菜产量的变化趋势相同,但只有 BF4、BF5 和 BF6 处理相比 CF 处理显著增加了小白菜干重,分别增加了 23.3%、34.9% 和 31.6%。

同样的,小白菜干物质质量与沼液施用量呈一元

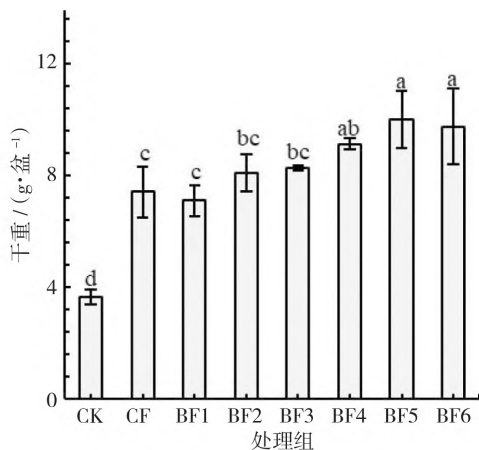


图3 沼液对小白菜干物质质量积累的影响

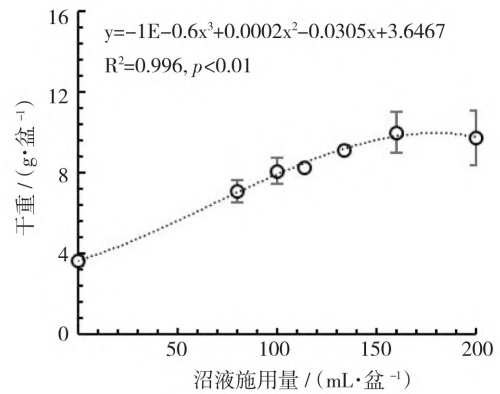


图4 沼液施用量与小白菜干重的相互关系

三次函数关系(见图4),沼液施用量的变化可以解释 99.6% 的小白菜干重变化。

2.2 沼液施用对小白菜氮素利用率的影响

从图5可以看出,相比化肥处理,沼液处理显著增加了小白菜氮素利用率。相比 CF 处理,BF1、BF2、BF3、BF4、BF5 和 BF6 处理的 NUE 分别提高 17.8、20.2、33.1、27.7、21.9 和 19.0 个百分点。

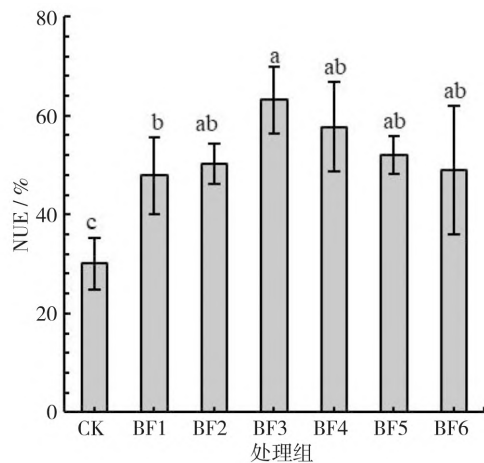


图5 沼液对小白菜氮素利用率(NUE)的影响

2.3 沼液施用对小白菜品质的影响

从表2可以看出,沼液施用并没有降低小白菜的 VC 含量,部分沼液处理辅助提高了小白菜 VC 含量;与 CF 处理相比,低量沼液处理 BF1、BF2、BF3 和 BF4 显著增加了小白菜 VC 含量,增幅分别 44.0%、10.3%、42.3% 和 7.4%。与 VC 含量变化不同的,低量沼液处理 BF1、BF2、BF3 和 BF4 相比 CF 处理显著降低了小白菜硝酸盐含量(见表2),分别下降了 43.6%、29.3%、23.1% 和 20.3%。高量沼液处理 BF6 则显著增加了小白菜硝酸盐含量,增幅达 70.3%。与小白菜 VC 含量变化相同的是,沼液

施用会提高小白菜可溶性糖含量,并且还会随着沼液施用量的增加而增加;与CF处理相比,BF1、BF2、BF3、BF4、BF5和BF6处理的可溶性糖含量分别增加了22.5%、26.1%、31.7%、37.8%、50.0%和84.1%。与小白菜可溶性糖含量变化相反的是,沼液施用会降低小白菜的酸度;BF1、BF2、BF3、BF4、BF5和BF6处理与CF处理相比,可滴定酸的含量

分别减少了15.6%、12.4%、7.0%、12.4%、29.2%和23.4%。由于沼液处理增加了小白菜可溶性糖含量和降低了小白菜的可滴定酸含量,因而沼液施用大幅度增加了小白菜的糖酸比,与CF处理相比,BF1、BF2、BF3、BF4、BF5和BF6处理的糖酸比增幅分别达到了45.3%、44.0%、41.8%、57.4%、112%和140%。综上,沼液施用可以显著改善小白菜的品质。

表2 沼液施用对小白菜品质的影响

| 处理组 | VC含量 (mg·100g ⁻¹) | 硝酸盐含量 (mg·kg ⁻¹) | 可溶性糖含量 % | 可滴定酸含量 % | 糖酸比 |
|-----|----------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| CK | 20.9 ± 0.11c | 162 ± 5.49e | 0.20 ± 0.03d | 0.98 ± 0.04bc | 0.21 ± 0.04c |
| CF | 27.4 ± 1.75b | 323 ± 18.9b | 0.27 ± 0.02cd | 1.11 ± 0.05a | 0.25 ± 0.02c |
| BF1 | 39.4 ± 0.37a | 182 ± 19.0de | 0.34 ± 0.05bc | 0.94 ± 0.05c | 0.36 ± 0.04b |
| BF2 | 30.4 ± 2.26a | 229 ± 11.1cd | 0.35 ± 0.03bc | 0.98 ± 0.06bc | 0.35 ± 0.02b |
| BF3 | 38.9 ± 5.93a | 249 ± 27.2c | 0.36 ± 0.08bc | 1.04 ± 0.03ab | 0.35 ± 0.08b |
| BF4 | 29.4 ± 1.66a | 258 ± 10.5c | 0.38 ± 0.05b | 0.98 ± 0.02bc | 0.39 ± 0.05b |
| BF5 | 27.6 ± 2.87b | 372 ± 21.7b | 0.41 ± 0.04b | 0.79 ± 0.06d | 0.52 ± 0.05a |
| BF6 | 27.1 ± 1.48b | 552 ± 74.6a | 0.51 ± 0.08a | 0.85 ± 0.05d | 0.59 ± 0.08a |

3 讨论

近些年来,在蔬菜栽培中沼液的应用越来越广泛,研究表明沼液能充当有机肥,可以改善蔬菜栽培环境,并且基本能够满足叶菜正常生产对肥料的需求^[8-10]。试验的研究结果表明,相比化肥,沼液不仅可以增加小白菜产量,还能大幅度提高氮素利用率,这恰恰验证了上述观点。

研究的结果还表明,施用沼液可以显著提高小白菜的品质,这与其它研究的结果一致。引起这种现象的原因可能是:沼液施入到土壤后,能够提高蔬菜根际土壤的酶活性和微生物数量,进而提高蔬菜品质^[11-12]。

研究表明,相比化肥,在施用沼液在提高小白菜产量的同时,还提高了小白菜氮素利用率;其中低氮量处理(BF3和BF4)综合表现效果较好,这不仅降低了氮素施用量(16.3%~28.8%),这有可能会进一步降低土壤N₂O和NH₃排放以及氮素淋失,从而降低由于氮素施用引起的环境污染等问题^[13-14]。沼液不仅能完全替代化肥,还能节约一些灌溉水,沼液施用还会增加土壤有机碳^[15]。综上,沼液施用有助于国家“双碳战略”的实施。

4 结论

与化肥相比,沼液减氮施用可提高小白菜的产量、氮素利用率和品质。综上,利用沼液替代全部化肥生产小白菜是推进化肥减量增效的有效途径,对于推动粪污资源化利用以及蔬菜产业绿色发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 甘福丁,唐健,王会利,等。“碳中和”目标下农村沼气工程发展机遇与对策[J].现代农业科技,2021(17):157-160.
- [2] 金小琴.大中型沼气工程发展存在的问题及对策研究[J].南方农业,2020,14(27):170-171.
- [3] 尹鹏,张辉文,刘宏达,等.4省市沼渣沼液养分含量和重金属分析[J].中国沼气,2021,39(05):43-50.
- [4] 孟清波,马万成,张谨薇,等.沼渣沼液对辣椒矿质养分、产量及土壤特性的影响[J].中国瓜菜,2021,34(12):77-81.
- [5] 赵自超,付龙云,王昭晴,等.沼液追施对设施甜椒产量、品质及养分吸收的影响[J].中国沼气,2018,36(04):85-88.
- [6] 赵自超,辛淑荣,张海兰,等.尾菜沼液对基质栽培

- 生菜产量和品质的影响[J]. 中国沼气, 2020, 38(03): 82-85.
- [7] 田昌玉, 林治安, 徐久凯, 等. 有机肥氮素利用率的几种典型计算方法比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(10): 1909-1916.
- [8] 董志胜, 韩有国, 宋海萍, 等. 沼液肥对设施番茄生长及土壤养分的影响分析[J]. 中国果菜, 2021, 41(08): 61-64.
- [9] 叶巧丽, 姚光伟, 徐来源, 等. 不同用量沼液对茭白生长、产量及土壤理化性质的影响[J]. 蔬菜, 2021(06): 35-38.
- [10] 钟艳, 欧阳慧, 孙加焱. 沼液在青菜无土栽培中的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2021(11): 67-68.
- [11] 杨子峰, 陈伟强, 王伟, 等. 沼液施用对西兰花耕作土壤微生物特性的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(29): 112-115.
- [12] 张静霞, 邵泽强, 张晋京. 不同有机基质对大白菜产量、品质和重金属含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(03): 325-331.
- [13] 杨荣全, 曹飞, 李迎春, 等. 不同施肥处理对华北露天菜地氮素淋溶的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(06): 130-137.
- [14] 山楠, 韩圣慧, 刘继培, 等. 不同肥料施用对设施菠菜地 NH_3 挥发和 N_2O 排放的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(10): 4705-4716.
- [15] 袁晶晶, 齐学斌, 赵京, 等. 生物炭配施沼液对土壤团聚体及其有机碳分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022 41(01): 80-86.