

李兆鹏, 徐延平, 王官隆, 等. 沼肥与化肥配施对生姜产量、品质及抗逆性的影响[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(4): 683-691.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.04.007

沼肥与化肥配施对生姜产量、品质及抗逆性的影响

李兆鹏¹, 徐延平¹, 王官隆¹, 张鹏², 张燕¹, 张苗苗¹, 朱晓利¹, 李乃成¹
(1. 潍坊理工学院现代农业与环境学院, 山东 潍坊 261000; 2. 山东省土地集团潍坊有限公司, 山东 潍坊 261000)

摘要: 为了给沼肥(沼液、沼渣)与化肥配施应用于生姜种植技术提供依据,本研究以山农1号为试验材料,设置只施用化肥(CK)、20%沼液+80%化肥(T1处理)、50%沼液+50%化肥(T2处理)、80%沼液+20%化肥(T3处理)及50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥(T4处理)等处理,分析其对生姜产量、品质及旺盛生长期抗逆性的影响。结果表明,除T3处理外,所有处理产量均显著高于CK,其中又以T2处理产量最高。沼渣基肥对生姜品质的改善最为明显,其中T4处理生姜块茎可溶性糖、抗坏血酸及姜辣素含量均较CK显著提高。随着沼肥施用比例的增加,T4处理生姜块茎内硝酸盐含量显著下降。除T3处理外,所有处理均可提高生姜旺盛生长期的抗逆性,表现为超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性显著升高及类黄酮类物质大量积累。但是沼液施用比例达到80%时,生姜叶片丙二醛含量显著升高,谷胱甘肽含量及过氧化氢酶活性显著下降,表明生姜发生膜脂过氧化反应,抗逆性下降。综上所述,施用50%沼液+50%化肥可获得最佳生姜产量,50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥栽培的生姜品质最佳。

关键词: 生姜; 沼液; 沼渣; 产量; 品质; 抗逆性

中图分类号: S632.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2025)04-0683-09

Effects of combined application of biogas fertilizer slurry with chemical fertilizers on yields, quality and stress resistance of ginger

LI Zhaopeng¹, XU Yanping¹, WANG Guanlong¹, ZHANG Peng², ZHANG Yan¹, ZHANG Miaomiao¹, ZHU Xiaoli¹, LI Naicheng¹

(1. College of Modern Agriculture and Environment, Weifang Institute of Technology, Weifang 261000, China; 2. Shandong Tudi Group-Weifang Co., Ltd., Weifang 261000, China)

Abstract: To provide a basis for the application of combined use of biogas fertilizer (biogas slurry and biogas residue) and chemical fertilizers in ginger cultivation technology, Shannong No.1 ginger was selected as the experimental material, and treatments were set as follows: CK (chemical fertilizers only), T1 treatment (20% biogas slurry + 80% chemical fertilizers), T2 treatment (50% biogas slurry + 50% chemical fertilizers), T3 treatment (80% biogas slurry + 20% chemical fertilizers), and T4 treatment (50% biogas slurry + 50% chemical fertilizer + biogas residue as a substitute for base fertilizer). These treatments were designed to evaluate the effects of biogas slurry and biogas residues on the yield, quality, and stress resistance during the vigorous growth stage of ginger. The results showed that the yields of all treatments (except for T3 treatment) were significantly higher than that of CK, with the highest yield observed in T2 treatment. The application of biogas residues as a base fertilizer had the most obvious impact on ginger quality. In T4 treatment, the contents of soluble sugar, ascorbic acid, and gingerol in ginger rhizomes were significantly higher than those in CK. As the proportion of biogas slurry increased, the nitrate content in ginger rhizomes decreased significantly un-

收稿日期: 2024-09-18

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2023QC326); 山东省重点研发计划项目(2023TZXD028); 山东土地集团横向项目(2022-KJHX-03)

作者简介: 李兆鹏(1994-), 男, 山东潍坊人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为植物保护。(E-mail) 15666085797@163.com

通讯作者: 李乃成, (E-mail) linaicheng23@163.com

decreased significantly un-

der T4 treatment. Except for T3 treatment, all the other treatments could improve the stress resistance of ginger during its vigorous growth stage, characterized by increased activities of superoxide dismutase (*SOD*) and catalase (*CAT*), as well as the accumulation of flavonoids. However, when the proportion of biogas slurry reached 80%, the content of malondialdehyde (*MDA*) in ginger leaves increased significantly, while the content of glutathione (*GSH*) and the activity of *CAT* declined, indicating that lipid peroxidation occurred in ginger and the stress resistance reduced. In summary, the optimal application method for maximizing ginger yield was 50% biogas slurry + 50% chemical fertilizer (T2). For improving ginger quality and stress resistance, the best application method is 50% biogas slurry + 50% chemical fertilizer + biogas residue as a substitute for base fertilizer.

Key words: ginger; biogas slurry; biogas residue; yield; quality; stress resistance

随着中国养殖业规模化、集约化的发展,由畜禽粪污发酵产生的沼液、沼渣量急剧增加,如何实现该副产物的资源化利用已经成为亟待解决的问题。沼液、沼渣(统称为沼肥)是畜禽粪污、作物秸秆厌氧发酵产物的副产物,其内含有植物生长所必需的营养元素,比如生长素、氨基酸等物质,是一种优质的有机肥料^[1-2]。沼肥可提高种子萌发率^[3]、防控作物病虫害并提高作物抗病性^[4-5]、改善土壤环境、促进作物生长、提高农作物品质^[6-8]。然而,沼肥施用存在施用量是否适宜及安全阈值问题,过量施用会对环境造成污染,甚至抑制植物生长,导致农作物减产^[9]。此外,沼肥内养分比例不均衡,各养分含量受原料影响较大,其内含有大量的可溶性盐类,单独施用沼肥难以满足作物的养分需求^[10]。因此,采用沼肥与化肥配施才能保障作物的良好生长,明确二者间的施用比例依然是当今研究的热点之一^[6]。

果蔬类作物需肥量大,施肥频次高,采用沼肥与化肥配施不仅可以显著降低化肥投入量,亦可以高效解决沼肥消纳问题,改善作物的品质。沼肥对作物的肥效与其施用比例、施用方法及目标作物密切相关。例如,50%沼肥追施处理的甜瓜果实内糖度、硬度及维生素 C 含量最佳^[11]。低浓度沼液(50%)和高浓度沼液(80%)均可显著提高黄芪叶片超氧化物歧化酶(*SOD*)及过氧化氢酶(*CAT*)活性,但是100%沼液则会导致二者活性显著下调,黄芪抗逆性降低^[3]。采用80%沼液滴灌处理后,杨梅单果重、还原性糖含量显著升高,且比叶重显著增加^[12]。Zheng 等^[13]分析了沼液3种不同的灌根施用方式对番茄产量及品质的影响,指出根系分区交替灌溉的方式为番茄最佳的沼液施用方案,其果实内可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量最高。除却对作物的改善作用,沼液滴灌亦可以提升耕地速效养分及土壤有机质含量^[14-15]。

中国是世界上生姜(*Zingier officinale* Roscoe.)种植面积最大且产量最多的国家。作为鳞茎类蔬菜的代表,生姜喜肥沃土壤,水肥需求量极大,其产量、品质与施肥水平显著相关^[16]。因此,生姜拥有极好的沼肥应用前景。研究结果显示,一定比例的沼液追施可有效提高生姜的株高、单株重等农艺性状,且对生姜产量亦存在显著促进效应^[17]。Ahmad 等^[18]的研究结果显示,沼液与改良后的蚯蚓粪混施有助于提高生姜在盐碱土壤环境中的产量,促进生姜叶片内叶绿素、蛋白质等物质的积累。肖静^[19]分析了不同沼液施用量对生姜产量及部分品质指标的影响,结果表明,每667 m²沼液施用量达到2 000 kg 时可显著提高生姜可溶性蛋白含量、姜辣素含量及抗坏血酸含量。然而,先前的研究多关注于沼液定量施用对生姜产量、品质的影响,关于沼肥与化肥配施及沼液、沼渣联用对生姜品质及抗逆性影响的系统化研究尚显匮乏。鉴于此,本研究拟采用沼液替代追肥、沼渣替代底肥等多种施肥方式,研究沼肥对生姜产量、品质及三股杈期抗逆性的影响,以期为后续沼肥应用于生姜种植技术提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

试验地位于山东省潍坊市大盛镇汶水有机农业产业园(36° 18' 24" N, 118° 50' 2" E),年平均气温为12 ℃,年平均降雨量377 mm。试验区土壤理化性质如下,土壤 pH 值5.37,电导率138.60 mS/cm,碱解氮含量54.67 mg/kg,有效磷含量137.57 mg/kg,速效钾含量68.43 mg/kg,有机质含量3.09 g/kg。

1.2 试验材料

供试生姜品种为山农1号,购自寿光寿禾种业公司。供试沼液及沼渣来自山东禄禧大盛环保科技有限公司,发酵原料为鸭粪,所取沼液为精滤沼

液,经固液分离后采用 200 目滤膜进行二次精滤,静置 3 个月以上,沼液和沼渣的理化性质见表 1。

表 1 供试沼液及沼渣的理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of biogas slurry and residue

指标	沼液	沼渣
pH	8.120	7.190
电导率(EC)(mS/cm)	27.200	4 300.000
化学需氧量(COD)(mg/L)	13 886.000	4 982.000
总氮(TN)含量(%)	0.251	0.748
总磷(TP)含量(%)	0.030	0.024
总钾(TK)含量(%)	0.306	0.802
有机质(SOM)含量(g/kg)	5.350	484.100
铬(Cr)含量(mg/L)	0.231	24.900
铜(Cu)含量(mg/L)	0.009	34.200
锌(Zn)含量(mg/L)	0.943	164.500
砷(As)含量(mg/L)	0.006	4.000
镉(Cd)含量(mg/L)	0.001	0.100
铅(Pb)含量(mg/L)	0.015	8.100

1.3 试验方法

本试验为随机区组设计,设置对照与 4 个处理,3 次重复,各小区面积 222 m²。分别为:对照(CK),只施化肥;T1 处理,20%沼液+80%化肥,沼液替代 20%化肥氮;T2 处理,50%沼液+50%化肥,沼液替代 50%化肥氮;T3 处理,80%沼液+20%化肥,沼液替代 80%化肥氮;T4 处理,50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥,沼液替代 50%化肥氮,沼渣替代全部基肥的化肥氮。生姜于 2023 年 4 月 10 日播种,行距 65 cm,株距 22 cm,10 月 15 日收获。对照施用的氮肥为尿素(含氮量为 46%),磷肥为钙镁磷肥(P₂O₅含量为 12%),钾肥为氯化钾(K₂O 含量为 60%)。各处理内施肥量保持一致,总施肥量分别为 667 m² 纯氮 55 kg、P₂O₅ 30 kg 及 K₂O 70 kg,不足部分采用化肥进行补齐。其中沼渣采用基施方式一次性施用;沼液采用追肥方式施用,随各周期灌溉水施入,施用间隔 15 d 以上。其中基肥一次性施入,施入氮、磷、钾的量分别为 18.40 kg、12.00 kg 及 28.60 kg;幼苗期追施氮、磷、钾的量分别为 1.50 kg、0.70 kg 及 2.00 kg;三股权期追施氮、磷、钾的量分别为 10.00 kg、5.00 kg 及 10.00 kg;发棵期追施氮、磷、钾的量分别为 20.20 kg、9.80 kg 及 24.00 kg;根茎

膨大期追施氮、磷、钾的量分别为 4.90 kg、2.50 kg 及 5.40 kg。其他管理按常规方法执行。

1.4 指标的测定

1.4.1 生姜产量及品质的测定 生姜收获时,按小区计算产量,折算为公顷产量。采用考马斯亮蓝法测定生姜块茎可溶性蛋白(TP)含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖(TS)含量;采用水杨酸硝化比色法测定硝酸盐(TNC)含量;采用硝酸盐比色法测定类黄酮(TFC)含量^[20];采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定抗坏血酸(ASA)含量^[21];采用比色法测定姜辣素(TGC)含量^[22];采用水蒸气蒸馏法测定挥发油(TEOC)含量^[23]。

1.4.2 生姜抗氧化酶指标的测定 生姜三股权时期不仅是旺盛生长期的起始阶段,也是生姜病害暴发起始的时期。鉴于此,本研究于生姜三股权时期采集生姜自上往下第 3 片功能叶用于分析其抗氧化系统活性,用于代表该时期生姜抗病性。采用硫代巴比妥酸法测定生姜块茎丙二醛(MDA)含量;采用钼酸显色法测定过氧化氢(H₂O₂)含量及过氧化氢酶(CAT)活性;采用二硫代二硝基显色法测定还原型谷胱甘肽(GSH)含量^[21];采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚显色法测定过氧化物酶(POD)活性^[24]。

1.5 生姜块茎品质的综合评价

参照王馨笙等^[25]的生姜品质评价方案并稍加修改。均以各处理内各品质指标最佳值为 100 分,某处理中该指标占最佳处理值的百分数即为该处理的实际分值;各处理内所有品质指标得分之和即为该处理生姜品质的综合得分。其中,姜辣素及挥发油含量权重为 0.3,抗坏血酸含量权重为 0.2,可溶性蛋白及可溶性糖含量权重为 0.1,硝酸盐含量权重为-0.1。

1.6 数据分析

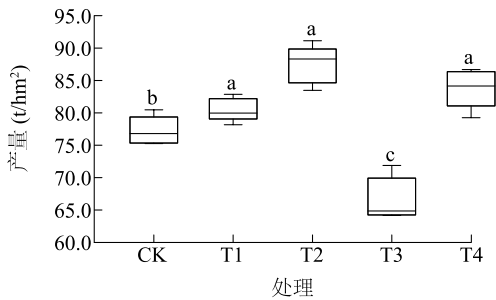
采用 Excel 2022 和 SPSS 22.0 进行数据统计分析,采用 Sigmaplot 12.0 制图。

2 结果与分析

2.1 沼肥与化肥配施对生姜产量的影响

不同处理的生姜产量见图 1。除 T3 处理组外,生姜收获时其余处理组产量较 CK 均有显著提升,其中 T2 处理产量最高,达到 87.5 t/hm²,单位小区最大产量高达 91.1 t/hm²,显著高于 CK ($P < 0.05$)。

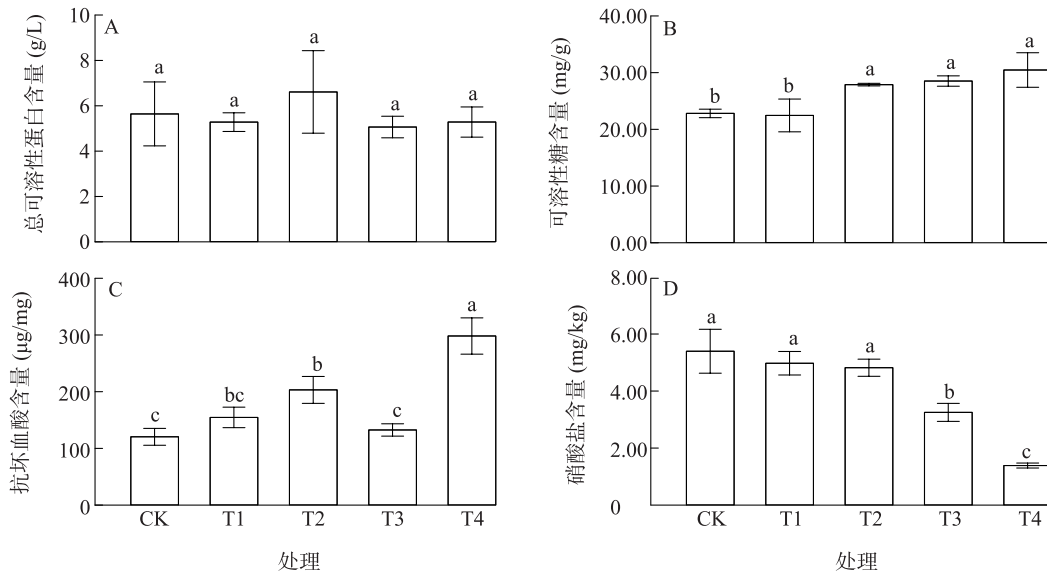
T3 处理的产量出现显著下降,为 70.8 t/hm²,仅为 CK 的 86.27%。



不同小写字母代表在 0.05 水平上存在显著差异。CK:对照,只施化肥;T1 处理:20%沼液+80%化肥,沼液替代 20%化肥氮;T2 处理:沼液 50%+50%化肥,沼液替代 50%化肥氮;T3 处理:80%沼液+20%化肥,沼液替代 80%化肥氮;T4 处理:50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥,沼液替代 50%化肥氮,沼渣替代全部基肥的化肥氮。

图 1 沼液、沼渣与化肥配施对生姜产量的影响

Fig.1 Effects of combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer on yields of ginger



不同小写字母代表在 0.05 水平上存在显著差异。CK:对照,只施化肥;T1 处理:20%沼液+80%化肥,沼液替代 20%化肥氮;T2 处理:沼液 50%+50%化肥,沼液替代 50%化肥氮;T3 处理:80%沼液+20%化肥,沼液替代 80%化肥氮;T4 处理:50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥,沼液替代 50%化肥氮,沼渣替代全部基肥的化肥氮。

图 2 沼液、沼渣与化肥配施对生姜块茎营养品质及食用安全的影响

Fig.2 Effects of combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer on nutritional qualities and food safety of ginger rhizome

2.3 沼肥与化肥配施对生姜块茎特殊功效成分含量的影响

沼肥与化肥配施对生姜特殊功效成分含量的

2.2 沼肥与化肥配施对生姜块茎营养及食用安全品质的影响

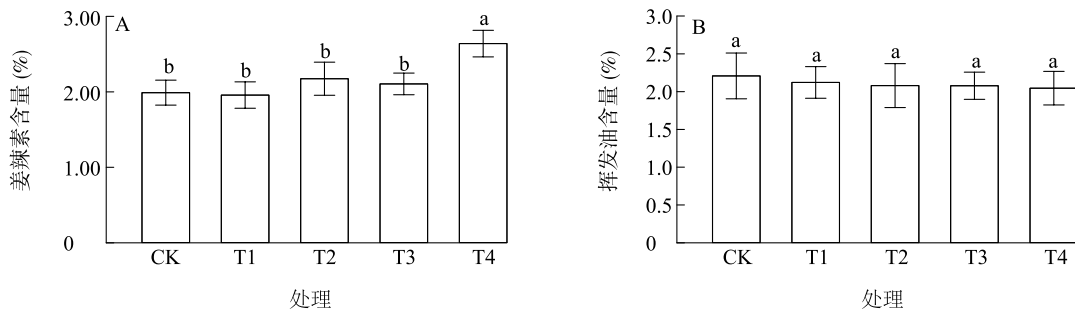
不同处理对生姜块茎营养成分及硝酸盐含量的影响见图 2。沼肥与化肥配施对生姜块茎内总可溶性蛋白含量的影响并不显著(图 2A)。沼肥与化肥配施对生姜块茎可溶性糖积累影响显著(图 2B)。随着沼液用量的增加,可溶性糖含量逐渐上升。其中 T4 组含量达到 30.47 mg/g,为 CK 的 1.34 倍。

由图 2C 可知,低用量的沼液(T1 处理)与化肥配施对生姜块茎抗坏血酸含量的影响并不显著。T2 处理的生姜块茎抗坏血酸含量显著升高,为 203 µg/mg;T4 处理抗坏血酸含量达到峰值,高达 298 µg/mg ($P < 0.05$),为 CK 的 2.48 倍,表明沼液及沼渣与化肥配施对生姜块茎抗坏血酸的合成与积累存在显著的促进作用。图 2D 显示,随着沼液施用量的增加,生姜块茎内硝酸盐含量逐渐下降,T3 处理仅为 3.25 mg/kg,显著低于 CK ($P < 0.05$);T4 组降低至 1.39 mg/kg,仅为 CK 的 25.69% ($P < 0.05$)。

影响见图 3。相较于 CK,T1~T3 处理对生姜块茎的姜辣素积累无显著促进效应(图 3A)。T4 处理的生姜块茎姜辣素含量较 CK 显著增加,含量高达

2.64% ($P < 0.05$), 表明采用沼渣作为基肥对生姜块茎姜辣素的积累存在促进效应。由图 3B 可知,

沼液及沼渣对生姜块茎挥发油的合成与积累影响不显著。



不同小写字母代表在 0.05 水平上存在显著差异。CK: 对照, 只施化肥; T1 处理: 20% 沼液 + 80% 化肥, 沼液替代 20% 化肥氮; T2 处理: 沼液 50% + 50% 化肥, 沼液替代 50% 化肥氮; T3 处理: 80% 沼液 + 20% 化肥, 沼液替代 80% 化肥氮; T4 处理: 50% 沼液 + 50% 化肥 + 沼渣替代基肥, 沼液替代 50% 化肥氮, 沼渣替代全部基肥的化肥氮。

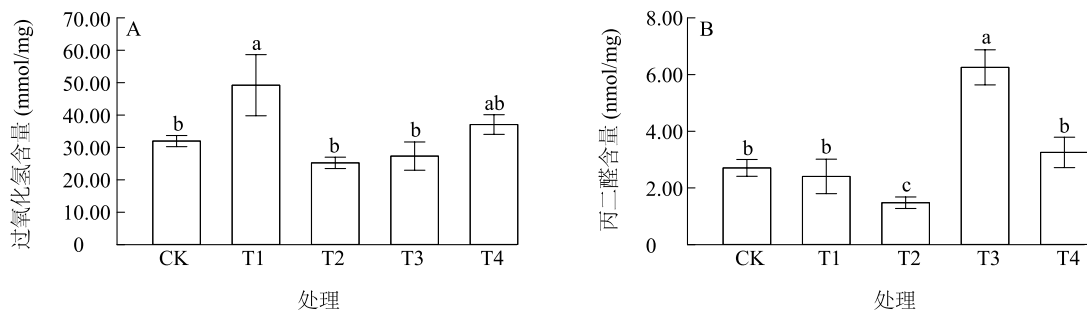
图 3 沼液、沼渣与化肥配施对生姜特殊功效成分含量的影响

Fig.3 Effects of combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer on contents of specific functional ingredients in ginger rhizome

2.4 沼肥与化肥配施对生姜活性氧成分含量的影响

胞内 H_2O_2 含量可以有效地反映细胞中活性氧分子的分解代谢情况。在本研究中, 沼液、沼渣与化肥配施对生姜胞内活性氧分子代谢造成显著影响 (图 4A)。与 CK 相比, T1 处理 H_2O_2 含量显著升高,

达到 49.22 mmol/mg ($P < 0.05$)。T2、T3 及 T4 处理 H_2O_2 含量与对照差异不显著。由图 4B 可知, 高比例的沼液 (80%) 施用会导致生姜叶片 MDA 含量显著升高, T3 处理 MDA 含量高达 6.25 nmol/mg, 显著高于 CK ($P < 0.05$), 表明生姜细胞膜结构受到损伤。



不同小写字母代表在 0.05 水平上存在显著差异。CK: 对照, 只施化肥; T1 处理: 20% 沼液 + 80% 化肥, 沼液替代 20% 化肥氮; T2 处理: 沼液 50% + 50% 化肥, 沼液替代 50% 化肥氮; T3 处理: 80% 沼液 + 20% 化肥, 沼液替代 80% 化肥氮; T4 处理: 50% 沼液 + 50% 化肥 + 沼渣替代基肥, 沼液替代 50% 化肥氮, 沼渣替代全部基肥的化肥氮。

图 4 沼液、沼渣与化肥配施对生姜活性氧成分含量的影响

Fig.4 Effects of combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer on contents of reactive oxygen species in ginger rhizome

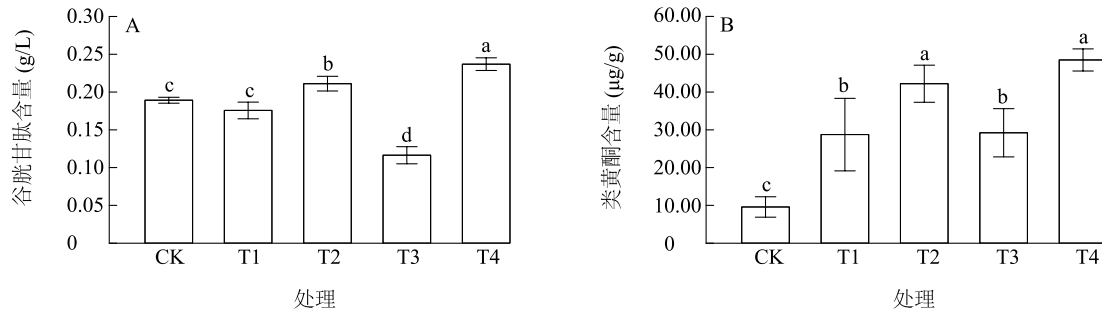
2.5 沼肥与化肥配施对生姜抗氧化剂及抑菌物质合成的影响

叶片 GSH 含量变化见图 5A。T2 及 T4 处理 GSH 含量均较 CK 呈现增加趋势, 其中又以 T4 处理

增加幅度最大, GSH 含量高达 0.24 g/L ($P < 0.05$), 为 CK 的 1.25 倍, 表明沼液及沼渣与化肥配施有诱导生姜细胞内抗氧化剂积累的作用。但 T3 处理 GSH 含量呈现显著下降, 仅为 CK 的 61.47%。沼

液、沼渣与化肥配施对生姜块茎类黄酮的合成与积累存在显著促进效应(图 5B)。T4 处理类黄酮含量最高,为对照的 6.71 倍($P<0.05$),T2 处理组含量

为 42.20 $\mu\text{g/g}$,为对照的 5.06 倍($P<0.05$),表明沼液及沼渣均可对生姜块茎类黄酮的合成与积累产生促进效应。



不同小写字母代表在 0.05 水平上存在显著差异。CK:对照,只施化肥;T1 处理:20%沼液+80%化肥,沼液替代 20%化肥氮;T2 处理:沼液 50%+50%化肥,沼液替代 50%化肥氮;T3 处理:80%沼液+20%化肥,沼液替代 80%化肥氮;T4 处理:50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥,沼液替代 50%化肥氮,沼渣替代全部基肥的化肥氮。

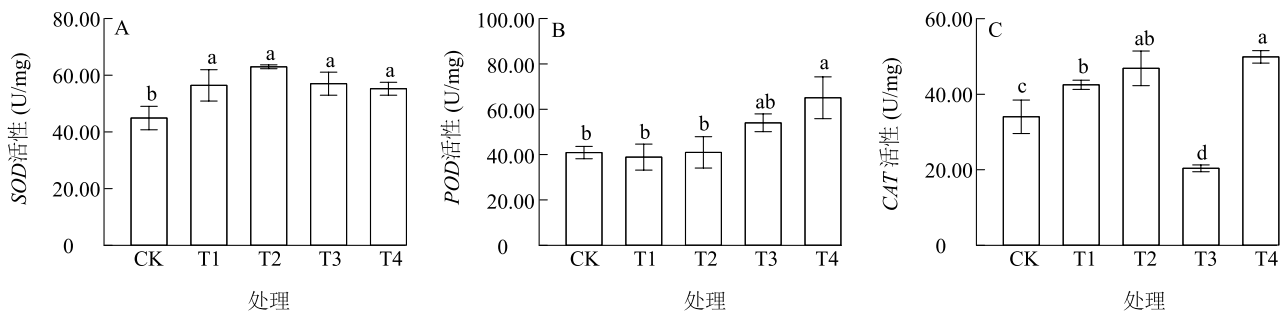
图 5 沼液、沼渣与化肥配施对生姜抗氧化剂及抑菌物质含量的影响

Fig.5 Effects of combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer on contents of antioxidants and antibacterial substances in ginger rhizome

2.6 沼肥与化肥配施对生姜叶片抗氧化酶活性的影响

沼肥与化肥配施对生姜叶片抗氧化酶活性的影响见图 6。相较于 CK,所有处理的生姜叶片 SOD 活性显著增加,其中又以 T2 处理的生姜叶片 SOD 活性上升幅度最为明显,活性升至 62.99 U/mg,为 CK 的 1.39 倍。然而,沼渣、沼液与化肥配施对生姜叶

片 POD 活性的影响并不明显,仅 T4 处理的生姜叶片 POD 活性显著增加,升至 65.07 U/mg,为对照的 1.59 倍($P<0.05$)。与 CK 相比,除 T3 处理外,其余处理的生姜叶片 CAT 活性均显著提高,T4 处理生姜叶片 CAT 活性达到峰值,为 46.86 U/mg($P<0.05$)。T3 处理的生姜叶片 CAT 活性显著下降,仅为 20.37 U/mg。



SOD:超氧化物歧化酶;POD:过氧化物酶;CAT:过氧化氢酶。不同小写字母代表在 0.05 水平上存在显著差异。CK:对照,只施化肥;T1 处理:20%沼液+80%化肥,沼液替代 20%化肥氮;T2 处理:沼液 50%+50%化肥,沼液替代 50%化肥氮;T3 处理:80%沼液+20%化肥,沼液替代 80%化肥氮;T4 处理:50%沼液+50%化肥+沼渣替代基肥,沼液替代 50%化肥氮,沼渣替代全部基肥的化肥氮。

图 6 沼液、沼渣与化肥配施对生姜叶片抗氧化酶活性的影响

Fig.6 Effects of combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer on activity of antioxidant enzymes in ginger rhizome

2.7 沼肥与化肥配施对生姜品质的综合评价

沼肥与化肥配施对生姜品质的综合评价见表 2。随着沼液施用比例的增加,生姜品质整体呈现改善趋势。与 CK 相比,生姜块茎内姜辣素含量、抗坏血酸

含量及可溶性糖含量为本研究中提升效果较佳的品质指标。T4 处理生姜综合品质最佳,得分高达 93.22。其次为 T3 处理,较 CK 提升 15.10%,表明沼液、沼渣与化肥配施均能改善生姜块茎的综合品质。

表 2 沼液、沼渣与化肥配施条件下生姜的综合品质评价

Table 2 Comprehensive evaluation of ginger quality under combined application of biogas slurry, biogas residue and chemical fertilizer

处理	姜辣素 含量得分	挥发油 含量得分	抗坏血酸 含量得分	可溶性蛋白 含量得分	可溶性糖 含量得分	硝酸盐 含量得分	得分总和
CK	22.61	30.00	8.07	8.53	7.49	-10.00	66.70
T1	22.25	28.83	8.95	7.99	7.37	-9.22	66.17
T2	24.70	28.26	8.89	10.00	9.40	-8.93	72.32
T3	23.93	28.23	13.62	7.66	9.36	-6.03	76.77
T4	30.00	27.80	20.00	7.99	10.00	-2.57	93.22

3 讨论

沼液所含养分种类多,但含量偏低且不均衡,只使用沼液做肥料不能满足作物生长发育需求。有部分学者认为沼液与化肥配施是沼液应用的最佳模式^[26-27]。研究表明,施用一定比例的沼肥可显著提高西瓜、甜瓜、小麦及辣椒等果蔬的产量^[6,11,28-29]。在本研究中,除 T3 处理外,所有处理生姜产量较 CK 有显著的提升,这与沼液配施化肥可有效提高生姜全生育期的叶绿素含量、增强光合作用息息相关^[19]。沼液配施化肥提高作物叶绿素含量的主要原因有 2 个方面,首先沼液内富含合成叶绿素所需的 Fe、Ca 及 Mg 等矿质元素,其次沼液的缓释效应可保障长时间内作物对氮素的需求,进而促进叶绿素的积累^[30-31]。此外,沼液与沼渣可显著提高土壤内养分含量,改善土壤团粒结构,优化作物根际微生物群落结构,加快养分转化,进而共同促进作物产量的提高^[14,29]。在本研究中,T4 处理产量较 T2 处理有小幅下降,这是由于沼渣内可溶性盐分含量高,其 EC 值较高,可能对生姜幼苗期水分和营养元素的吸收利用造成不利影响^[32]。同时,T3 处理产量较 CK 显著下降,表明沼液、沼渣的用量存在阈值,过量或单一的沼液、沼渣施入并不能促进作物产量增加,且过量沼液会导致土壤电导率升高,微生物活性下降,最终对植物生长产生抑制作用^[1]。因此,在施用沼肥时应注意用量的合理范围,并着重关注沼肥对作物品质及土壤环境的影响。

可溶性蛋白含量、可溶性糖含量及抗坏血酸含量是果蔬最为重要的营养品质指标,其含量高低将直接对果蔬的风味、品质造成重要影响^[33]。本研究中,与 CK 相比,T4 处理的生姜块茎可溶性糖及抗坏血酸含量均有显著增加,分别为 CK 的 1.34 倍及

2.48 倍,表明沼液、沼渣具有改善生姜品质的作用,此类现象亦在西瓜、甜瓜及萝卜等果蔬相关研究中报道^[6,11,34]。究其原因则是沼液及沼渣的施用可以增加土壤内碱解氮、速效磷及速效钾的含量,且沼液富含生长素、腐殖酸及活性酶等成分,促进了植物根系的生长,强化了生姜对于养分的吸收利用^[35];另一方面,沼肥与化肥配施提升了生姜根际微生物丰度,进而提高了土壤碳氮循环相关酶的活性与养分循环效率,为营养物质的积累创造了条件^[36-37]。同时,T4 处理生姜块茎抗坏血酸含量显著高于其他处理,表明沼渣对生姜块茎抗坏血酸合成的促进效应优于沼液。在本研究中,随着沼液施用比例的增加,生姜块茎内硝酸盐含量逐渐下降,这与沼液、沼渣在白菜、娃娃菜及花椰菜中的研究结果^[33,38-39]相吻合。沼液、沼渣中的 NH_4^+ 提高了硝酸还原酶的活性,导致蔬菜中硝酸盐含量降低^[40]。

生姜中的姜辣素及挥发性姜精油不仅是生姜呈味的主要因素,也是生姜药理作用的主要效应因子,因此其含量高低将直接影响生姜品质^[41]。在本研究中,T1~T3 处理姜辣素及挥发油含量未出现显著变化,表明沼液对姜辣素及挥发油合成的影响并不显著,这与先前的研究结果^[19]存在差异。邵海南等^[16]的研究结果显示,中等施肥水平有利于姜辣素等成分的积累,过高或过低都会导致其含量下降。在本研究中,T4 处理姜辣素含量显著高于其他处理,这归因于将沼液、沼渣与化学肥料进行一定比例配施后,将土壤无机相与有机相有效结合,促进了作物对养分的吸收利用,有助于作物养分的积累^[38]。对生姜品质的整体评价结果表明,随着沼液施用量的增加,生姜品质逐渐改善。

作为旺盛生长期的起始阶段,生姜三股权时期的养分供给模式发生改变,水肥需求逐渐增加,但是

也给病害发生提供了条件。鉴于此,生姜三股权时期抗病能力显得尤为重要。研究表明,生姜抗病性与其抗氧化系统活性呈正相关^[42]。因此,本研究选择生姜根茎处抗氧化系统活性以探讨沼液、沼渣配施化肥对生姜抗病性的影响。 H_2O_2 作为 SOD 歧化反应的产物,可反映细胞内活性氧的含量,MDA 是膜脂过氧化的产物,可反映细胞膜脂氧化损伤的程度^[43]。本研究中 T1 处理生姜内 H_2O_2 含量显著高于 CK,表明沼液的施入给生姜造成了氧化胁迫压力。随着沼液施用比例增加,胞内 H_2O_2 含量下降,生姜活性氧清除效率提高。T3 处理 MDA 含量显著高于 CK,说明生姜发生膜脂过氧化反应,植株抗病性下降^[3]。为清除体内过量的活性氧(ROS)分子,生姜往往通过激活体内 SOD、POD 及 CAT 等抗氧化酶活性以保护细胞免受毒害作用^[44]。本研究所有处理生姜的 SOD 活性较 CK 均显著升高,表明过量的 ROS 分子通过歧化反应生成 H_2O_2 。为清除过量的 H_2O_2 ,T1、T2 及 T4 处理生姜块茎 CAT 活性显著升高,表明沼肥可以诱导生姜抗氧化酶活性上调,进而增强生姜的抗病能力。T3 处理生姜 CAT 活性出现显著下调,表明高比例沼液施用会对生姜 CAT 活性产生显著抑制作用,使生姜抗逆性下降。此种现象在黄芪栽培中亦存在类似报道^[3]。除抗氧化酶的作用外,生姜亦可以通过合成谷胱甘肽等抗氧化剂直接参与 ROS 分子及其产物的清除^[45]。本研究中 T2 及 T4 处理 GSH 含量显著增加,表明施用一定比例的沼液、沼渣具备诱导生姜合成抗氧化剂的潜能,但是 T3 处理 GSH 含量则显著低于 CK,表明 T3 处理还原态 GSH 被大量消耗,细胞活性氧清除能力下降^[46]。此外,植物自身亦可以产生多种具备抗菌能力的次生代谢产物,如与苯丙烷合成途径相关的类黄酮等,诱导植物产生抗性^[47]。在本研究中,所有处理的类黄酮含量均显著高于 CK,说明施用沼液可诱导生姜快速合成类黄酮以对抗不利环境。但是考虑到 T3 处理的生姜已经产生过大的氧化胁迫压力,沼液的施用比例应不超过总肥量的 50%。

4 结论

综上所述,本研究初步探讨了沼肥与化肥配施对生姜产量、品质及抗逆性的影响。结果显示,在 50%沼液+50%化肥施用模式下生姜产量最佳;以沼

渣基施、沼液替代 50%化肥当量栽培的生姜品质最佳,其品质提升主要集中体现在可溶性糖、维生素 C 及姜辣素的积累及硝酸盐含量的降低。同时,低用量的沼肥可有效改善生姜三股权初期的抗逆性,但是用量超过 50%后生姜抗逆性显著下降。未来更多研究应关注沼肥在生姜种植中的施用量阈值及其对耕地环境的影响方面。

参考文献:

- [1] 温云杰,张纪涛,李琳,等.沼液配施化肥对大葱产量和土壤养分、微生物及酶活性的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(1):95-105.
- [2] LI N H, YANG X Y, LIU J Q, et al. Effect of raw material and application rate of biogas slurry on cucumber growth, *Fusarium* wilt suppression, and soil properties[J]. Environmental Technology & Innovation, 2023, 32: 103396.
- [3] 陆国弟,杨扶德,王惠珍,等.沼液浸种对蒙古黄芪种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):155-162.
- [4] 褚晋,闫晗,韩涛,等.沼液对稻瘟病的防治效果及内生拮抗细菌筛选与鉴定[J].中国生物防治学报,2022,38(6):1516-1525.
- [5] YU X Y, ZHU Y J, JIN L, et al. Contrasting responses of fungal and bacterial communities to biogas slurry addition in rhizospheric soil of poplar plantations[J]. Applied Soil Ecology, 2022, 175: 104427.
- [6] 张纪涛,史向远,王林,等.沼液配肥对砂培西瓜生长、品质及重金属累积的影响[J].北方园艺,2023(17):47-53.
- [7] 张青青,黄璐璐,金海洋,等.沼渣替代草炭的栽培基质特性及其对番茄生长的影响[J].安徽农业科学,2024,52(2):132-135.
- [8] 韩春叶,王崇华,田春丽,等.沼液与微肥配合喷施对大棚黄瓜产量及品质的影响[J].北方园艺,2017(3):61-65.
- [9] 辛格,高亚茹,陈国松,等.沼液成分与重金属含量分析[J].化工时刊,2018,32(1):9-16.
- [10] 董颐玮,梁栋,李丹阳,等.沼液主要养分含量特征分析[J].江苏农业学报,2021,37(5):1206-1214.
- [11] 杨建霞,王秀文,宁海军,等.沼肥不同施肥量对大棚甜瓜生长发育及果实品质的影响[J].北方园艺,2020(22):60-65.
- [12] 徐坚,叶波,顾艳红,等.施用不同沼液对杨梅土壤及果实品质的影响[J].浙江农业科学,2023,64(6):1496-1499.
- [13] ZHENG J, QI X Y, YANG S H, et al. Effects and evaluation of biogas slurry/water integrated irrigation technology on the growth, yield and quality of tomatoes[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2022, 15(5):123-131.
- [14] 杨建,王晶,杨祎程,等.尾菜沼渣对土壤改良及白菜品质的影响[J].现代农业科技,2024(2):103-106.
- [15] YOU L, YU S Q, LIU H Y, et al. Effects of biogas slurry fertili-

- tion on fruit economic traits and soil nutrients of *Camellia oleifera* Abel[J]. PLoS One,2019,14(5):e0208289.
- [16] 邵海南,刘雲祥,戚文荣. 施肥水平对生姜产量和品质的影响[J]. 青海大学学报,2021,39(5):51-56.
- [17] 潘万勇. 生姜大田追施沼肥的效果[J]. 农技服务,2009,26(1):47,96.
- [18] AHMAD R, AZEEM M, AHMED N. Productivity of ginger (*Zingiber officinale*) by amendment of vermicompost and biogas slurry in saline soils [J]. Pakistan Journal of Botany, 2009, 41: 3107-3116.
- [19] 肖 静. 沼肥部分替代化肥对生姜产量与品质的影响[J]. 农业工程技术,2020,40(5):23,25.
- [20] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1998:106-120.
- [21] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2002:69-71.
- [22] 郭晓斐,杜爱琴,杜爱玲. 生姜中姜辣素含量的测定[J]. 山东化工,2007,36(4):34-36,40.
- [23] 凌育赵. 水蒸气蒸馏提取沙姜中特性组分-沙姜油的研究[J]. 中国调味品,2005,30(8):28-31.
- [24] 李合生,孙 群,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,1999:167-169.
- [25] 王馨笙,徐 坤,杨天慧,等. 氮磷钾配施对生姜产量和品质的影响[C]//中国植物营养与肥料学会.中国植物营养与肥料学会2010年学术年会论文集. 银川:中国植物营养与肥料学会,2010:169-178.
- [26] 黄惠珠. 沼肥营养成分与污染物分析研究[J]. 福建农业学报,2010,25(1):86-89.
- [27] INSAM H, GÓMEZ-BRANDÓN M, ASCHER J. Manure-based biogas fermentation residues-Friend or foe of soil fertility? [J]. Soil Biology and Biochemistry,2015,84:1-14.
- [28] 杨 月,宫少硕,靳红梅,等. 奶牛场沼液施用对小麦及青贮玉米植株产量和品质的影响[J]. 生态与农村环境学报,2023,39(2):264-272.
- [29] WANG Z C, SANUSI I A, WANG J D, et al. Biogas slurry significantly improved degraded farmland soil quality and promoted *Capsicum* spp. production[J]. Plants,2024,13(2):265.
- [30] KUMAR A, VERMA L M, SHARMA S, et al. Overview on agricultural potentials of biogas slurry (BGS): applications, challenges, and solutions[J]. Biomass Conversion and Biorefinery,2023,15:13729-13769.
- [31] HUANG L N, CHENG S M, LIU H L, et al. Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer on growth and nitrogen fate in banana at seedling stage [J]. Environmental Research, 2022,214:113826.
- [32] 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,2024,48(10):1782-1788.
- [33] 汪建旭,王 晶,卢秀霞,等. 尾菜沼液配比对土壤质量及花椰菜产量和品质影响[J]. 中国农机化学报,2024,45(9):278-284.
- [34] 韩晓飞,李潇然,王俊伟. 沼液替代化肥对露地萝卜产量、品质和土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报,2023,39(22):34-39.
- [35] 隋好林,陈晓峰,秦 娜,等. 沼液滴灌对番茄产量、品质和土壤理化性状的影响[J]. 山东农业科学,2016,48(2):80-84.
- [36] RAHAMAN M A, ZHANG Q W, SHI Y L, et al. Biogas slurry application could potentially reduce N₂O emissions and increase crop yield [J]. Science of the Total Environment, 2021, 778: 146269.
- [37] TANG Y F, LUO L M, CARSWELL A, et al. Changes in soil organic carbon status and microbial community structure following biogas slurry application in a wheat-rice rotation[J]. Science of the Total Environment,2021,757:143786.
- [38] 岳树枝,刘 变,黄 洁,等. 尾菜发酵沼液还田对土壤理化性质和娃娃菜产量及品质的影响[J/OL]. 甘肃农业大学学报,2024:1-14[2024-09-01]. <https://link.cnki.net/urlid/62.1055.S.20240603.1436.002>.
- [39] 徐培智,黄继川,彭智平,等. 施用沼液对白菜产量、品质和养分吸收的影响[J]. 广东农业科学,2014,41(7):71-73.
- [40] ABUBAKER J, RISBERG K, PELL M. Biogas residues as fertilisers-effects on wheat growth and soil microbial activities [J]. Applied Energy,2012,99:126-134.
- [41] 陈 燕,蔡同一,付 力,等. 用改进的高效液相色谱法(HPLC)测定姜中姜辣素[J]. 食品科学,2001,22(4):60-63.
- [42] 周 洁,王艳红,刘德麒,等. 生姜主栽品种枯萎病抗性评价及抗病性鉴定指标筛选[J]. 南方农业学报,2022,53(9):2557-2567.
- [43] SALEEM M H, WANG X K, PARVEEN A, et al. Alleviation of drought stress by root-applied thiourea is related to elevated photosynthetic pigments, osmoprotectants, antioxidant enzymes, and tubers yield and suppressed oxidative stress in potatoes cultivars[J]. PeerJ,2022,10:e13121.
- [44] 高 伟,席克勇,尹军良,等. 外源 SiNPs 对盐胁迫下生姜幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(9):1-10.
- [45] 李佳慧,姜爱丽,胡文忠,等. 生姜不同切割后的抗氧化成分及其活性的变化[J]. 食品工业科技,2015,36(3):340-344.
- [46] LI N C, TONG M M, GLIBERT P M. Effect of allelochemicals on photosynthetic and antioxidant defense system of *Ulva prolifera* [J]. Aquatic Toxicology,2020,224:105513.
- [47] 闫志鹏,仪慧兰,张艾英,等. 谷子对黑粉菌侵染的生物学响应[J]. 山西农业科学,2019,47(10):1700-1704.

(责任编辑:陈海霞)