

张 亚, 师杨杰, 姚均伟, 等. 村镇有机生活垃圾处理产物对青菜品质及土壤性质的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(1): 88-96.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.01.011

村镇有机生活垃圾处理产物对青菜品质及土壤性质的影响

张 亚¹, 师杨杰^{2,3}, 姚均伟¹, 郝大洋¹, 张 衡¹, 曹风雷⁴, 朱 宁^{3,5}, 李 游¹, 靳红梅^{3,5}

(1. 光大环保<中国>有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044; 3. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 4. 沛县大屯街道颐园社区, 江苏 徐州 221600; 5. 江苏省有机固体废物资源资源化协同创新中心, 江苏 南京 210095)

摘要: 以有机生活垃圾好氧堆肥和厌氧发酵沼渣为研究对象, 通过盆栽试验探讨其与化肥配施对青菜(*Brassica chinensis*)产量、品质、土壤养分和土壤酶的影响特征。结果表明, 与 100% 施用化肥处理相比, 有机生活垃圾处理产物堆肥、沼渣与化肥配施处理部分提高了青菜干物质积累量和品质, 干质量增幅为 17.3%~44.2%, 可溶性糖含量增幅为 59.7%~114.8%, 可溶性蛋白质含量增幅为 80.5%~159.7%, 硝酸盐含量最多降低了 35.8%; 堆肥和沼渣与化肥配施提高了土壤肥力, 有机碳、总磷含量增幅分别为 1.1%~40.1% 和 30.4%~34.7%, 而蔗糖酶和过氧化氢酶活性增幅分别为 16.3%~42.8% 和 17.9%~70.5%。总之, 一定比例生活垃圾处理产物与化肥配施有利于青菜产量、品质和土壤肥力的提升, 以 100% 化肥补充 20% 堆肥为最佳配比。

关键词: 村镇有机生活垃圾; 堆肥; 沼渣; 青菜; 品质; 土壤酶

中图分类号: S634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)01-0088-09

Effects of the products from treatment of organic domestic waste in villages and towns on the quality of *Brassica chinensis* and soil properties

ZHANG Ya¹, SHI Yang-jie^{2,3}, YAO Jun-wei¹, HAO Da-yang¹, ZHANG Heng¹, CAO Feng-lei⁴, ZHU Ning^{3,5}, LI You¹, JIN Hong-mei^{3,5}

(1. Everbright Environmental Protection <China> Co., Ltd., Shenzhen 518000, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 4. Yiyuan Community of Datun Street in Pei County, Xuzhou 221600, China; 5. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Organic Solid Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China)

Abstract: Using the compost and fermented biogas residue after aerobic and anaerobic treatment of organic domestic waste as the research objects, the effects of their combined application with chemical fertilizer on the yield, quality, soil nutrients and soil enzyme activities of *Brassica chinensis* were discussed through pot experiment. The results showed that, compared with 100% chemical fertilizer application, combined application of organic domestic waste compost and biogas residue with chemical fertilizer partially im-

proved dry matter accumulation and quality of *B. chinensis*, the dry weight increased by 17.3%–44.2%, the soluble carbohydrate content increased by 59.7%–114.8%, the soluble protein content increased by 80.5%–159.7%, and the max decreasing amplitude of nitrate content was 35.8%. Application of compost and combined application of biogas residues and chemical fertilizers improved soil fertility, contents of organic carbon

收稿日期: 2022-03-22

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(20)1011]; 光大环境重点研发课题(HBNY201902)

作者简介: 张 亚(1972–), 男, 山东枣庄人, 本科, 高级工程师, 研究方向为固体废物资源化利用。(E-mail) zhangya@ebchinaintl.com.cn。师杨杰为共同第一作者。

通讯作者: 靳红梅, (Email) hmjin@jaas.ac.cn

and total phosphorus increased by 1.1%–40.1% and 30.4%–34.7% respectively, while the increasing amplitude of sucrase and catalase activities were 16.3%–42.8% and 17.9%–70.5% respectively. In conclusion, the combined application of a certain proportion of domestic waste processing products and chemical fertilizers is beneficial to the improvement of yield, quality and soil fertility of *B.chinensis*, and the best ratio is 100% chemical fertilizer supplemented with 20% compost.

Key words: organic domestic waste in villages and towns; compost; biogas residue; *Brassica chinensis*; quality; soil enzymes

随着中国经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,生活垃圾产生量与日俱增。国家卫生健康委员会有关数据显示,村、镇两级居住社区人均每日生活垃圾产生量分别为 0.5~1.0 kg/(人·d)、0.4~0.9 kg/(人·d),年产量已超 1×10^8 t^[1-2]。然而,中国绝大部分村镇缺乏完善的垃圾管理制度,现阶段村镇生活垃圾的终端处理手段仍以简易焚烧和简单填埋为主,造成资源化利用率低、安全隐患大、二次污染风险高等突出问题^[3]。村镇生活垃圾的治理已成为改善农村地区生态环境的重要组成部分。村镇生活垃圾以有机生活垃圾为主,如餐厨垃圾(主要成分)、木竹类、纸类等^[2],富含有机物组分,可通过好氧堆肥和厌氧发酵等生物转化技术实现养分资源的再利用^[4-5]。利用好氧堆肥技术对有机生活垃圾进行生物降解和腐熟处理,可将其转化形成有机肥料;厌氧发酵技术具有碳排放量低、资源利用率高、适合集中大规模处理等优点而受到越来越多的关注^[6]。特别是干式厌氧发酵后残留的沼渣,无害化处理后可作为肥料进一步资源化利用^[7-9]。

以村镇有机生活垃圾为主要原料的堆肥和沼渣中富含有机质以及植物所需的氮、磷、钾等大量元素和多种微量元素^[10],农田施用后具有改善土壤质量、促进作物生长的潜力。葛春辉等^[11]将城市生活垃圾堆肥用于玉米种植,发现土壤有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量随生活垃圾堆肥施用量的增加而增加,土壤肥力明显提高,短期内施用一定量的生活垃圾堆肥可提高玉米的百粒质量和双棒率,明显增加玉米产量。Machado 等^[12]研究发现,施用城市生活垃圾堆肥后菠菜的地上部干质量和鲜质量提高了 109%,土壤有机质含量提高了 2.25%。前人进一步研究发现,施用有机生活垃圾源肥料可以提高土壤酶活性,促进作物对养分的吸收,从而增加作物产量、提高土壤肥力^[13-15]。总体来看,国内外对于村镇生活垃圾转化处理技术的研究较多,而对于处理后产物利用效果的研究相对不足^[16],特别是其施肥方式对作物品质和土

壤性质的影响仍有待深入研究。

徐州市沛县是全国农村垃圾分类和资源化利用示范县,2019 年被列为国家卫生县城,形成了一套具有区域特色的村镇生活垃圾分类和处置模式。本研究以沛县村镇有机生活垃圾好氧处理后的堆肥(以下简称“堆肥”)和干式厌氧发酵后的沼渣(以下简称“沼渣”)为研究对象,采用室内盆栽试验,探讨堆肥和沼渣与化肥不同配施方式对矮脚黄青菜(*Brassica chinensis*)产量、品质、土壤养分含量和土壤酶活性的影响,以期对村镇生活垃圾肥料化利用提供参考,推动村镇垃圾分类处置和产业化。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤 供试土壤采自当地蔬菜种植专业合作社的蔬菜大棚内,土壤类型为高砂土,0~20 cm 土层土壤 pH 为 7.11,电导率(EC)为 230.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$,总氮(TN)、总磷(TP)、总钾(TK)含量分别为 0.10%、0.10%、0.11%。

1.1.2 供试蔬菜 青菜(*Brassica chinensis*)品种为矮脚黄,种子购于江苏明天种业科技股份有限公司。

1.1.3 供试肥料 堆肥和沼渣均取自沛县大屯街道的垃圾分类处置中心,取样时间为 2021 年 3 月。全年(2020–2021 年)不同季节有机生活垃圾的理化性质如表 1 所示。大屯街道垃圾分类处置中心对分类的有机生活垃圾主要采用 2 种处理方式(图 1):一是好氧堆肥处理,采用阳光房堆肥模式,堆肥容重为 0.6 t/m³,最高温度 60~65 $^{\circ}\text{C}$,原料碳氮比为 14:1~16:1,含水率约为 80%,一次发酵 15 d,二次发酵 25 d,日处理量约 4.0 t;二是厌氧发酵处理,采用干式厌氧发酵装备,厌氧罐有效容积为 6.15 m³,总固体(TS)含量为 15%~20%,最大负荷(挥发性固体)可达 6 kg/(m³·d),加料前搅拌 2 h,水力停留时间为 20 d,在中温(约 35 $^{\circ}\text{C}$)条件下,沼气含量约为 60%,日处理量为 0.7~1.0 t。

试验所用的化学肥料为尿素、过磷酸钙和硫酸钾。尿素购自国药集团化学试剂有限公司,过磷酸

钙购自南京晚晴玻璃仪器公司,硫酸钾购自北京益利精细化学品有限公司。

表 1 沛县大屯街道不同季节生活垃圾的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of domestic wastes in different seasons in Datun street, Pei County

季节	含水率 (%)	总氮 (TN) 含量 (g/kg)	总磷 (TP) 含量 (g/kg)	总钾 (TK) 含量 (g/kg)	总碳 (TC) 含量 (%)	总固体 (TS) 含量 (%)	挥发性固体 (VS) 含量 (%)
夏季	78.33±2.95	24.69±0.69	10.35±0.26	7.58±0.46	36.52±0.67	27.52±3.63	69.24±5.38
秋季	76.33±2.32	23.00±3.40	9.15±2.87	9.90±1.95	36.34±4.03	15.45±2.28	10.00±2.01
冬季	77.00±5.93	30.23±9.42	3.55±1.87	13.51±2.02	45.68±5.94	20.59±5.01	12.47±2.11
春季	81.67±7.04	19.10±1.26	2.18±0.73	11.10±3.42	32.11±2.98	17.32±1.62	11.34±1.52

平均值±标准差 (n=3)。

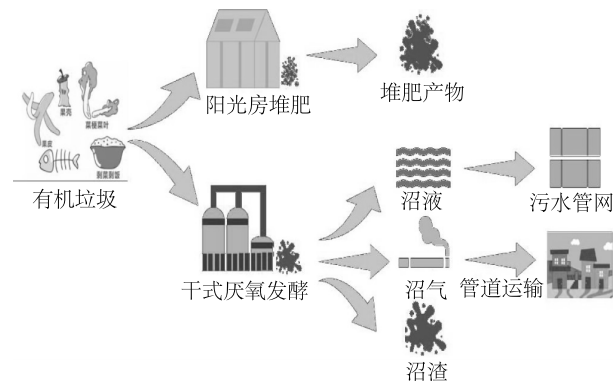


图 1 大屯街道垃圾分类处置中心有机生活垃圾处理示意

Fig.1 Schematic diagram of organic domestic waste treatment mode of the classification and disposal center in Datun Street

1.2 试验设计

1.2.1 试验处理 以等氮量替代为依据,根据堆肥和沼渣中总氮含量水平,共设置 9 个处理,分别为:100%化肥 N(T1);100%堆肥 N(T2);80%化肥 N+20%堆肥 N(T3);50%化肥 N+50%堆肥 N(T4);100%化肥 N+20%堆肥 N(T5);100%沼渣 N(T6);80%化肥 N+20%沼渣 N(T7);50%化肥 N+50%沼渣 N(T8);100%化肥 N+20%沼渣 N(T9)。化肥施用量按照 N:P₂O₅:K₂O=1.5:1.0:1.5 配比。各处理不同施肥量如表 2 所示。

1.2.2 盆栽试验 采用室内盆栽试验。所用花盆为圆形,直径 20 cm,高 15 cm,每盆装土 3 kg,播种青菜种子 20 粒,出芽后每盆留苗 4 株,每 1~2 d 浇水,其他日常管理相同,每个处理设置 5 盆 (n=5)。试验于 2021 年 5 月 4 日至 6 月 11 日在江苏省农业科学院科研温室基地进行。

1.3 样品采集及测定

1.3.1 样品采集与预处理 肥料样品采集后装入自封袋内密封,放入保温箱中,于 12 h 内运送至实验室,样品置于 0~4 ℃ 条件下冷藏保存,待测。青菜植株收获后,洗净青菜表面及根部泥土,用吸水纸将水分吸干,待测。采集盆栽土壤样品,风干过 100 目筛,待测。

1.3.2 测定方法 取肥料样品测定湿质量,105 ℃ 烘至恒质量测定干质量,计算含水率。pH(电位法,固液比 1:10)、EC(电导率,固液比 1:10)、有机质含量(OM)含量、总氮(TN)含量、总磷(TP)含量、总钾(TK)含量、总养分含量按照 NY/T 525-2021《有机肥料》中方法测定。

将青菜样品吸干水分后测定鲜质量,放入烘箱 105 ℃ 杀青 2 h,70 ℃ 烘至恒质量,测定干质量。维生素 C(V_C) 含量采用食品安全国家标准 GB 5009.86-2016《食品中抗坏血酸的测定》中的方法测定,可溶性糖含量采用 NY/T 1278-2007《蔬菜及其制品中可溶性糖的测定》中的方法测定,可溶性蛋白质含量采用南京建成生物工程研究所的蛋白质定量测定试剂盒(考马斯亮蓝法)测定,硝酸盐含量采用 GB 5009.33-2016《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》中的方法测定。

土壤总氮(TN)含量采用凯氏定氮法测定,总磷(TP)含量采用钼锑抗比色法测定,总钾(TK)含量采用火焰分光光度法测定,有机质(SOC)含量采用重铬酸钾容量法测定^[17]。土壤脲酶活性采用苯酚次氯酸钠比色法测定,过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法(0.05 mol/L KMnO₄ 滴定)测定,蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[18]测定,碱性磷酸酶活性采用南京建成生物工程研究所的碱性磷酸酶测定试剂盒(分光光度法)测定。

表 2 各试验处理的施肥量
Table 2 Amount of fertilizer application of different experimental treatments

处理代码	处理说明	堆肥含量 (g/kg)	沼渣含量 (g/kg)	尿素含量 (g/kg)	过磷酸钙含量 (g/kg)	硫酸钾含量 (g/kg)
T1	100%化肥 N	0	0	0.32	0.63	0.30
T2	100%堆肥 N	20.40	0	0	0	0
T3	80%化肥 N+20%堆肥 N	4.08	0	0.26	0.50	0.24
T4	50%化肥 N+50%堆肥 N	10.20	0	0.16	0.31	0.15
T5	100%化肥 N+20%堆肥 N	4.08	0	0.32	0.63	0.30
T6	100%沼渣 N	0	12.38	0	0	0
T7	80%化肥 N+20%沼渣 N	0	2.48	0.26	0.50	0.24
T8	50%化肥 N+50%沼渣 N	0	6.19	0.16	0.31	0.15
T9	100%化肥 N+20%沼渣 N	0	2.48	0.32	0.63	0.30

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理,采用 SPSS Statistics v26.0 进行单因素方差分析 (ANOVA),多重比较采用 Duncan’s 法 ($\alpha=0.05$),采用 Origin 2019b 进行作图。

2 结果与分析

2.1 有机生活垃圾堆肥和沼渣的基本理化特性

堆肥和沼渣的理化特性如表 3 所示,其 pH 值、

有机质和总养分含量均符合国家有机肥料标准^[19]。本研究中,堆肥和沼渣有机质含量均大于 40%,明显高于姜蒙^[20]报道的厨余垃圾肥料有机质含量 (20%~30%);堆肥和沼渣的全磷含量大于 5.00%,全钾含量在 2.00%左右,远高于王站付等^[21]报道的餐厨垃圾堆肥中全磷含量 (1.02%)、全钾 (0.54%) 含量。比较堆肥和沼渣理化性质可知,沼渣的含水率、EC 值和有机质含量均略高于堆肥,其总磷含量略低于堆肥,这与两种产物的制备方式不同有关。

表 3 阳光房堆肥和厌氧发酵沼渣的理化特性

Table 3 Physical and chemical characteristics of compost and anaerobic fermentation biogas residue derived from organic domestic wastes

样品	含水率 (%)	pH	电导率 (EC) (mS/cm)	有机质 (OM) 含量 (g/kg)	总氮 (TN) 含量 (g/kg)	总磷 (TP) 含量 (%)	总钾 (TK) 含量 (%)	总养分含量 (%)
堆肥	72.80±0.10	5.72±0.34	53.63±2.81	40.01±0.27	0.27±0.02	7.70±1.20	2.03±0.12	10.00±0.58
沼渣	77.90±0.04	5.68±0.20	58.90±0.56	65.54±0.47	0.05±0.04	5.30±0.65	1.91±0.12	7.79±0.29
有机肥标准	≤30.00	5.50~8.50	—	≥30.00	—	—	—	≥4.00

平均值±标准差 (n=3)。

2.2 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对青菜产量的影响

堆肥和沼渣分别与化肥配施后青菜的产量如图 2 所示。与 100%施用化肥的 T1 处理相比,T5 处理对增加青菜鲜质量产量的促进作用最明显,同时 T5、T7、T9 处理对青菜干质量积累的促进作用大于 T1 处理,其增幅为 17.3%~44.2%,这可能与这 3 个处理组中钾含量较高有关^[22]。由图 2 还可以看出,与 T1 处理相比,T2 (100%堆肥)、T6 (100%沼渣) 处理组对增加青菜鲜质量和干质量无促进作用,这可

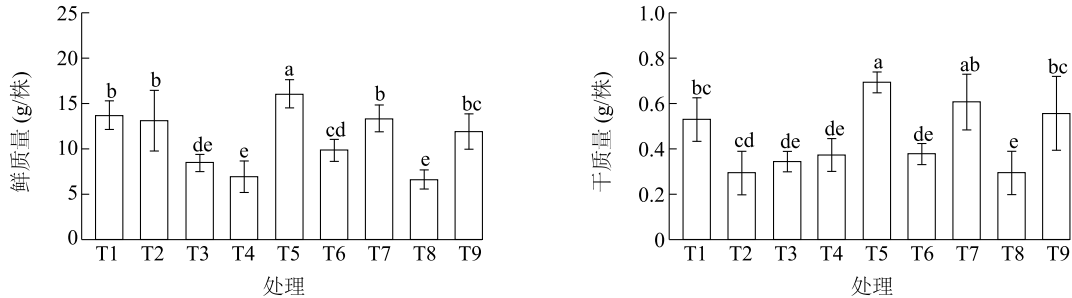
能是因为堆肥和沼渣中盐分含量偏高,在现有施用水平下造成了盐渍化,对青菜产生了不利影响。因此,在后续研究中将不再探讨这 2 个处理组。

2.3 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对青菜品质的影响

2.3.1 V_c 含量 V_c 是人体所需的重要维生素之一,其日常来源之一就是蔬菜。T5 处理组青菜 V_c 含量为 63.60 mg/kg,比 100%施用化肥的 T1 组增加了 9.30% (图 3),而高红莉等^[23]施用沼液和沼渣等有机肥后青菜中 V_c 含量分别仅为 51.80 mg/kg 和

46.20 mg/kg, 刘丽鹃等^[24]施用猪粪堆肥后青菜中 V_C 含量为 20~30 mg/kg, 低于本研究结果。另外, 与 T1 组相比, 其他处理对青菜中的 V_C 含量无促进作用,

这可能是因为化肥中速效钾含量较高, 对青菜合成 V_C 的促进作用更大。



平均值±标准差 ($n=5$)。各处理见表 2。不同小写字母表示处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

图 2 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对青菜鲜质量和干质量的影响

Fig.2 Effects of organic domestic waste compost and biogas residue combined with chemical fertilizer on fresh weight and dry weight of *Brassica chinensis*

2.3.2 可溶性糖含量 糖作为代谢的中间产物或终产物参与植物生长、发育、抗性形成等多个生理过程, 是植物生长发育和基因表达的重要调节因子^[25]。青菜中可溶性糖含量从高到低依次为 T7>T3>T5>T8>T1>T9>T4 (图 3)。与 100% 施用化肥的 T1 组相比, 除 T4、T9 处理组外, 其他处理组的青菜中可溶性糖含量提高了 59.7%~114.8%, 可能是因为堆肥和沼渣的含盐量偏高, 与化肥配施处理后使得青菜处于盐胁迫环境, 植物细胞由于应激反应储存可溶性糖, 升高了细胞膜内渗透势^[26], 这种应激反应使得青菜中可溶性糖含量提高。

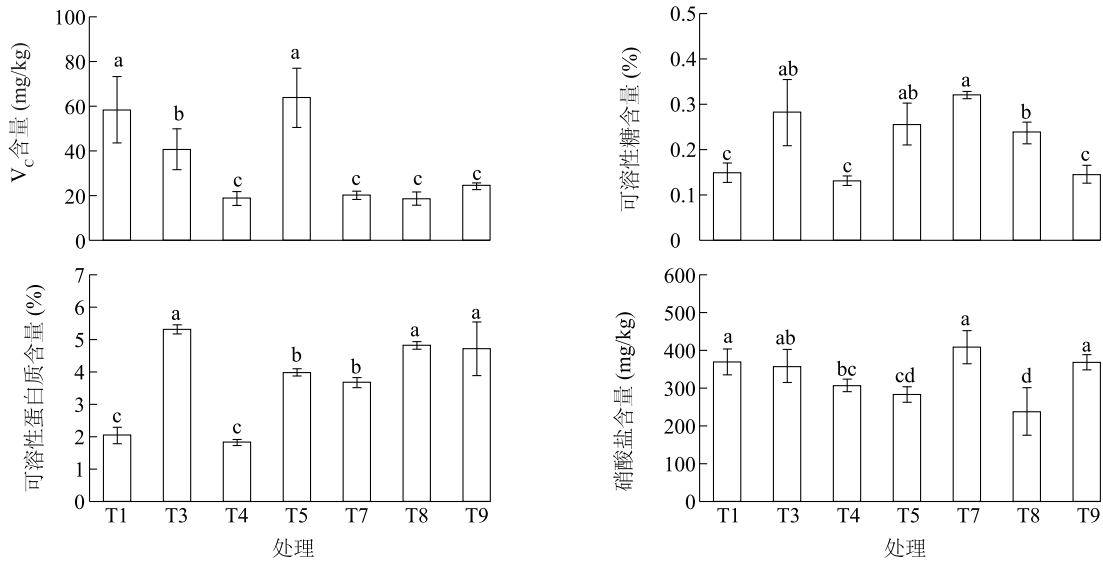
2.3.3 可溶性蛋白质含量 蛋白质也是衡量蔬菜品质的重要指标之一。图 3 显示, 青菜中可溶性蛋白质含量从高到低依次为: T3>T8>T9>T5>T7>T1>T4。与 100% 施用化肥的 T1 处理组相比, 除 T4 处理组外, 其他处理组的青菜中可溶性蛋白质含量提高了 80.5%~159.7%, 这可能是因为堆肥和沼渣含盐量高, 刺激青菜产生较多的可溶性蛋白质参与细胞渗透调节^[27]。

2.3.4 硝酸盐含量 蔬菜富集硝酸盐是一种自然现象, 硝酸盐虽对植物本身没有负面作用, 却会危害人体健康, 人体摄入的硝酸盐有 81.20% 来自蔬菜, 而氮肥是影响青菜中硝酸盐积累的重要因素^[24]。如图 3 所示, 青菜中的硝酸盐含量从高到低依次为: T7>T9>T1>T3>T4>T5>T8。最低的是 T8 处理组, 为 237.48 mg/kg, 较 100% 施用化肥的 T1 处理

组低 35.8%, 其硝酸盐积累量明显低于前人研究结果^[28-30]。

2.4 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对土壤养分含量和土壤酶活性的影响

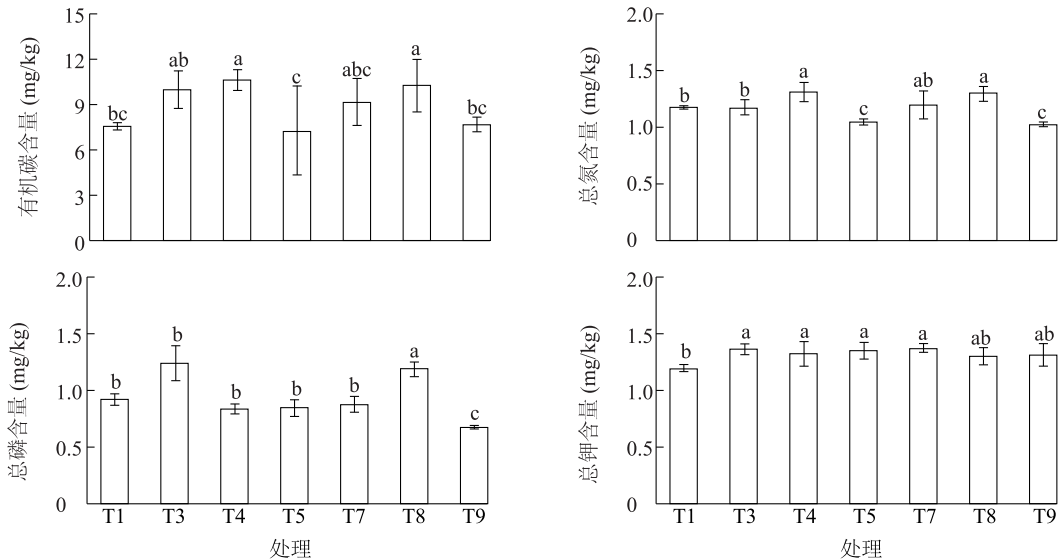
2.4.1 土壤养分含量变化特征 土壤有机碳在维持土壤肥力和改善土壤结构等方面具有重要作用。图 4 显示, 土壤有机碳含量从高到低依次为 T4>T8>T3>T7>T9>T1>T5。与 100% 施用化肥的 T1 处理组相比, 除 T5 处理组外, 其他处理组土壤有机碳含量增加了 1.1%~40.1%, 这主要是因为生活垃圾处理产物富含有机质, 将其施入土壤后增加了土壤碳源输入, 从而提高了土壤有机碳含量。土壤总氮含量由高到低依次为: T4>T8>T7>T1>T3>T5>T9。T4 处理组土壤总氮含量最高, 为 1.31 mg/g, 比 T1 处理组增加了 11.1%。补充氮处理组总氮含量反而低于 100% 施用化肥的 T1 处理组, 这可能是因为这些处理组青菜对养分的利用率高, 导致土壤总氮含量降低。与 100% 施用化肥的 T1 处理组相比, T3、T8 处理组的总磷含量分别提高了 34.7%、30.4%, 其他处理组的总磷含量与 T1 处理组相比没有明显差异, 这表明一定比例的生活垃圾处理产物与化肥配施可以提高土壤总磷含量, 提高土壤肥力。由图 4 可看出, 堆肥和沼渣与化肥配施后土壤总钾含量略高于 100% 施用化肥的 T1 处理组, 这可能是因为生活垃圾处理产物本身钾含量高, 施入土壤后除了供应青菜生长所需钾元素外, 还提高了土壤总钾含量。



平均值±标准差 ($n=5$)。各处理见表 2。不同小写字母表示处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

图 3 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对青菜品质的影响

Fig.3 Effects of organic domestic waste compost and combined application of biogas residue and chemical fertilizer on *Brassica chinensis* quality



平均值±标准差 ($n=5$)。各处理见表 2。不同小写字母表示处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

图 4 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对土壤养分含量的影响

Fig.4 Effects of organic domestic waste compost and biogas residue combined with chemical fertilizer on soil nutrient content

2.4.2 土壤酶活性变化特征 脲酶是土壤中主要的水解酶类之一,它可以促进土壤中尿素向植物可吸收的 NH_4^+ 转化,反映了土壤氮素供应水平^[31]。图 5 显示, T7 处理组土壤脲酶活性最高,为 0.95 mg/g,与 100%施用化肥的 T1 处理组相比提高了 26.7%,表明 T7 处理组土壤氮素供应水平最高,土

壤中含较多植物可直接吸收的 NH_4^+ ,青菜吸收 NH_4^+ 后导致植株体内硝酸盐含量升高,因此该处理组对应的青菜硝酸盐含量也是最高的。除 T7 处理组外,其他处理组的土壤脲酶活性无显著差异,其含量为 0.63~0.75 mg/g。

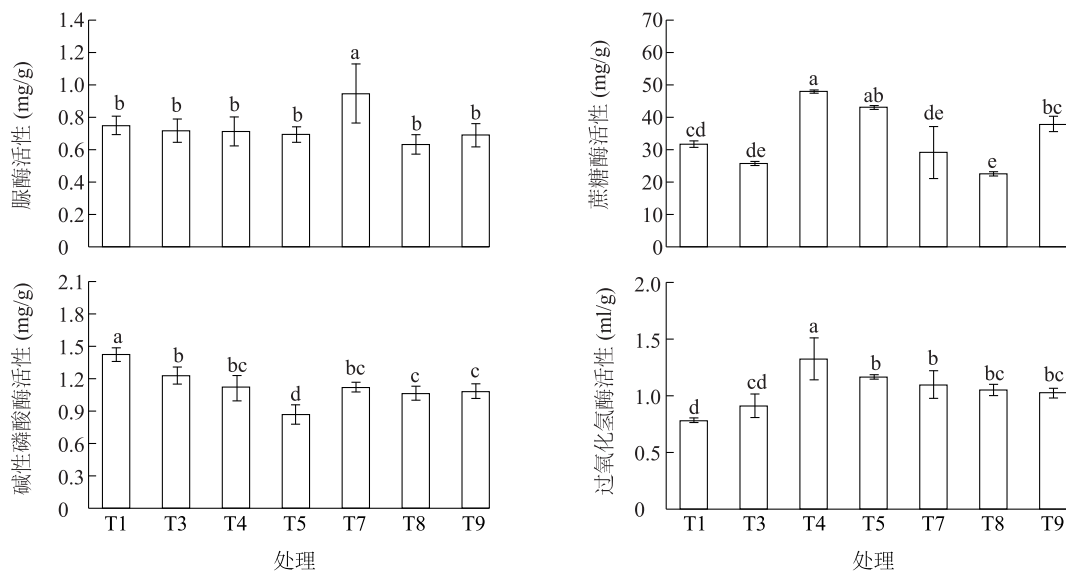
土壤蔗糖酶也属于水解酶的一种,主要参与土

壤中高分子有机物质的代谢过程,将蔗糖水解成葡萄糖和果糖,改善土壤碳素营养状况,可作为评价土壤肥力状况的重要指标^[32]。与土壤脲酶活性不同,对照组和处理组之间土壤蔗糖酶活性存在差异。与 100%施用化肥的 T1 处理组相比,T4、T5、T9 处理组土壤脲酶活性分别提高了 42.8%、30.1%、16.3%,这可能是因为这几个处理组中,施入了更多有机物质,为微生物提供了较多代谢物质,刺激了蔗糖酶活性升高。

土壤磷酸酶活性与 pH 值密切相关,它可以促进土壤有机磷化合物的矿化分解,与土壤磷素生物有效性密切相关^[32]。与 100%施用化肥的 T1 处理组相比,堆肥和沼渣与化肥配施后降低了土壤碱性

磷酸酶活性,这可能是因为两种生活垃圾处理产物 pH 呈酸性,施入后降低了土壤 pH,从而降低了碱性磷酸酶活性。

土壤过氧化氢酶是主要的一类氧化还原酶,是好氧微生物的指示物,它将生物呼吸和其他反应产生的过氧化氢转化为水和氧气,防止过氧化氢过度积累对植物造成毒害作用^[33]。土壤中过氧化氢酶活性从高到低依次为:T4>T5>T7>T8>T9>T3>T1。与 100%施用化肥的 T1 处理组相比,堆肥和沼渣与化肥配施处理可提高土壤过氧化氢酶活性 17.9%~70.5%,这可能是因为施入堆肥和沼渣后,土壤中微生物数量增加,刺激了过氧化氢酶的分泌。



平均值±标准差 ($n=5$)。各处理见表 2。不同小写字母表示处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

图 5 有机生活垃圾堆肥和沼渣与化肥配施对土壤酶活性的影响

Fig.5 Effects of organic domestic waste compost and biogas residue combined with chemical fertilizer on soil enzyme activity

3 讨论

生活垃圾肥料中富含 N、P、K 等青菜需要的各种养分,与化肥配施可供给青菜所需的养分。本试验结果表明,一定比例的堆肥和沼渣与化肥配施处理不仅可以提高青菜产量和干物质积累量,还可一定程度上提高青菜的品质,这与前人研究结果一致^[34],可见堆肥与化肥配施对青菜产量和品质的促进作用更显著。

许多研究结果表明,土壤中施加有机肥可以提高土壤肥力和土壤酶活性^[32-33]。本试验结果表明,

一定比例的堆肥和沼渣与化肥配施不仅增加了土壤碳源的输入量,而且提高了土壤总氮、总磷、总钾含量,改善了土壤肥力。本试验中,堆肥与化肥配施处理对土壤养分含量的提高作用最明显。土壤酶参与了土壤中绝大多数的生物化学反应,其活性高低可以反映土壤综合肥力和土壤养分转化进程^[35-38]。不同比例的堆肥和沼渣与化肥配施对土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性有不同程度的提高作用,却相对抑制了碱性磷酸酶活性,这可能是由于堆肥和沼渣 pH 较低,施入后降低了土壤 pH,导致碱性磷酸酶活性降低。堆肥和沼渣与化肥配施提高了过氧化

氢酶活性,这可能是由于配施增加了土壤微生物的数量,增加的微生物分泌了更多的过氧化氢酶。另外,生活垃圾肥料中大量微生物还可以改变植株的根际土壤环境。研究者发现,在有机肥料中掺入对植株有益的微生物如木霉等,不仅可以改变植株的根际土壤环境,木霉菌株还能通过改变土壤溶磷、溶钾能力,刺激植物分泌吡啶乙酸从而促进植物生长^[39-41]。值得注意的是,村镇有机垃圾中常含有一定的盐分,其转化为肥料后所含盐分对土壤质量造成的潜在影响仍需深入研究^[42]。

4 结 论

相较于单独施用化肥,使用堆肥和沼渣代替部分化肥对青菜产量、品质无显著影响,但在施用化肥的同时补充部分堆肥和沼渣可以增加青菜干物质积累量,并提高青菜品质,同时还能补充土壤养分,提高土壤肥力和土壤酶活性。对比堆肥和沼渣的施用效果发现,堆肥和化肥配施对青菜产量、品质和土壤酶活性的促进作用较好,其中以 20%堆肥和 100%化肥的配施比例最佳。

参考文献:

- [1] HUANG K X, WANG J X, BAI J F, et al. Domestic solid waste discharge and its determinants in rural China[J]. *China Agricultural Economic Review*, 2013, 5(4): 512-525.
- [2] 李 丹,陈冠益,马文超,等. 中国村镇生活垃圾特性及处理现状[J]. *中国环境科学*, 2018, 38(11): 4187-4197.
- [3] 何晶晶,张春燕,杨 娜,等. 我国村镇生活垃圾处理现状与技术路线探讨[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(11): 2049-2054.
- [4] SULTANA M, JAHIRUDDIN M, ISLAM M R, et al. Nutrient enriched municipal solid waste compost increases yield, nutrient content and balance in rice[J]. *Sustainability*, 2021, 13(3): 1047-1047.
- [5] 赵依恒,张宇心,许晶晶,等. 农村生活垃圾好氧堆肥资源化技术[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(1): 186-189.
- [6] 张靖雪,李盼盼,于 洋,等. 基于固液分离预处理的餐厨垃圾厌氧发酵技术研究[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(3): 1252-1258.
- [7] PRAJAPATI P, VARJANI S, SINGHANIA R R, et al. Critical review on technological advancements for effective waste management of municipal solid waste—Updates and way forward[J]. *Environmental Technology & Innovation; Innovation*, 2021, 23(4): 101749.
- [8] 陈润璐,李再兴,冯 晶,等. 农业废弃物厌氧干发酵技术研究进展[J]. *河北科技大学学报*, 2020, 41(4): 365-373.
- [9] 李冰峰,张大雷. 干式厌氧发酵技术现状与国内应用项目简介[J]. *可再生能源*, 2021, 39(3): 294-299.
- [10] 王瑜堂,岳 波,吴小卉,等. 中国村镇生活垃圾的养分与重金属含量特征及其农用潜力分析[J]. *环境工程*, 2017, 35(7): 136-140.
- [11] 葛春辉,杨新华,孙九胜,等. 施入生活垃圾堆肥对玉米品质、产量及土壤理化性质的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(33): 237-241.
- [12] MACHADO R M A, ALVESPEREIRA I, ROBALO M, et al. Effects of municipal solid waste compost supplemented with inorganic nitrogen on physicochemical soil characteristics, plant growth, nitrate content, and antioxidant activity in spinach[J]. *Horticulturae*, 2021, 7(3): 53.
- [13] ALESSIO B. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions[J]. *Waste Management & Research*, 2009, 27(8): 800-812.
- [14] ZHAO H, LI T, ZHANG Y, et al. Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, 17(12): 2718-2730.
- [15] 范海荣,华 璐,王学江. 城市垃圾堆肥及其复混肥对草坪草生长及土壤环境的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 5.
- [16] 王瑜堂,岳 波,吴小卉,等. 中国村镇生活垃圾的养分与重金属含量特征及其农用潜力分析[J]. *环境工程*, 2017, 35(7): 136-140.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版.北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] 中华人民共和国农业农村部. 有机肥料:NY/T525-2021[S].北京: 中国农业出版社, 2021.
- [20] 姜 蒙. 厨余垃圾沼渣特性及资源化利用[J]. *能源与节能*, 2021(5): 74-77.
- [21] 王站付,邱韩英,陆利民,等. 餐厨垃圾堆肥产品施用对水稻产量及土壤环境的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(23): 93-97.
- [22] 倪吾钟,章永松,林咸永. 不同钾肥对几种主要蔬菜作物产量和品质的影响[J]. *浙江农业学报*, 1997, 9(3): 32-37.
- [23] 高红莉. 施用沼肥对青菜产量品质及土壤质量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(S1): 43-47.
- [24] 刘丽鹃,冯宁沙,陈 杰,等. 等氮条件下有机无机肥配施对大棚和露地青菜产量及品质的影响[J]. *上海农业学报*, 2014, 30(4): 29-33.
- [25] 周 芳,刘恩世,孙海彦,等. 水分胁迫对干旱锻炼后木薯叶片内脱落酸、脯氨酸及可溶性糖含量的影响[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(4): 6.
- [26] ENNAJEH M, VADEL A M, KHEMIRA H. Osmoregulation and osmoprotection in the leaf cells of two olive cultivars subjected to severe water deficit[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2009, 31(4): 711-721.

- [27] 尚玉坤,刘思凯,陈杨晗,等. 镉胁迫对东莠野生大豆幼苗抗氧化系统及可溶性蛋白的影响[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(1):15-21.
- [28] 刘玉学,王耀锋,吕豪豪,等. 不同稻秆炭和竹炭施用水平对小青菜产量、品质以及土壤理化性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013,19(6):1438-1444.
- [29] 许宗奇,万传宝,许仙菊,等. 肥料增效剂 γ -聚谷氨酸对小青菜产量和品质的影响[J]. 生物加工过程, 2012,10(1):58-62.
- [30] 姚春霞,郭开秀,赵志辉,等. 减量施肥对三种蔬菜硝酸盐含量、营养品质和生理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2010,24(4):153-156.
- [31] 陈修斌,尹鑫,刘珍伶,等. 水氮合理配合对旱区温室番茄土壤酶活性与水氮利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(6):972-980.
- [32] 关天霞,杨水莲,刘芝妨,等. 连续施用鸡粪有机肥对菜地土壤酶活性的影响[J]. 蔬菜, 2020(12):17-21.
- [33] 关天霞,马国泰,张昊,等. 不同类型畜禽粪便有机肥对辣椒产量及根际土壤酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(11):7.
- [34] 付学琴,陈霞,龙中儿. 城市垃圾堆肥对高羊茅生长及土壤性质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2012,21(2):96-101.
- [35] ZHANJUN L, QINLEI R, WEI Z, et al. Effects of inorganic and organic amendment on soil chemical properties, enzyme activities, microbial community and soil quality in yellow clayey soil.[J]. PloS one, 2017,12(3): e0172767.
- [36] 罗焱霞,肖孔操,赵易艺,等. 长期施肥对西南喀斯特区玉米-大豆轮作根际和非根际土壤氮形态及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(1):195-201.
- [37] 崔爱花,孙亮庆,刘帅,等. 棉花产量和土壤微生物数量及酶活性对棉田间作系统的响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(2):53-58.
- [38] 刘亚柏,黄洁雪,高建芹. 旱地葡萄园套种杂交油菜对土壤酶及养分的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(24):221-225.
- [39] 梁路,沈军,袁丽敏. 木霉生物有机肥和化肥配施对辣椒产量和品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2020,26(21):78-79.
- [40] SWAIN H, ADAK T, MUKHERJEE A K, et al. Seed biopriming with *Trichoderma* isolates improves plant growth and antioxidative defense system in rice[J]. Frontiers in Microbiology, 2021, 12:240-241.
- [41] 刘正洋,王若斐,乔策策,等. 木霉生物有机肥对白菜和甘蓝产量及土壤微生物区系的影响[J]. 南京农业大学学报, 2020, 43(4):650-657.
- [42] 阚慧,孙翔,肖芸,等. 基于好氧堆肥的餐厨垃圾肥料化利用污染分析及控制策略[J]. 环境工程, 2014,32(1):97-101.

(责任编辑:张震林)