

生物有机肥替代化肥对土壤及荠菜产量、品质的影响

殷琳毅¹, 李进^{1,2}, 袁春新², 孙正国¹, 黄步高³

(1. 南通科技职业学院 江苏南通 226007; 2. 南通市农村专业技术协会 江苏南通 226000;

3. 南通市白龙有机肥科技有限公司 江苏南通 226013)

摘要:为明确生物有机肥替代化肥对土壤养分、酶活性和荠菜产量、品质的影响,解决因过量施用化肥导致的问题。采取有机氮(生物有机肥中氮)等量替代化肥氮(复合肥),不设磷和钾等量替代处理。共设6个处理:100%复合肥 900 kg·hm⁻²(CK),有机氮替代化肥氮 20%(T1)、40%(T2)、60%(T3)、80%(T4)、100%(T5)。结果表明,随着有机氮替代化肥氮比例的增加,荠菜采收后土壤有机质不断增加,而氮、磷、钾含量及土壤酶活性先增加后减少,综合评价 T1、T2、T3、T4 处理均能提高土壤养分含量、改善土壤酶活性,T2 处理综合效果最佳。同时,T1、T2、T3、T4 处理荠菜产量比 CK 增加 2.21%~22.11%,T2 处理产量最高,达 19 920.0 kg·hm⁻²,且提升品质综合效果最好。生物有机肥部分替代化肥可以提高土壤肥力,增加荠菜产量、提升品质,生物有机肥氮替代 40%化肥氮为适宜用量。

关键词:荠菜;生物有机肥;化肥;土壤;产量;品质

中图分类号:S636.9+S606

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)01-085-05

Bioorganic fertilizer replacing chemical fertilizer affects the soil and shepherd's purse yield and quality

YIN Linyi¹, LI Jin^{1,2}, YUAN Chunxin², SUN Zhengguo¹, HUANG Bugao³

(1. Nantong Vocational College of Science and Technology, Nantong 226007, Jiangsu, China; 2. Nantong Rural Professional Technology Association, Nantong 226000, Jiangsu, China; 3. Nantong Bailong Organic Fertilizer Technology Co., Ltd., Nantong 226013, Jiangsu, China)

Abstract: In order to clarify the effects of biological organic fertilizer replacing chemical fertilizer on soil nutrients, enzyme activity, shepherd's purse yield and quality, and solve the problems caused by excessive application of chemical fertilizer, organic nitrogen (nitrogen in biological organic fertilizer) was used to replace chemical fertilizer nitrogen (compound fertilizer) in equal amount. There were no replacement of phosphorus and potassium. There were 6 treatments in this study: 100% chemical fertilizer compound fertilizer 900 kg·hm⁻²(CK), organic nitrogen replacing chemical fertilizer nitrogen by 20%(T1), 40%(T2), 60%(T3), 80%(T4), 100%(T5). The results showed that with the increase of the proportion of biological organic fertilizer replacing chemical fertilizer, the soil organic matter increased continuously after shepherd's purse harvest, while the contents of nitrogen, phosphorus and potassium and soil enzyme activity increased first and then decreased. According to the comprehensive analysis results, T1, T2, T3 and T4 treatments could improve the soil nutrient content and enzyme activity, and T2 treatment had the most significant comprehensive effect. The yield of shepherd's purse in T1, T2, T3 and T4 treatments increased by 2.21%-22.11% compared with CK. The yield in T2 treatment was up to 19 920.0 kg·hm⁻², and the comprehensive effect of improving quality was the best. Partial replacement of chemical fertilizer by bioorganic fertilizer could improve soil fertility, and increase the yield and quality of shepherd's purse. In this study, bioorganic fertilizer nitrogen can replace 40% chemical fertilizer nitrogen as the appropriate amount.

Key words: Shepherd's purse; Bioorganic fertilizer; Chemical fertilizer; Soil; Yield; Quality

荠菜 [*Capsella bursa-pastoris* (Linn.) Medic.], 又名护生草、地菜、地米菜等,为十字花科荠菜属的一、二年生草本植物,以嫩叶供食,是野菜中的珍品^[1],深受长三角地区消费者的喜爱。受季节限制,野生荠菜已不能满足城乡居民的消费需求,因而荠

菜人工栽培蓬勃兴起^[2]。施用化肥是农民提高作物产量最有效的手段,为了提高荠菜产量,农民往往过量施用化肥,特别是氮肥。过量施用化肥一方面造成土壤中微生物数量及活性明显下降,导致肥料吸收利用率下降,生产成本增加;另一方面污染水

收稿日期:2022-07-15;修回日期:2022-10-13

基金项目:科技部星火计划重大项目(2014GA69004);南通市通州区科技计划(2021GA69004)

作者简介:殷琳毅,女,高级农艺师,研究方向为蔬菜栽培技术。E-mail:405976604@qq.com

体、大气和土壤等,导致环境恶化问题加重^[3-5]。生物有机肥依靠微生物的代谢活动为植物提供养分和必需物质,兼具微生物肥和有机肥的优点,可以增加土壤有效养分及有机质含量,改善土壤结构,增加土壤微生物活性,促进根系生长,提高肥料利用率,提高产品品质和产量^[6]。在生物有机肥替代部分化肥、减少化肥用量的同时,优化土壤理化性状、土壤团粒结构,增强土壤蓄肥、保水能力,缓解化肥对土壤的不良效应。适量的生物有机肥替代化肥应用于生姜、番茄、茄子等蔬菜生产中,显著提高了产量,也显著提升了可溶性蛋白、维生素C等品质指标的含量^[5,7-8]。但芥菜栽培中应用生物有机肥的研究鲜见报道,生物有机肥替代化肥的研究也未见涉及。基于当前产业对化肥减量增效及有机肥替代化肥的迫切需求,笔者开展生物有机肥替代化肥对土壤及芥菜产量、品质影响的试验研究,应用主成分分析法评价土壤质量,探讨生物有机肥、化肥施用的适宜量,以期为芥菜科学施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2021年在江苏省如皋市长江镇南通科技职业学院薛窑基地进行,土壤为潮土,前茬种植丝瓜。试验开始前0~20 cm土壤的理化性状为有机质含量(w ,后同) $19.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮含量 $1.85 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全磷含量 $1.22 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全钾含量 $14.32 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮含量 $124.30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷含量 $128.16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾含量 $167.51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH值6.4。

1.2 材料

供试芥菜品种为南通地方品种板叶芥菜,由南通科技职业学院在薛窑基地采集。供试化肥为叶菜用复合肥(N:P₂O₅:K₂O质量比为28:8:8),由江苏威尔盛肥料有限公司生产。供试生物有机肥由南通市白龙有机肥科技有限公司生产,其中有机质含量 $\geq 40\%$,有效活菌数 $\geq 0.2 \times 10^8 \text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$,全氮、全磷、全钾含量分别为0.82%、0.23%、0.19%。

1.3 试验设计

2020年5月中旬将采集的芥菜种子,挑选出大小一致、颗粒饱满、无病虫害、结构完整的种子置于冰箱冷藏室,2021年10月18日播种,播种量 $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。每处理 15 m^2 ,随机区组排列,3次重复,每个小区间挖沟隔离,防止肥、水互串,四周设置保护行。试验采取有机氮(生物有机肥中氮)等量替代化肥氮(复合肥),不设磷和钾等量替代处理,以本

地常见施100%复合肥 $900 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (CK)为对照,设置有机氮依次替代20%(T1)、40%(T2)、60%(T3)、80%(T4)、100%(T5)化肥氮等处理。肥料分为基肥和追肥,基肥在2021年10月10日一次性施入,生物有机肥和2/3化肥作基肥施入,剩余肥料在11月22日施入,其他田间管理措施与当地一致^[9-10]。

1.4 测定指标

采收后(2021年12月31日)采集表层(0~20 cm)土壤样品,每小区按照S形采样法采集。每小区重复采样5次,重复样品均匀混合,过2 mm筛,置于4℃冰箱冷藏保存待测。参照鲍士旦^[11]《土壤农化分析》中的方法测定有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量等指标。其中,采用重铬酸钾容量法测定有机质含量,采用半微量开氏法测定全氮含量,采用HClO₂-H₂SO₄法测定全磷含量,采用火焰光度法测定全钾含量,采用碱解扩散法测定速效氮含量,采用钼锑钨比色法测定速效磷含量,采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾含量。参照关松荫^[12]《土壤酶及其研究法》中的方法测定脲酶、蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性等指标。其中,采用苯酚一次氯酸钠比色法测定脲酶活性,采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性,采用磷酸苯二钠比色法测定磷酸酶活性,采用 $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ 滴定法测定过氧化氢酶活性。

采收时每处理随机挖取10株芥菜测定可溶性蛋白、硝酸盐、维生素C、总糖、纤维素含量等指标,参照李合生^[13]《植物生理生化实验原理和技术》中的方法测定。其中,采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白质含量,采用紫外分光光度法测定硝酸盐含量,采用高效液相色谱法测定维生素C含量,采用微量法测定总糖含量、纤维素含量。

芥菜2021年12月27日一次性采收,测定各处理的产量。计算小区平均产量,折算成 1 hm^2 产量。

1.5 数据处理

用Microsoft Excel 2010软件统计分析数据,用SPSS 9.50软件对数据进行方差分析及显著性分析。用SPSS 9.50软件对2021年12月31日采集土壤样本的养分、酶活性进行主成分分析,并对不同处理进行排序和评价^[9]。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥替代化肥对土壤养分含量的影响

由表1可以看出,随生物有机肥替代化肥比例

的增大,芥菜采收后土壤有机质含量随之不断增加,而土壤中的氮、磷、钾含量均呈先增加后降低趋势。T1、T2处理土壤中有机质含量分别比CK增加3.28%、4.92%,T3、T4、T5处理分别比CK显著增加16.39%、18.58%、24.59%。T1处理土壤中全氮比CK增加6.32%,全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别比CK显著增加6.78%、2.25%、7.68%、3.15%、9.48%。T2处理土壤中全磷、全钾、碱解氮、速效磷含量最高,分别比CK显著增加9.32%、5.94%、10.02%、5.22%,全氮、速效钾含量仅次于T3

处理,分别比CK显著增加10.92%、15.93%。T3处理土壤中全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别比CK显著增加13.79%、8.47%、5.39%、9.54%、3.30%、17.69%。T4处理土壤中全氮、碱解氮分别比CK增加4.60%、2.06%,全磷、全钾、速效磷、速效钾含量分别比CK显著增加6.78%、2.46%、4.43%、3.98%。T5处理土壤中全氮、速效磷含量分别比CK减少4.60%、3.78%,全磷、全钾、碱解氮含量分别比CK显著减少3.39%、3.96%、5.58%,速效钾含量比CK增加0.78%。

表1 生物有机肥替代化肥对土壤养分的影响

处理	w(有机质)/ (g·kg ⁻¹)	w(全氮)/ (g·kg ⁻¹)	w(全磷)/ (g·kg ⁻¹)	w(全钾)/ (g·kg ⁻¹)	w(碱解氮)/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效磷)/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾)/ (mg·kg ⁻¹)
CK	18.3 b	1.74 cd	1.18 b	14.65 c	128.38 b	124.72 c	160.14 d
T1	18.9 b	1.85 bc	1.26 a	14.98 b	138.24 a	128.65 a	175.32 b
T2	19.2 b	1.93 ab	1.29 a	15.52 a	141.25 a	131.23 a	185.65 a
T3	21.3 a	1.98 a	1.28 a	15.44 a	140.63 a	128.84 a	188.47 a
T4	21.7 a	1.82 bc	1.26 a	15.01 b	131.03 b	130.25 a	166.52 c
T5	22.8 a	1.66 d	1.14 c	14.07 d	121.21 c	120.01 c	161.39 d

注:同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

2.2 生物有机肥替代化肥对土壤酶活性的影响

从表2可以看出,芥菜采收后T1、T2、T3、T4、T5处理土壤中酶活性总体呈现先增加后降低趋势。T1处理土壤中过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶活性分别比CK显著增加6.49%、12.77%、9.79%,蔗糖酶活性比CK增加4.71%。T2处理土壤中蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性最高,分别比CK显著增加11.25%、39.13%、19.57%,过氧化氢酶活性仅低于T3处理,比CK显著增加20.78%。T3处理土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性分别比CK显著增加22.08%、7.56%、38.04%、16.60%。T4处理土壤中过氧化氢酶、脲酶活性分别比CK显著增加14.29%、36.14%,磷酸酶活性比CK增加0.85%,而蔗糖酶活性比CK显著减少2.45%。T5处理土壤中过氧化

氢酶活性比CK显著增加10.39%,而蔗糖酶、脲酶活性分别比CK显著减少9.04%、5.43%,磷酸酶活性比CK减少3.40%。

2.3 土壤养分含量与酶活性主成分分析

将芥菜采收后土壤中主要养分及酶活性作主成分分析并进行分权计算,计算出各因子在各主成分上的载荷。由表3看出,第一主成分的方差贡献率最大为78.3860%,即涵盖了原始数据信息量的78.3860%,能基本反映生物有机肥替代化肥对芥菜采收后土壤养分含量和土壤酶活性的变化。从表4分权系数看,全氮含量、全磷含量、全钾含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、磷酸酶活性等均在第一主成分内,证明这几个指标可以代表不同处理土壤的变化信息。通过主成分分析计算不同处理综合得分并对其进行排序,由表5所示,不同处理综合得分及排序依次为T2>T3>T4>T1>CK>T5,生物有机肥替代化肥能改善土壤养分含量和酶活性,且其改善程度与生物有机肥替代化肥的使用量有密切关系。

表3 土壤养分含量与酶活性主成分分析

项目	特征根	方差贡献率/ %	累积方差贡献率/ %
第一主成分	8.622 5	78.386 0	78.386 0
第二主成分	1.620 1	14.728 1	93.114 1

表2 生物有机肥替代化肥对土壤酶活性的影响

处理	过氧化氢酶活性/ (mg·kg ⁻¹)	蔗糖酶活性/ (mg·kg ⁻¹)	脲酶活性/ (mg·kg ⁻¹)	磷酸酶活性/ (mg·kg ⁻¹)
CK	0.77 d	45.23 c	3.68 c	2.35 c
T1	0.82 c	47.36 bc	4.15 b	2.58 b
T2	0.93 a	50.32 a	5.12 a	2.81 a
T3	0.94 a	48.65 ab	5.08 a	2.74 a
T4	0.88 b	44.12 d	5.01 a	2.37 c
T5	0.85 bc	41.14 e	3.48 d	2.27 c

表4 土壤养分含量与酶活性主成分的特征向量分析

测定项目	第一主成分	载荷-1/%	第二主成分	载荷-2/%
有机质含量	-0.099 4	-0.235 8	0.745 7	0.964 6
全氮含量	0.334 8	0.984 0	0.036 5	-0.011 2
全磷含量	0.328 2	0.962 5	0.005 5	-0.049 5
全钾含量	0.335 9	0.981 4	-0.045 6	-0.115 7
碱解氮含量	0.330 5	0.958 1	-0.145 9	-0.242 2
速效磷含量	0.304 5	0.886 5	-0.080 9	-0.155 2
速效钾含量	0.317 7	0.939 8	0.113 2	0.089 2
过氧化氢酶活性	0.243 6	0.753 2	0.524 2	0.624 1
蔗糖酶活性	0.316 6	0.910 0	-0.244 0	-0.364 5
脲酶活性	0.302 9	0.906 6	0.252 1	0.268 2
磷酸酶活性	0.321 3	0.938 5	-0.045 0	-0.112 5

注：载荷-1、-2 分别指各主成分上承载的各因子的方差百分率。

表5 不同处理土壤评价指标综合得分及排序

处理	D1	D2	D	排序
CK	-1.586 6	0.994 0	-1.097 2	5
T1	-1.256 3	2.057 7	-0.681 7	4
T2	3.090 8	-6.487 6	1.467 2	1
T3	1.451 7	-0.804 0	1.019 5	2
T4	0.435 6	2.660 6	0.733 3	3
T5	-2.135 0	1.579 2	-1.440 9	6

注：D1、D2 分别为各处理土壤养分含量与酶活性第一、第二主成分评价指标综合得分，D 为第一、第二主成分评价指标综合得分与各自方差贡献率之和。

2.4 生物有机肥替代化肥对芥菜产量的影响

从表6可以看出，各处理随着化肥施入量的减少及配施生物有机肥的增加，芥菜产量呈先增加后降低的趋势。T1处理产量比CK增产2.21%，T2、T3、T4处理产量分别比CK显著增产22.11%、15.16%、6.87%。T2处理产量最高，达19 920.0 kg·hm⁻²；T5处理产量最低，为15 126.7 kg·hm⁻²，比CK显著减产7.27%。各处理根据生物有机肥和化肥N、P、K的含量，按每生产1000 kg芥菜计算，T1、T2、T3、T4处理纯氮、纯磷、纯钾用量均少于CK，T2处理纯氮、纯磷、纯钾用量分别比CK减少18.12%、18.59%、24.26%。

表6 不同处理纯N、P、K芥菜施用量和产量

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	1000 kg 芥菜施肥量/kg		
		纯氮	纯磷	纯钾
CK	16 313.3 d	15.45 b	4.41 b	4.41 a
T1	16 673.3 cd	15.11 b	4.30 b	4.16 b
T2	19 920.0 a	12.65 e	3.59 e	3.34 e
T3	18 786.7 b	13.41 d	3.79 d	3.40 de
T4	17 433.3 c	14.46 c	4.07 c	3.51 d
T5	15 126.7 e	16.66 a	4.67 a	3.86 c

2.5 生物有机肥替代化肥对芥菜品质的影响

从表7可以看出，T1、T2、T3、T4、T5处理芥菜品质的各个指标均比CK改善。T2处理可溶性蛋白、可溶性糖含量最高，分别比CK显著增加22.00%、8.80%；T3处理维生素C含量最高，比CK显著增加5.00%。T2处理维生素C含量仅次于T3处理，比CK显著增加4.30%，且与T3处理差异不显著。随着各处理生物有机肥用量的增加芥菜硝酸盐含量不断下降，T1处理比CK减少3.43%，T2、T3、T4、T5处理比CK显著减少10.50%、13.33%、16.33%、17.36%。综合考虑，T2处理对芥菜品质改善效果最好。

表7 生物有机肥替代化肥对芥菜品质的影响

处理	w(可溶性蛋白)/ (mg·kg ⁻¹)	w(硝酸盐)/ (mg·kg ⁻¹)	w(维生素C)/ (mg·kg ⁻¹)	w(可溶性糖)/ (mg·kg ⁻¹)
CK	94.1 c	563.4 a	369.7 d	1 288.9 d
T1	101.2 b	544.1 a	378.4 c	1 385.3 ab
T2	114.8 a	504.2 b	385.6 ab	1 402.3 a
T3	112.3 a	488.3 bc	388.2 a	1 381.7 b
T4	103.5 b	471.4 cd	379.1 bc	1 371.6 c
T5	96.9 c	465.6 d	373.0 cd	1 300.2 d

3 讨论与结论

化肥对农作物增产见效快，但过量施用化肥，导致养分利用率和生产率下降，对农作物生长、产量及品质产生不利影响^[4]。生物有机肥营养元素齐全，适量化肥与生物有机肥配合使用有利于培肥土壤^[5]。在笔者的研究中，与土壤初始理化性质相比，适当进行有机氮(有机肥中氮)等量替代化肥氮(复合肥)有机肥的施用，增加了有机质及氮、磷、钾的积累，提高土壤的供肥和保肥能力，但过量的有机肥施用量会起到相反的作用^[6]。

酶作为一种蛋白质，能催化一系列化学反应，推动土壤的代谢^[7]。土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性与有害物降解、碳循环、氮转换和磷利用密切相关，酶活性可作为衡量土壤肥力水平的指标^[8]。土壤酶在很大程度上起源于土壤微生物，生物有机肥含有大量有益微生物，施入土壤后能显著提升土壤酶活性。但笔者发现不是生物有机肥施用量越多，化肥施用量越少土壤酶活性越高，这与生物有机肥对小白菜、番茄影响结果相似^[19-20]，可能是生物有机肥中微生物生命活动需利用土壤中氮、磷、钾等养分，而生物有机肥的养分释放缓慢，微生物因没有及时获得足够养分，从而抑制土壤酶活性的提升^[21]。

适量生物有机肥替代化肥可迅速地调节土壤代谢的特性,改善土壤结构,提高土壤中养分的利用效率,从而促进农作物生长,达到提高作物产量和改善农产品质量的目的^[14]。笔者的试验中,T1、T2、T3、T4处理均提高了肥料利用效率,其中T2处理产量最高,达19 920.0 kg·hm⁻²,比CK显著增加22.11%,每生产1000 kg芥菜纯氮、纯磷、纯钾用量最少,比CK分别减少18.12%、18.59%、24.26%,且可溶性蛋白、可溶性糖含量最高,而过度增大有机氮肥施用比例却对产量及可溶性蛋白、维生素C、可溶性糖积累起负面作用。前人通过不同有机、无机氮肥比例对小白菜硝酸盐含量的影响研究表明,增加有机氮肥施用比例能减少土壤硝态氮,土壤硝态氮含量较低条件下小白菜硝酸盐含量也较低^[22]。笔者的试验结果验证了这一结论,随着各处理生物有机肥用量的增加芥菜硝酸盐含量不断下降。生物有机肥替代化肥在一定程度上可以提高土壤的生产能力,而过量施用有机肥会起反作用^[23]。

综上所述,适量的生物有机肥替代化肥有助于实现农业生产中化肥的合理施用,促进农业生产的可持续发展。笔者综合土壤性状及芥菜产量、品质等进行分析,有机氮替代40%化肥氮(N:P₂O₅:K₂O质量比为28:8:8的复合肥900 kg·hm⁻²)效果最好。

参考文献

- [1] 沈东青,王向晖. 虞城芥菜发展概况及优质高产栽培技术[J]. 中国瓜菜,2020,33(7):107-108.
- [2] 袁春新,程玉静,邱晓峰,等. 不同栽培方式对芥菜产量的影响[J]. 热带农业工程,2019,43(3):20-22.
- [3] 尹升华,李进,袁春新,等. 氮素对芥菜生长及产量的影响研究[J]. 安徽农学通报,2020,26(5):110-111.
- [4] 李进,顾绘,殷琳毅,等. 江苏南通大棚草莓连作障碍成因分析[J]. 中国果树,2018(1):48-50.
- [5] 付丽军,王永存,闫红波,等. 化肥减量配施生物有机肥对生姜产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜,2022,35(3):86-91.
- [6] 吕开萌. 测土配方与生物有机肥配施对黄金小玉米与水果黄瓜生物效应研究[D]. 南京:南京农业大学,2020.
- [7] 张俊峰,颜建明,张玉鑫,等. 生物有机肥部分替代化肥对日光温室番茄生长与光合特性及肥料利用率的影响[J]. 北方园艺,2022(11):44-50.
- [8] 申正香,谈守玮. 景电灌区化肥减量配施生物有机肥对茄子生长特性、产量及品质的影响[J]. 节水灌溉,2022(6):72-77.
- [9] 朱利霞,曹萌萌,桑成琛,等. 生物有机肥替代化肥对玉米土壤肥力及酶活性的影响[J]. 四川农业大学学报,2022,40(1):67-72.
- [10] 马顺圣,毛伟,李文西,等. 有机肥等氮量替代化肥对水稻产量、土壤理化性状及细菌群落的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(24):90-94.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2011.
- [12] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [14] 谭军利,马永鑫,王西娜,等. 生物有机肥替代氮肥对压砂西瓜生长、产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2022(7):30-38.
- [15] 冯海萍,程彦弟. 生物有机肥配施化肥对宁南山区露地娃娃菜生长及土壤养分的影响[J]. 中国瓜菜,2020,33(12):66-70.
- [16] 冯焕德,党志国,倪斌,等. 羊粪发酵肥替代化肥对芒果园土壤性状、叶片营养及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2019(6):190-195.
- [17] 姬兴杰,熊淑萍,李春明,等. 不同肥料类型对土壤酶活性与微生物数量时空变化的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(1):123-133.
- [18] 王燕云,赵龙杰,郝春莉,等. 生物有机肥对不同连作年限设施黄瓜土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 浙江农业学报,2019,31(4):631-638.
- [19] 荆瑞勇,王丽艳,郭永霞. 生物有机肥对盆栽小白菜土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 水土保持研究,2015,22(2):79-82.
- [20] 李蒙,张梦媛,龚守富,等. 生物有机肥添加量对番茄幼苗生长的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(5):119-125.
- [21] 曲成闯,陈效民,张志龙,等. 生物有机肥提高设施土壤生产力减缓黄瓜连作障碍的机制[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(5):814-823.
- [22] 沈明星,刘凤军,吴彤东,等. 有机无机氮肥比例对小白菜产量和硝酸盐、VC含量的影响[J]. 江苏农业学报,2009,25(3):560-563.
- [23] 夏思瑶,王冲,王新宇,等. 施用有机肥对生菜产量和品质影响的Meta分析[J]. 中国土壤与肥料,2021(6):312-318.