

餐厨蝇粪替代化肥对白菜和西兰花光合、抗氧化性及品质的影响

杨凯, 董青君, 李其胜, 王东升, 焦加国, 胡锋, 李辉信

引用本文:

杨凯, 董青君, 李其胜, 等. 餐厨蝇粪替代化肥对白菜和西兰花光合、抗氧化性及品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(5): 934–942.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1189>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

氮肥减量配施有机肥对苹果产量品质及土壤生物学特性的影响

杨莉莉, 王永合, 韩稳社, 马林英, 杨乖成, 韩艳云, 同延安

农业环境科学学报. 2021, 40(3): 631–639 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1160>

施肥与填闲种植籽粒苋对油麦菜Cd和土壤Cd的影响

谷佳林, 苏世鸣, 陈延华, 赵同科, 魏丹, 杜连凤, 邹国元

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2198–2204 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0243>

沼液与有机肥配施条件下氮损失风险的研究

周炜, 孙国峰, 王鑫, 童红玉, 盛婧

农业环境科学学报. 2019, 38(8): 1743–1750 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1614>

化肥有机肥配施对盐渍化土壤氨挥发及玉米产量的影响

周慧, 史海滨, 徐昭, 郭珈玮, 付小军, 李正中

农业环境科学学报. 2019, 38(7): 1649–1656 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1406>

微塑料对DBP胁迫下生菜光合作用及品质的影响

王成伟, 刘禹, 宋正国, 高敏苓

农业环境科学学报. 2021, 40(3): 508–516 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1134>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

杨凯, 董青君, 李其胜, 等. 餐余蚓粪替代化肥对白菜和西兰花光合、抗氧化性及品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(5): 934–942.

YANG Kai, DONG Qing-jun, LI Qi-sheng, et al. Effects of partial substitution of chemical fertilizer by vermicompost from food waste on the photosynthesis, antioxidant capacity, and quality of Chinese cabbage and broccoli[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(5): 934–942.



开放科学 OSID

餐余蚓粪替代化肥对白菜和西兰花光合、抗氧化性及品质的影响

杨凯¹, 董青君¹, 李其胜¹, 王东升², 焦加国^{1*}, 胡锋¹, 李辉信¹

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院/江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 南京 210095; 2. 南京市蔬菜花卉科学研究所, 南京 210042)

摘要:为探讨餐余蚓粪部分替代化肥对设施白菜和西兰花生理特性、产量及品质的影响,采用田间大棚试验,以单施化肥(CF)和不施肥(CK)为对照,研究在等量养分条件下,餐余蚓粪(FVF)、猪粪蚓粪(PVF)、鸡粪有机肥(CMF)3种有机肥替代40%化肥(简称有机替代)对西兰花和白菜光合特性、抗氧化性、产量及品质的影响。结果表明,与单施化肥(CF)相比,餐余蚓粪部分替代化肥能不同程度地提高白菜和西兰花的生长、光合作用、抗氧化酶活性与品质,且对产量影响较大。与CF相比,FVF处理白菜和西兰花叶片净光合速率、蒸腾速率分别增加了15.56%、11.80%和25.52%、18.74%,白菜产量增加了22.45%,可溶性蛋白和维生素含量分别增加了220.26%和24.55%。研究表明,餐余蚓粪替代40%化肥可显著改善白菜和西兰花的生理特性、产量及品质,其效果优于猪粪蚓粪和鸡粪有机肥。

关键词:餐余蚓粪有机肥;设施蔬菜;光合作用;抗氧化酶;有机替代;产量

中图分类号:S634;S635.3 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)05-0934-09 doi:10.11654/jaes.2020-1189

Effects of partial substitution of chemical fertilizer by vermicompost from food waste on the photosynthesis, antioxidant capacity, and quality of Chinese cabbage and broccoli

YANG Kai¹, DONG Qing-jun¹, LI Qi-sheng¹, WANG Dong-sheng², JIAO Jia-guo^{1*}, HU Feng¹, LI Hui-xin¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University / Jiangsu Organic Solid Waste Recycling Collaborative Innovation Center, Nanjing 210095, China; 2. Nanjing Institute of Vegetable and Flower Science, Nanjing 210042, China)

Abstract: This study aimed to understand the effects of vermicompost from food waste on the physiological characteristics, yield, and quality of Chinese cabbage and broccoli in a greenhouse. The growth, photosynthesis, antioxidant enzyme activity, yield, and quality of broccoli and Chinese cabbage were analyzed after a partial substitution of the chemical fertilizer (CF) by three organic fertilizers (vermicompost from food waste, FVF; vermicompost from pig manure, PVF; and chicken manure, CMF) with equal amounts of nutrients under fumigation in a greenhouse experiment. The results showed that the growth, photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and quality of cabbage and broccoli were improved by the partial vermicompost substitution with the CF, and the yield was greatly affected. Compared with the single application of CF, the partial substitution of CF with vermicompost from food waste could improve the growth, photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and quality of cabbage and broccoli, and greatly affected the yield. Compared with CF, the net photosynthetic rate and transpiration rate of Chinese cabbage increased by 15.56% and 11.80%, respectively, and increased by 25.52%, 18.74%, respectively, in broccoli. The yield of Chinese cabbage increased by 22.45%, while the soluble protein and vitamin C content increased by 220.26% and 24.55%, respectively. In conclusion, a 40% substitution of vermicompost from food waste for CFs can

收稿日期:2020-10-16 录用日期:2020-12-25

作者简介:杨凯(1996—),女,河南安阳人,硕士研究生,主要从事有机肥替代化肥研究。E-mail:2018103073@njau.edu.cn

*通信作者:焦加国 E-mail:jiaguojiao@njau.edu.cn

基金项目:山东省重点研发计划项目(2019JZZY020614);国家重点研发计划项目(2016YFD0200106);江苏省研究生创新工程项目(SJCX19_0121)

Project supported: The Key R&D Program of Shandong Province (2019JZZY020614); The National Key R&D Program of China (2016YFD0200106); Postgraduate Research & Practice Innovation Program of Jiangsu Province (SJCX19_0121)

significantly improve the growth, physiology, and quality of Chinese cabbage and broccoli, and its effect is better than that of vermicompost from pig manure and chicken manure.

Keywords: vermicompost from food waste; greenhouse vegetables; photosynthesis; antioxidant enzymes; organic substitution; yield

设施蔬菜的发展克服了季节性限制,形成了高投入、高产出的蔬菜生产模式,但也造成了设施菜地连作障碍、养分失衡^[1]、盐碱化、温室气体排放增加^[2]等一系列的环境问题,进而影响蔬菜的产量及品质。如何在保证高收益的前提下,提高作物对不利环境的抵抗能力已成为当前急需解决的问题之一。保证作物健康发展的前提是良好的土壤环境,有机替代是保持土壤健康和可持续发展的重要举措,能够明显促进作物生长发育^[3]。

我国每年产生的餐余废弃物超过6 000万 t^[4],但是餐余废弃物的资源化利用严重不足,给环境带来诸多负面影响。研究表明^[5],以餐余废弃物为原料堆制成的蚓粪有机肥具有极高的养分和有机质含量,可以作为土壤的改良剂。此外,相比常规堆肥产物,蚓粪有机肥具有更高的生物活性^[6]、更好的物理结构,含有多种促进作物生长的生长调节剂,能够为作物生长提供良好的土壤环境,促进其生长发育。大量研究^[7-9]表明,蚓粪有机肥能显著提升蔬菜作物生长、产量和维生素C、可溶性糖等品质。Arancon等^[10]发现餐余蚓粪可以显著促进牵牛花的生长和开花,认为蚓粪中含有的细胞分裂素和生长素是造成这一结果的主要原因。因此,研究餐余蚓粪有机肥替代化肥对作物生长的影响,不仅可以促进餐余废弃物高效生态资源化利用,而且还能改善作物品质,具有重要的理论和研究意义。

光合作用是作物积累养分和干物质的主要途径,与作物产量息息相关。作物在受到某些非生物胁迫(如高温、干旱、盐害等)时,光合速率会下降^[11],继而导致作物产量和品质的下降。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)能指示作物在生长过程中的受胁迫程度,因此常被用作评估作物生长状况的生理指标。Hosseinzade等^[11]研究表明,蚓粪的施用有助于在无胁迫条件下提高鹰嘴豆的光合作用,其主要原因是蚓粪可以增加作物根系CO₂含量,改善土壤持水状况。Xu等^[12]研究发现,与单施化肥相比,蚓粪有机肥可以降低盐胁迫下水飞蓟组织中MDA含量。刘磊^[13]也发现,向日葵叶片的SOD和POD含量会随基质中蚓粪含量的增加而提高。

以往餐余废弃物资源化的研究多集中在堆肥技术的研究,而餐余废弃物经过蚯蚓堆肥后对设施蔬菜生长生理及品质的影响研究较少。因此,本研究选取白菜(*Brassica pekinensis*)和西兰花(*Brassica oleracea*)作为供试作物,以常规猪粪来源蚓粪和鸡粪有机肥作参比,研究餐余蚓粪部分替代化肥对其光合作用、抗氧化性、产量和品质的影响,旨在为我国餐余废弃物资源化利用及提高设施蔬菜作物抗性提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在南京市蔬菜花卉科学研究所位于江宁区横溪街道的研究基地的蔬菜大棚内进行,属亚热带季风气候,年均温为16℃,年降水量为1 363 mm。土壤类型为黄棕壤,基本理化性质为:有机质9.28 g·kg⁻¹,全氮1.59 g·kg⁻¹,全磷0.44 g·kg⁻¹,速效磷56.52 mg·kg⁻¹,速效钾301.75 mg·kg⁻¹,碱解氮82.08 mg·kg⁻¹,pH 6.77。

1.2 供试材料

供试白菜品种为“黄玫瑰”杂种一代不结球新品种,西兰花品种为耐寒“优秀”。

餐余蚓粪由江苏省大硕源环保科技有限公司提供,主要制备流程为:将经过前处理的餐余废弃物进行粉碎、脱油、油盐处理后,与菌渣1:1复配,作为蚯蚓堆肥原料,加入原料质量6.25%的蚯蚓进行堆肥处理,5 d后将蚯蚓挑出得到餐余蚓粪有机肥。猪粪蚓粪由南京博农生物科技有限公司提供,鸡粪有机肥由江阴联业生物有限公司提供,供试有机肥基本性质见表1。

供试化肥:尿素[CO(NH₂)₂]、过磷酸钙[Ca(H₂PO₄)₂·H₂O]和硫酸钾(K₂SO₄)。

1.3 试验设计与方法

试验于2019年9月21日进行,采取氮磷钾总养分替代原则,共设置5个处理,分别为CK(不施肥)、CF(单施化肥)、FVF(40%餐余蚓粪+60%化肥)、PVF(40%猪粪蚓粪+60%化肥)、CMF(40%鸡粪有机肥+60%化肥)。每个处理3个重复,随机区组排列,小区面积7.1 m²。根据当地常规施肥量,总养分施入量为471.42 kg·hm⁻²(N 151.04 kg·hm⁻²、P₂O₅ 151.04 kg·

表1 供试有机肥基本性质
Table 1 Basic properties of organic fertilizer

种类 Types	含水率 Moisture content/%	pH	电导率 EC/(mS·cm ⁻¹)	有机质 OM/ (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P/(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K/(g·kg ⁻¹)
餐厨蚓粪 Vermicompost from food waste	42.10	7.26	4.27	622.20	31.00	25.10	7.20
猪粪蚓粪 Vermicompost from pig manure	18.17	7.66	2.57	297.60	12.60	16.50	7.10
鸡粪有机肥 Chicken manure	28.00	7.51	—	573.10	15.30	16.40	23.10

hm⁻²、K₂O 196.34 kg·hm⁻²)。FVF、PVF 和 CMF 处理均使用有机肥替代氮磷钾总养分的 40%,作为基肥一次性施入。化肥分基肥(30%)和追肥(30%)两次施入。追肥时间为白菜和西兰花的结球初期。各处理具体施肥情况见表 2。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 生长指标测定

在白菜和西兰花不同生育期(白菜:苗期、结球初期、结球后期;西兰花:苗期、莲座期、结球期),使用卷尺测量白菜和西兰花的株高和白菜的开展度,使用游标卡尺测量西兰花的茎粗,叶片的叶绿素值(SPAD)使用便携式叶绿素仪进行测定。

1.4.2 叶片生理指标测定

在白菜和西兰花定植 1 个月左右,采集作物成熟的功能叶片,立即用液氮冷冻,放入干冰中运回实验室,于-80 ℃冰箱保存待测。叶片 SOD、POD、CAT 活性及 MDA 含量采用苏州科铭生物有限公司的试剂盒进行测定。白菜与西兰花定植 50 d 左右,选取晴天上午 9:00—11:00,每个小区随机选取 3 个植株,使用 Li-6400 便携式光合仪测定白菜与西兰花功能叶片的光合特性,设置白菜光强为 800 μmol·m⁻²·s⁻¹,西兰花光强为 1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.4.3 产量及品质测定

在白菜和西兰花成熟期,每小区选取 3 颗白菜和西兰花用于产量和品质测定。可溶性糖采用蒽酮比色法测定,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 染色法

测定,维生素 C 用 2,6-二氯酚靛酚染色法测定,硝酸盐含量用 5% 水杨酸-硫酸法测定。总酚含量参考 Ainsworth 等^[14]的方法。

1.5 数据统计分析

采用 Excel 2016 处理数据和制表,R 语言软件制图,SPSS 22 软件对数据进行方差分析和多重比较(Duncan 法)。图表中数据为平均值±标准误。

2 结果与分析

2.1 餐厨蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花生长的影响

由表 3 可以看出,FVF 处理较 CK 显著增加了白菜的株高、开展度和 SPAD 值,虽然 FVF 处理白菜的株高和开展度与其他施肥处理无显著差异,但在中后期其数值高于其他施肥处理。在白菜结球后期,FVF 处理的 SPAD 值为最高且显著高于 PVF 处理。由表 4 可以看出,施肥显著促进了西兰花的生长。在西兰花苗期,不同施肥处理间无显著差异。在西兰花莲座期与结球期,CF 与 FVF 处理较 CK 均显著增加了西兰花的株高,但 PVF 处理株高仅在莲座期与 CK 有显著差异,CMF 处理与 CK 无显著差异;与 CK 相比,FVF 与 CMF 处理下西兰花的茎粗也显著提高,但 CF 与 PVF 处理仅分别在莲座期和结球期显著高于 CK 处理;在西兰花莲座期和结球期,FVF 处理叶片 SPAD 值均为最高。总之,餐厨蚓粪替代化肥能够显著促进西兰花和白菜的长势,尤其是对 SPAD 的提升效果较好,但

表2 试验处理及具体施肥情况(kg·hm⁻²)
Table 2 Treatments and specific fertilization(kg·hm⁻²)

处理 Treatments	基肥 Base fertilizer				追肥 Topdressing		
	有机肥 Manure	尿素 Urea	过磷酸钙 Superphosphate	硫酸钾 Potassium sulfate	尿素 Urea	过磷酸钙 Superphosphate	硫酸钾 Potassium sulfate
CK	0	0	0	0	0	0	0
CF	0	226.39	881.04	264.31	97.03	377.59	113.28
FVF	5 439.65	57.17	299.92	166.99	57.17	299.92	166.99
PVF	6 730.26	87.41	250.68	151.20	87.41	250.68	151.20
CMF	5 052.89	102.11	380.71	107.99	102.11	380.71	107.99

表3 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜生长的影响

Table 3 Effects of partial substitution for chemical fertilizer by vermicompost from food waste on growth of Chinese cabbage

处理 Treatments	苗期 Seedling stage			结球初期 Early stage of heading			结球后期 Later stage of heading		
	株高 Plant height/ cm	开展度 Crown width/ cm	SPAD	株高 Plant height/ cm	开展度 Crown width/ cm	SPAD	株高 Plant height/ cm	开展度 Crown width/ cm	SPAD
CK	9.51±0.39a	32.42±0.99b	30.91±1.15b	15.57±0.75b	34.99±0.45b	40.54±1.11b	22.39±0.39b	41.00±0.67b	43.08±0.26c
CF	10.48±0.56a	35.60±1.04ab	36.47±0.99a	18.11±1.85ab	38.28±1.7ab	42.58±0.57ab	25.45±1.31ab	45.11±2.38ab	47.13±0.48ab
FVF	10.73±0.47a	36.79±1.33a	36.42±1.87a	21.17±0.56a	39.78±1.34ab	44.50±1.50a	27.44±0.87a	46.44±1.57ab	49.61±0.95a
PVF	10.51±0.35a	36.65±1.14a	36.16±0.48a	18.34±0.75ab	37.73±2.44ab	42.37±0.03ab	25.11±0.95ab	49.78±1.57a	45.30±1.73bc
CMF	10.29±0.19a	34.96±0.3ab	35.42±0.74a	19.13±0.44a	41.19±1.01a	44.65±1.29a	25.33±1.86ab	43.61±3.20ab	48.90±0.93a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Notes: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P<0.05$. The same below.

表4 餐余蚓粪部分替代化肥对西兰花生长的影响

Table 4 Effects of partial substitution for chemical fertilizer by vermicompost from food waste on growth of broccoli

处理 Treatments	苗期 Seedling stage			莲座期 Rosette stage			结球期 Heading stage		
	株高 Plant height/ cm	茎粗 Stem diameter/ mm	SPAD	株高 Plant height/ cm	茎粗 Stem diameter/ mm	SPAD	株高 Plant height/ cm	茎粗 Stem diameter/ mm	SPAD
CK	12.20±0.90b	5.21±0.55b	49.77±0.96b	24.51±1.72b	10.91±0.34b	58.91±1.73b	49.50±2.02b	14.52±1.20b	65.82±1.09b
CF	15.88±1.24a	7.06±0.05a	54.60±1.29a	30.61±1.96a	12.07±0.28a	62.03±1.6ab	58.22±3.09a	16.81±0.30ab	69.77±0.27ab
FVF	15.95±1.15a	7.28±0.31a	55.49±0.95a	32.12±1.88a	12.39±0.16a	64.15±0.94a	59.89±3.32a	17.26±0.68a	74.41±2.25a
PVF	15.17±0.54a	6.72±0.07a	53.78±0.64a	31.43±2.00a	11.55±0.31ab	60.71±1.52ab	57.33±2.08ab	17.18±0.49a	71.34±0.19a
CMF	15.85±0.69a	6.69±0.15a	54.25±0.91a	29.74±1.34ab	11.82±0.23a	61.69±0.45ab	57.00±1.15ab	17.49±0.66a	70.19±2.07ab

与其他施肥处理间差异较小。

2.2 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花生理特性的影响

2.2.1 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花光合作用的影响

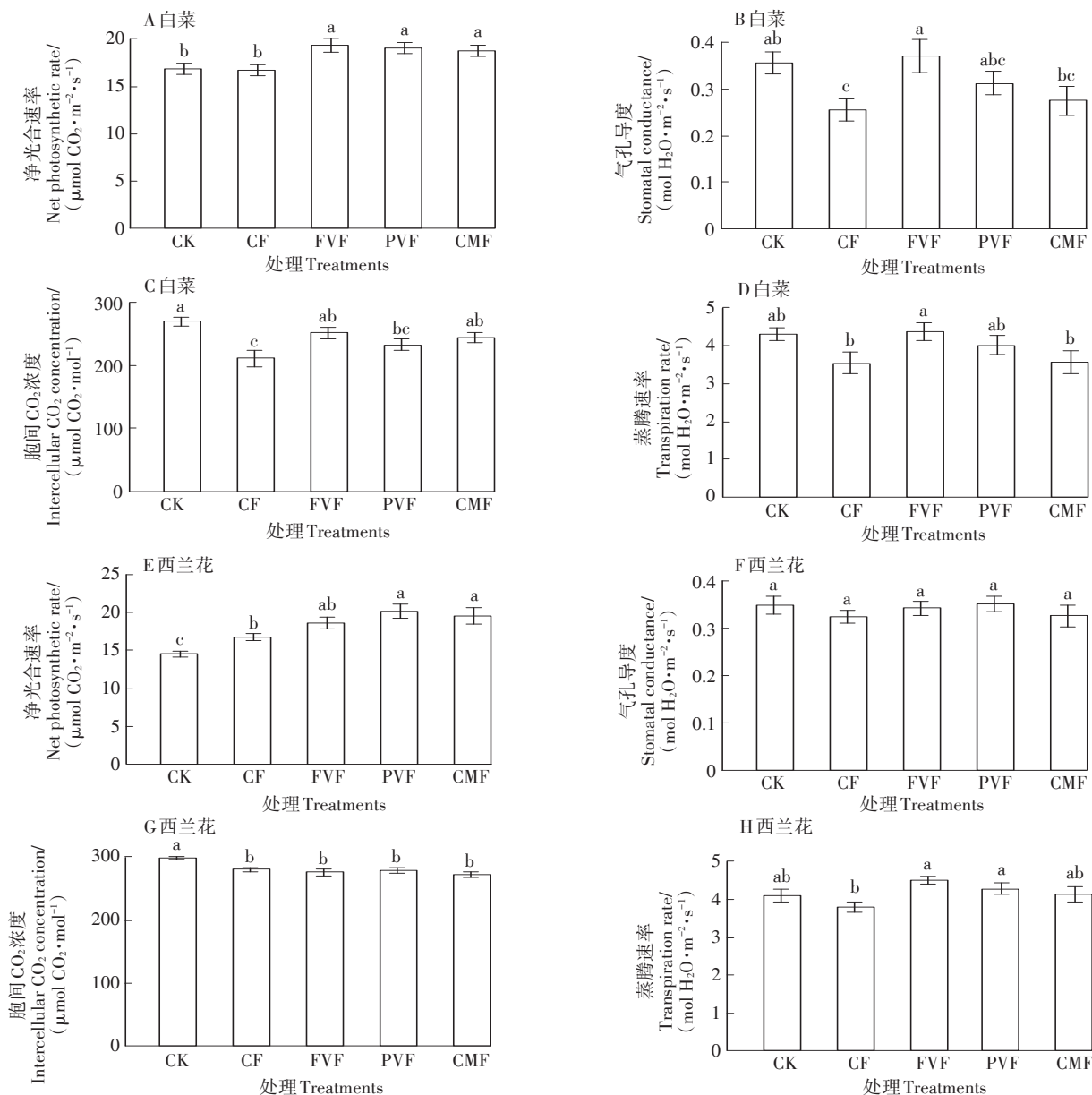
对于白菜而言(图1A~图1D),FVF处理相比于CF显著增加了叶片净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度和蒸腾速率,PVF与CMF处理仅对叶片净光合速率的影响较大。FVF、PVF和CMF处理较CF对净光合速率的提升幅度分别为15.56%、13.94%和12.09%;各处理对白菜气孔导度与蒸腾速率结果相似,均表现为FVF>CK>PVF>CMF>CF,但仅FVF处理显著高于CF处理,增幅分别为45.11%和23.18%。FVF和CMF处理的白菜叶片胞间 CO_2 浓度较CF处理分别增加了19.09%和15.69%。3种有机肥替代处理间以FVF处理下光合作用最强,且FVF处理叶片气孔导度和蒸腾速率显著高于CMF处理。

3种有机肥替代处理对西兰花的光合作用的影响与白菜相似(图1E~图1H)。与CF相比,FVF处理提高了西兰花的净光合速率11.80%,但无统计学差异。相比之下,PVF和CMF处理西兰花净光合速率

显著增加了21.05%和16.58%。不同施肥处理间叶片气孔导度和胞间 CO_2 无显著差异。FVF处理与PVF的蒸腾速率较CF分别显著增加了18.74%和12.85%。总的来说,餐余蚓粪40%替代化肥较单施化肥显著增加了白菜和西兰花的光合作用,且提升效果优于鸡粪有机肥,与猪粪蚓粪无显著差异。

2.2.2 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花抗氧化性的影响

图2为餐余蚓粪替代化肥对白菜和西兰花叶片抗氧化性的影响。由图2A~图2D可以看出,相比CF处理,仅FVF处理显著增加了白菜SOD活性,增幅为23.00%;FVF、PVF处理CAT活性与CF无显著差异,但较CMF处理分别增加了21.52%和25.56%;白菜叶片MDA含量以FVF和PVF较低;不同施肥处理间白菜POD活性无显著差异。由图2E~图2H可知,不同施肥处理间西兰花SOD和CAT活性无显著差异;FVF处理西兰花叶片POD活性显著高于其他处理,按大小顺序排列为FVF>PVF>CF>CMF>CK;与CF相比,CMF处理显著增加了西兰花叶片MDA含量,FVF与PVF无显著差异。西兰花叶片MDA含量以CMF处理最高,且显著高于CF、FVF、PVF处理。总之,与单施



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同

The different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$). The same below

图1 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花光合速率的影响

Figure 1 Effects of partial substitution for chemical fertilizer by vermicompost from food waste on photosynthetic rate of Chinese cabbage and broccoli

化肥、猪粪蚓粪以及鸡粪有机肥相比,餐余蚓粪替代化肥可以显著增加白菜SOD和西兰花POD活性,提升白菜和西兰花的抗氧化性,增强其对不利环境的抵抗能力。

2.3 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花产量和品质的影响

由图3可知,施肥显著增加了白菜和西兰花产量,增幅分别为27.17%~55.71%、21.11%~59.42%。白菜产量以FVF处理最高,达 $98.04 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,且显著高

于CF和PVF处理。西兰花产量以CF($25.03 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)最高,FVF($23.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理次之,且均显著高于PVF和CMF处理。表5结果表明,与CF和CMF相比,FVF处理显著增加了白菜可溶性蛋白,增幅分别为75.18%和58.39%,与CF和PVF相比,FVF处理显著增加了白菜维生素C含量,增幅分别为24.55%和26.75%。餐余蚓粪对白菜可溶性糖、总酚含量、硝酸盐含量等指标的影响与其他施肥处理无显著差异。对于西兰花,FVF处理的可溶性糖和可溶性蛋白含量

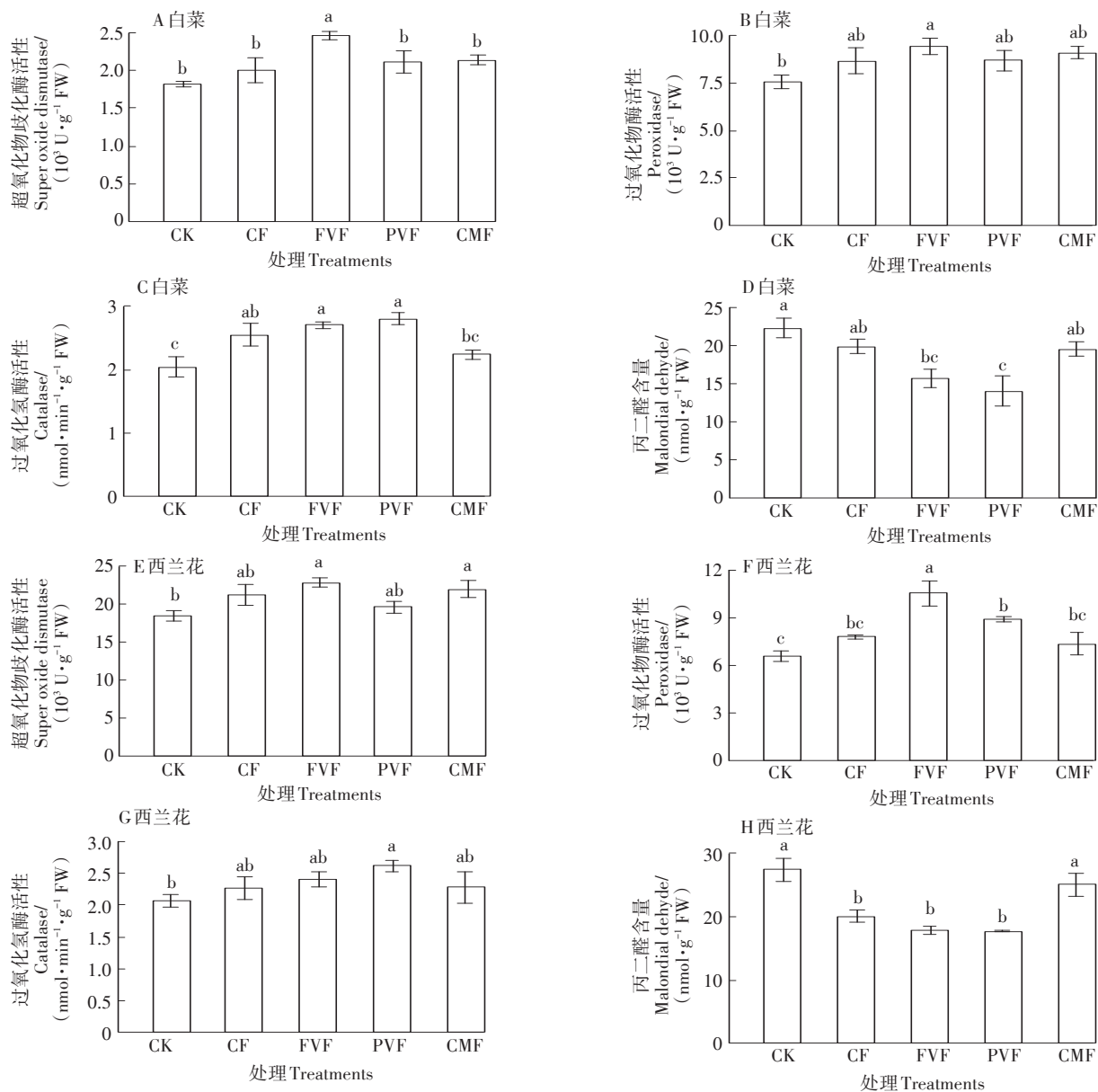


图2 有机肥部分替代化肥对白菜和西兰花抗氧化性的影响

Figure 2 Effects of partial substitution for chemical fertilizer by vermicompost from food waste on the antioxidant system of Chinese cabbage and broccoli

仅显著高于CK处理,与其他施肥处理无显著差异。CMF处理较CF处理显著增加了西兰花可溶性蛋白和总酚含量,增幅为26.78%和40.00%。综上所述,餐余蚓粪有机肥替代化肥相比单施化肥可以显著提高白菜可溶性蛋白和维生素C含量,与鸡粪有机肥相比显著提高了白菜的可溶性蛋白含量,与猪粪蚓粪无显著差异。餐余蚓粪有机肥对西兰花的影响较小,仅较猪粪蚓粪和鸡粪有机肥有显著增产作用。

3 讨论

在本研究中,餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西

兰花的长势有显著的正向影响,尤其是对SPAD的提升效果较好,较CK分别显著提高了15.16%和13.05%,但与其他有机肥替代处理差异较小,这与前人研究相一致^[15-17]。此外,餐余蚓粪替代部分化肥处理的白菜和西兰花的产量提升效果明显优于猪粪蚓粪和鸡粪有机肥。Blouin等^[18]通过Meta分析表明,施用蚓粪有机肥显著增加了农作物的产量和生物量,与本研究结果相似,这是因为施用蚓粪可以提高作物所需养分的有效性,蚓粪中的养分以更易被植物吸收利用的形式存在于土壤中,促进植物的生长发育和干物质积累^[8]。研究表明^[19],施用蚓粪与其他有机肥相比,

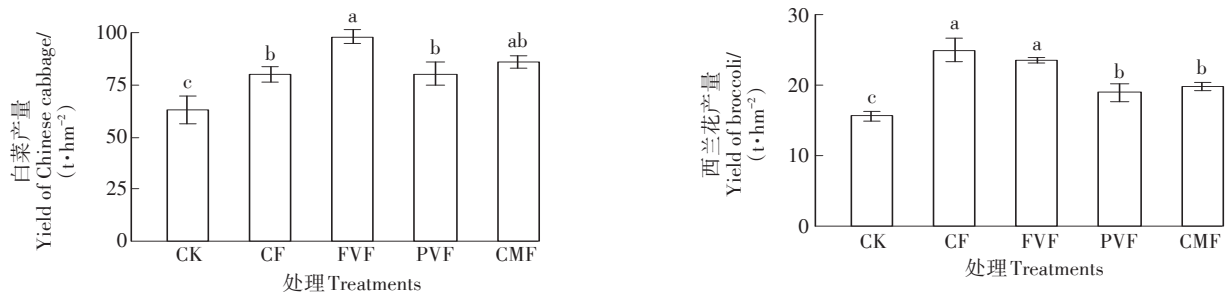


图3 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花产量的影响

Figure 3 Effects of partial substitution for chemical fertilizer by vermicompost from food waste on the yield of Chinese cabbage and broccoli

表5 餐余蚓粪部分替代化肥对白菜和西兰花品质的影响

Table 5 Effects of partial substitution for chemical fertilizer by vermicompost from food waste on the yield of Chinese cabbage and broccoli

蔬菜 Vegetables	处理 Treatments	可溶性糖 Soluble sugar/(mg·g ⁻¹)	可溶性蛋白 Soluble protein/(mg·g ⁻¹)	硝酸盐含量 Nitrate/(mg·kg ⁻¹)	维生素C Vitamin C/(mg·100g ⁻¹)	总酚 Total phenol/(mg·g ⁻¹)
白菜 Chinese cabbage	CK	10.06±0.62b	2.27±0.34c	1 001.13±96.22a	16.35±1.35b	4.15±0.34b
	CF	10.71±0.78ab	4.15±0.87bc	911.04±59.59ab	17.31±0.83b	4.58±0.53ab
	FVF	13.55±0.79ab	7.27±1.19a	854.73±51.61ab	21.56±2.10a	5.52±0.36a
	PVF	14.41±1.07a	5.36±0.25ab	877.25±81.21ab	17.01±0.58b	4.79±0.41ab
	CMF	13.10±2.07ab	4.59±0.40bc	753.38±51.61b	18.06±0.37ab	5.53±0.18a
西兰花 Broccoli	CK	11.44±0.45b	6.35±1.05c	201.58±29.79a	3.02±0.64b	4.40±0.28b
	CF	14.09±0.44ab	6.76±1.11bc	190.32±11.26a	3.59±0.76ab	4.70±0.43b
	FVF	14.60±1.11a	8.38±0.50ab	190.32±29.79a	4.64±0.72ab	5.52±0.73ab
	PVF	14.61±0.72a	6.81±0.44bc	179.05±19.51a	3.44±0.51ab	5.34±0.15ab
	CMF	13.60±1.17ab	8.57±1.63a	156.53±29.79a	5.37±0.10a	6.58±0.42a

可以提高土壤中固氮菌活性,促进土壤中氮的矿化,增加土壤中矿质态氮的含量。而氮素是决定作物生长及产量的必要元素,植物叶片叶绿素含量(SPAD值)也主要取决于叶片有效氮含量^[20]。王亚利等^[16]通过研究餐余蚓粪与畜禽粪便对鸡毛菜生长影响发现,餐余蚓粪中养分可利用性明显高于畜禽粪便,这可能是鸡粪有机肥对生长产量促进效果不及餐余蚓粪的原因。

本研究发现,餐余蚓粪替代化肥较单施化肥和鸡粪有机肥显著增加了白菜的营养品质,与猪粪蚓粪差异较小。这与赵海涛等^[9]、申飞等^[21]的研究结果一致。研究表明^[22],适量施用氮肥可以增加蔬菜维生素C、可溶性蛋白和可溶性糖含量,但氮素投入过量也会降低蔬菜的营养品质。单施化肥虽然可以提供大量氮素,但在设施灌溉量大、氮素种类单一的设施环境下,氮素的淋失以及硝酸盐的积累同样严重,蚓粪良好的物理结构可以减少土壤中氮素流失。有研究^[23]证实蚓粪可以提高土壤中氮循环酶的活性,促进硝态氮向铵态氮的转化,增加作物对氮素的利用效率,从而提高作物品质。本研究中猪粪蚓粪和餐余蚓粪对蔬菜

品质影响差异较小且优于鸡粪有机肥,说明蚓粪对品质的提高受原料(即养分含量)的限制较小,更可能与蚓粪自身性质有关。蚓粪相比于其他有机肥,其含有的腐植酸类物质^[24]可能是蚓粪优于其他有机肥的主要因素之一。

本研究表明,餐余蚓粪有机肥40%替代化肥较单施化肥可以显著增加白菜和西兰花的光合作用,且优于鸡粪有机肥替代,但与猪粪蚓粪替代无显著差异。先前已有类似的报道,蒲瑶瑶等^[25]研究发现,相比鸡粪和生物有机肥,蚓粪替代化肥对西瓜光合作用的影响最佳。Zuo等^[26]发现,盆栽试验条件下添加20%~50%的蚓粪可以显著提高草莓的光合参数。本研究中,不同处理对白菜和西兰花净光合速率的影响与气孔导度、蒸腾速率相似,说明气孔导度与蒸腾速率的增加是引起白菜和西兰花光合作用增强的原因之一。这可能是由于蚓粪良好的物理结构改善了土壤持水性^[27],促进了作物根系对水分的吸收,提高了作物的水分利用效率。较高的叶片含水量有助于气孔的开放和蒸腾速率的提高,更多的CO₂进入到叶片^[28],从而提高了作物的净光合速率。有研究表

明^[10],蚓粪中含有的细胞分类素、生长素可以吸附在腐植酸上,与腐植酸共同作用促进作物生长和叶面积的增加,进而促进植物对光的吸收,提高光合速率。除此之外,光合速率还与作物体内的光合酶活性以及叶绿素含量密切相关。本研究已证明了蚓粪对叶绿素含量的提升效果(表3、表4),在对不同有机肥对西瓜光合酶活性的影响中也发现了蚓粪对西瓜光合酶活性的影响显著优于单施化肥和鸡粪有机肥^[29]。

本研究还发现了餐余蚓粪替代化肥较单施化肥显著提高了白菜叶片SOD活性和西兰花叶片POD活性。相比之下猪粪蚓粪和鸡粪有机肥替代化肥对白菜和西兰花抗氧化性并无显著影响,且鸡粪有机肥的施用还增加了叶片MDA的含量。刘磊^[13]研究表明,随着蚓粪施用量的增加,向日葵叶片SOD和POD活性随之升高。Zuo等^[26]研究发现,盆栽土壤中加入20%~30%蚓粪能显著增加草莓叶片SOD活性,降低MDA含量。相比化肥,餐余蚓粪对作物叶片抗氧化性的影响主要可以归结为以下两点:一是餐余蚓粪中含有大量的微量元素(如铁、锰、铜、锌等),例如存在于植物假体基团中的铁和铜均可激活SOD、POD和CAT^[30]等抗氧化酶,从而破坏植物体内的ROS,降低植物体内MDA含量。其次,餐余蚓粪施入土壤后,土壤中微生物种群数量和多样性的增加以及病原菌的减少也是作物对病原体和生物胁迫(如干旱、高温盐胁迫等)抗性增加的关键因素^[31]。集约化养殖条件下,畜禽粪便往往存在重金属超标、激素和抗生素残留等环境风险,尤以鸡粪和猪粪较为严重^[32],虽然经过不同方式堆肥,但仍可能对作物抗氧化性造成损伤。而餐余蚓粪不存在上述问题,这可能是餐余蚓粪优于其他两种有机肥的原因。

按照江苏省有机肥的市场价为每吨800元来计算,在40%有机替代条件下,餐余蚓粪有机肥、猪粪蚓粪有机肥以及鸡粪有机肥的施用成本分别为每公顷4320、5360元和4080元。3种有机肥中餐余蚓粪与鸡粪有机肥价格相当,猪粪蚓粪略高,而对作物生长及产量的提升效果以餐余蚓粪最佳,因此餐余蚓粪有机肥可以作为成本适中的优质有机肥,来促进蔬菜作物的生长,提高作物产量及品质。

4 结论

(1)相比单施化肥,餐余蚓粪替代40%化肥促进白菜和西兰花的净光合速率、SOD和CAT活性,并且可以提高白菜的产量、可溶性蛋白和维生素C含量。

(2)餐余蚓粪对白菜和西兰花生长、光合作用和品质的提升效果优于鸡粪有机肥,但与猪粪蚓粪差异较小;餐余蚓粪对西兰花和白菜抗氧化性的影响优于其他两种有机肥。

(3)餐余蚓粪替代部分化肥,可以在不影响产量的前提下,促进作物生长、提高作物抗逆性。

参考文献:

- [1] 刘传云,管西林,邹春琴,等.不同有机物料对设施黄瓜生长及土壤性状的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(2):360-368. LIU Chuan-yun, GUAN Xi-lin, ZOU Chun-qin, et al. Effects of different organic materials on the growth of greenhouse cucumber and soil properties[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(2):360-368.
- [2] 王小淇,索龙,季雅岚,等.添加几种秸秆并淹水对海南土壤N₂O和CH₄排放的影响[J].环境科学学报,2017,37(10):4004-4010. WANG Xiao-qi, SUO Long, JI Ya-lan, et al. Effect of addition of several types of straws on N₂O and CH₄ emissions from soil under flooding condition in Hainan Province[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, 37(10):4004-4010.
- [3] 刘星,张书乐,刘国锋,等.土壤熏蒸-微生物有机肥联用对连作马铃薯生长和土壤生化性质的影响[J].草业学报,2015,24(3):122-133. LIU Xing, ZHANG Shu-le, LIU Guo-feng, et al. Soil fumigation and bio-organic fertilizer application promotes potato growth and affects soil bio-chemical properties in a continuous cropping system[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(3):122-133.
- [4] 胡新军,张敏,余俊锋,等.中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策[J].生态学报,2012,32(14):4575-4584. HU Xin-jun, ZHANG Min, YU Jun-feng, et al. Food waste management in China: Status, problems and solutions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(14):4575-4584.
- [5] 宋雪英,郭畔,宋晗,等.利用新鲜餐厨垃圾进行蚯蚓堆肥的试验[J].沈阳大学学报(自然科学版),2016,28(6):452-456. SONG Xue-ying, GUO Pan, SONG Han, et al. Vermicomposting test of fresh kitchen waste with *Eisenia foetida*[J]. *Journal of Shenyang University (Natural Science)*, 2016, 28(6):452-456.
- [6] Joshi R, Singh J, Vig A P. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: Effect on growth, yield and quality of plants[J]. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2014, 14(1):137-159.
- [7] 吕振宇,马永良.蚯蚓粪有机肥对土壤肥力与甘蓝生长、品质的影响[J].中国农学通报,2005(12):236-240. LÜ Zhen-yu, MA Yong-liang. Effects of earthworm manure on soil fertility, growth and quality of cabbage[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005(12):236-240.
- [8] 滕明蛟,万兵兵,王东升,等.蚓粪施用方式对不同品种番茄生长和土壤肥力的影响[J].土壤,2017,49(4):712-718. TENG Ming-jiao, WAN Bing-bing, WANG Dong-sheng, et al. Effects of vermicompost application modes on growth of two tomato cultivars and soil fertility[J]. *Soil*, 2017, 49(4):712-718.
- [9] 赵海涛,罗娟,单玉华,等.蚓粪有机无机复混肥对黄瓜产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1288-1293. ZHAO

- Hai-tao, LUO Juan, SHAN Yu-hua, et al. Effect of vermicompost organic-inorganic compound fertilizer on yield and quality of cucumber [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2010, 16(5): 1288-1293.
- [10] Arancon N Q, Edwards C A, Babenko A, et al. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse[J]. *Applied Soil Ecology*, 2008, 39(1): 91-99.
- [11] Hosseinzadeh S R, Amiri H, Ismaili A. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress[J]. *Photosynthetica*, 2015, 54(1): 87-92.
- [12] Xu L, Yan D, Ren X, et al. Vermicompost improves the physiological and biochemical responses of blessed thistle (*Silybum marianum* Gaertn.) and peppermint (*Mentha haplocalyx* Briq.) to salinity stress [J]. *Industrial Crops & Products*, 2016, 94: 574-585.
- [13] 刘磊. 不同配比蚯蚓粪栽培基质对盆栽观赏向日葵形态与生理指标的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2010: 31-40. LIU Lei. Effects on different proportion worm-cast on characteristic and physiological index of helianthus annuus[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2010: 31-40.
- [14] Ainsworth E A, Gillespie K M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent[J]. *Nature Protocols*, 2007, 2(4): 875-877.
- [15] 李静娟, 周波, 张池, 等. 中药渣蚓粪对玉米生长及土壤肥力特性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2651-2657. LI Jing-juan, ZHOU Bo, ZHANG Chi, et al. Effects of herb residue vermicompost on maize growth and soil fertility[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(9): 2651-2657.
- [16] 王亚利, 杨光, 熊才耘, 等. 蔬菜废弃物蚯蚓堆肥对鸡毛菜生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2129-2135. WANG Ya-li, YANG Guang, XIONG Cai-yun, et al. Effect of vegetable waste vermicompost on the growth of *Brassica chinensis*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(10): 2129-2135.
- [17] Goswami L, Nath A, Sutradhar S, et al. Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 200: 243-252.
- [18] Blouin M, Barrere J, Meyer N, et al. Vermicompost significantly affects plant growth: A meta-analysis[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2019: 39(4): 34.
- [19] Singh R P, Varshney G. Effects of carbofuran on availability of macronutrients and growth of tomato plants in natural soils and soils amended with inorganic fertilizers and vermicompost[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2013, 44(17): 2571-2586.
- [20] Clevers J G P W, Gitelson A A. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 2013, 23: 344-351.
- [21] 申飞, 朱同彬, 滕明蛟, 等. 蚓粪和益生菌互作对土壤性状及番茄产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 484-490. SHEN Fei, ZHU Tong-bin, TENG Ming-jiao, et al. Effects of interaction between vermicompost and probiotics on soil property, yield and quality of tomato[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(2): 484-490.
- [22] 李会合, 王正银, 李宝珍. 蔬菜营养与硝酸盐的关系[J]. 应用生态学报, 2004(9): 1667-1672. LI Hui-he, WANG Zheng-yin, LI Bao-zhen. Relationship between vegetable nutrition and nitrate content[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004(9): 1667-1672.
- [23] 申飞, 刘满强, 李辉信, 等. 蚓粪和益生菌互作对土壤性状、菠菜产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(5): 90-95. SHEN Fei, LIU Man-qiang, LI Hui-xin, et al. Effect of vermicompost and probiotics interaction on yield and quality of spinach and soil properties[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016(5): 90-95.
- [24] Atiyeh R M, Arancon N Q, Edwards C A, et al. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 81(2): 103-108.
- [25] 蒲瑶瑶, 吕秀敏, 邹梦成, 等. 熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜生长及养分利用的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 306-311. PU Yao-yao, LÜ Xiu-min, WU Meng-cheng, et al. Effect of partial substitution for fertilizer by organic fertilizer on growth and nutrient use of watermelon under fumigation condition[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, 31(6): 306-311.
- [26] Zuo Y, Zhang J, Zhao R, et al. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 233: 132-140.
- [27] Atik A. Effects of planting density and treatment with vermicompost on the morphological characteristics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.)[J]. *Compost Science & Utilization*, 2013, 21(2): 87-98.
- [28] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P, et al. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 93(2): 145-153.
- [29] 杨凯, 吴倩, 蒲瑶瑶, 等. 熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜光合和氮代谢酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 905-911. YANG Kai, WU Qian, PU Yao-yao, et al. Effects of partial substitution for chemical fertilizer by organic fertilizer on activities of photosynthetic enzyme and nitrogen metabolism enzyme of watermelon under fumigation[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2020, 51(4): 905-911.
- [30] Roy S, Arunachalam K, Dutta B K, et al. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*[J]. *Applied Soil Ecology*, 2010, 45(2): 78-84.
- [31] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(6): 831-840.
- [32] 张俊亚, 魏源送, 陈梅雪, 等. 畜禽粪便生物处理与土地利用全过程中抗生素和重金属抗性基因的赋存与转归特征研究进展[J]. 环境科学学报, 2015, 35(4): 935-946. ZHANG Jun-ya, WEI Yuan-song, CHEN Mei-xue, et al. Occurrence and fate of antibiotic and heavy metal resistance genes in the total process of biological treatment and land application of animal manure: A review[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, 35(4): 935-946.