

# 原位发酵猪粪肥对土壤微生物及黄瓜生产的影响

周小林<sup>1,2,3</sup>, 欧杨虹<sup>1,3</sup>, 朱方丽<sup>1</sup>, 王小红<sup>1</sup>

(1. 南通科技职业学院 江苏南通 226007; 2. 南通市植物有害生物监测与综合治理重点实验室 江苏南通 226007; 3. 江苏省农业农村污染防治技术与装备工程研究中心 江苏南通 226007)

**摘要:**为探究原位发酵猪粪肥对土壤微生物及作物生产的影响,采用基肥配施不同的原位发酵猪粪肥进行设施黄瓜生产,通过测定黄瓜产量和品质、土壤微生物数量和酶活性等指标,调查黄瓜霜霉病发生状况,探索其对提高黄瓜产量、品质和防控霜霉病的效果。结果显示,全量施用原位发酵猪粪肥处理黄瓜霜霉病病情指数为6.30,比不施用粪肥处理降低78.71%,霜霉病进一步发展后不施用原位发酵猪粪肥处理的黄瓜叶片失绿,小区(30 m<sup>2</sup>)产量仅为167.67 kg,全量施用原位发酵猪粪肥处理的小区产量为297.40 kg,比不施粪肥处理的产量提高了77.37%。全量施用原位发酵猪粪肥黄瓜维生素C含量为18.95 mg·100 g<sup>-1</sup>,硝酸盐含量为73.02 mg·kg<sup>-1</sup>,与不施用处理相比,维生素C含量提高34.11%,硝酸盐含量降低13.42%。同时,全量施用原位发酵猪粪肥可显著提高土壤微生物量和过氧化氢酶活性,但对土壤脲酶活性没有显著影响。全量、半量粪肥、不施用粪肥土壤微生物量碳含量分别为292.87、252.62、122.78 mg·kg<sup>-1</sup>。试验连续3个生长季施用全量原位发酵猪粪肥,可有效控制黄瓜霜霉病的发生,提高黄瓜的产量和品质,研究结果为原位发酵猪粪肥用于作物生产提供基础依据。

**关键词:**原位发酵猪粪肥;土壤微生物;酶活性;黄瓜霜霉病

中图分类号:S642.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)10-052-06

## Effects of pig-manure fertilizer from in-situ fermentation on soil microorganisms and cucumber production

ZHOU Xiaolin<sup>1,2,3</sup>, OU Yanghong<sup>1,3</sup>, ZHU Fangli<sup>1</sup>, WANG Xiaohong<sup>1</sup>

(1. Nantong College of Science and Technology, Nantong 226007, Jiangsu, China; 2. Nantong Key Laboratory for Pest Monitoring and Comprehensive Treatment, Nantong 226007, Jiangsu, China; 3. Jiangsu Technology and Equipment Engineering Research Center of Prevention and Control of Agricultural and Rural Pollution, Nantong 226007, Jiangsu, China)

**Abstract:** Designed base application of pig-manure fertilizer from in-situ fermentation with different levels to explore the effects on soil microorganisms and yields. We analyzed the yields and qualities of cucumber, microorganisms and enzyme activity in soil, as well as the occurrence of cucumber downy mildew. The results showed that, full-using pig-manure fertilizer from in-situ fermentation compared with no application, the disease index of cucumber downy mildew was 6.30, 78.71% reduction compared to non pig-manure fertilizer. After the further development of downy mildew, the cucumber leaves without pig-manure treatment lost their green color, resulting in a yield of only 167.67 kg per 30 m<sup>2</sup>, and the yield of treatment with full application of pig-manure fertilizer was 297.40 kg per 30 m<sup>2</sup>, which was 77.37% higher than the treatment without pig-manure. The contents of vitamin C and nitrate of the treatment with full application of pig-manure fertilizer from in-situ fermentation were 18.95 mg·100 g<sup>-1</sup> and 73.02 mg·kg<sup>-1</sup>. Compared with the non application pig-manure treatment, the vitamin C content increased by 34.11% and the nitrate content decreased by 13.42%. At the same time, the application of pig-manure fertilizer from in-situ fermentation can significantly increased soil microbial carbon and catalase activity, but had no significant effect on soil urease activity. The microbial-carbon contents in soil were 292.87, 252.62 and 122.78 mg·kg<sup>-1</sup>, in full-using, half-using and non-using pig-manure fertilizer from in-situ fermentation respectively. Full-using pig-manure fertilizer from in-situ fermentation for three consecutive growing seasons in the experiment could control the occurrence of downy mildew and improve effectively the yield and quality of cucumber. The results provide the basis for the pig-manure fertilizer from in-situ fermentation which can be used on crop production.

**Key words:** Pig-manure fertilizer from in-situ fermentation; Soil microorganism; Enzyme activity; Downy mildew of cucumber

收稿日期:2023-07-12;修回日期:2023-08-14

基金项目:南通市科技计划项目(MS22021013)

作者简介:周小林,男,副教授,主要研究方向为植物病害绿色防控及安全农产品生产。E-mail:zx1700621@sina.com

原位发酵床养殖技术是一种将畜禽饲养及粪尿处理统一在养殖舍内完成的环保型饲养方式,可从源头解决畜禽粪便污染问题,实现畜禽粪便的原位分解<sup>[1]</sup>。与传统养猪模式相比,原位发酵床养猪可在很大程度上改善猪的生活环境,降低猪的疾病发生率和死亡率<sup>[2-3]</sup>。对发酵床垫料的微生物群落<sup>[4-5]</sup>、细菌群落结构动态变化<sup>[6]</sup>的研究发现,发酵床垫料中的微生物多样性显著提高。发酵床粪肥作为优质的有机肥用于设施黄瓜生产,能起到促进生长<sup>[7]</sup>、增产提质<sup>[8-9]</sup>的作用。

土壤是影响植物病害发生的重要因素之一,可以通过施用生物有机肥等措施调节并改善土壤环境,发挥其在植物病害控制中的重要作用,但目前这方面的研究基本集中在根肿病、枯萎病等植物根部病害或土传病害中<sup>[10-11]</sup>。黄瓜霜霉病是黄瓜生产上重要的叶部病害之一,控制不当可造成毁灭性损失,近年来对设施黄瓜霜霉病防治的研究主要集中在使用化学药剂<sup>[12-14]</sup>,也有少量应用几丁聚糖、哈茨木霉等生物制剂的研究报道,但生产上应用较少<sup>[10]</sup>,尚未见到通过发酵床粪肥等生物有机肥施用控制黄瓜霜霉病的相关报道。

笔者以设施黄瓜为试验材料,基肥施用不同数量的原位发酵猪粪肥,通过测定黄瓜产量和品质、土壤微生物数量和酶活性,以及黄瓜霜霉病发生状况等指标,探索其对土壤微生物、黄瓜产量和品质,以及黄瓜霜霉病发生等的影响,为设施黄瓜霜霉病的有效防控和高品质生产提供基础依据,同时也可进一步挖掘原位发酵猪粪肥的应用价值,提升原位发酵床养殖的综合效益。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

1.1.1 供试原位发酵猪粪肥 原位发酵床垫料使用纯木屑,厚度 60 cm,单个圈舍 20 m<sup>2</sup>,放养体重 15 kg 左右三元仔猪 8 头;仔猪进圈后 7 d 内,在饲料中添加包含两歧双歧杆菌、枯草芽胞杆菌和粪肠球菌的复合菌剂(南通龙凤祥生物科技有限公司生产),全程饲喂玉米、豆粕和青饲料,不使用添加剂;生产过程中以表面不飞尘、不发白为原则,保持垫料适宜的含水量,中途视猪拱混垫料和圈舍环境情况适当辅助人工翻混垫料。在仔猪饲养 6~8 个月、体重 150 kg 左右时出栏,将垫料建堆进一步发酵,待堆体中心温度降至 40 ℃ 以下可用于作物种植。

原位发酵猪粪肥为南通科技职业学院自有养殖场生产,施用前性状检测结果为 pH 7.86,含水量 48.23%,有机质含量(w,后同)60.28%,全氮含量 0.98%,全磷含量 0.43%,全钾含量 0.94%。

1.1.2 供试黄瓜 选用品种为黑优 301,由河南豫艺种业科技发展有限公司生产。

1.1.3 供试化肥 化肥为 N、P、K 含量为 15-15-15 的复合肥,由中化农业生态科技(湖北)有限公司生产。

### 1.2 试验设计

试验田块位于江苏省如皋市长江镇南通科技职业学院薛窑校区,试验钢架大棚长、宽为 40 m×8 m,0~20 cm 土层土壤 pH 7.86,有机质含量 10.2 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量 167.3 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量 15.2 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量 187.8 mg·kg<sup>-1</sup>。

试验设置复合肥 60 kg·667 m<sup>2</sup>(F)、复合肥 60 kg·667 m<sup>2</sup>+半量(2.5 m<sup>3</sup>·667 m<sup>2</sup>)发酵粪肥(HO)、复合肥 48 kg·667 m<sup>2</sup>+全量(5.0 m<sup>3</sup>·667 m<sup>2</sup>)发酵粪肥(AO)3 个处理,每个处理 3 次重复,随机区组排列,每小区面积 30 m<sup>2</sup>。原位发酵猪粪肥在 2023 年 2 月 14 日施用,与土壤翻混后保持潮湿状态,复合肥在 3 月 14 日定植起垄时一次性施用。试验田块经过 1 年 2 季的种植(番茄和白菜),黄瓜种植是第 2 年第 3 季,每季作物生产都采用上述同样肥料处理。

2023 年 2 月 14 日黄瓜育苗,采用 50 孔穴盘。3 月 14 日移栽,株行距为 40 cm×70 cm。整个黄瓜生长阶段不施药。移栽后 20 d 和 50 d 分 2 次采集土壤样品,进行土壤中可培养微生物、土壤微生物量碳和酶活性等检测;结瓜后每 2 d 采收 1 次,在盛瓜期(5 月 8 日)选择节位、大小相近,瓜形正常的黄瓜进行品质测定;对黄瓜霜霉病进行系统监测,在其发生高峰期对各处理进行病情调查。

### 1.3 方 法

1.3.1 土壤性状检测 土壤理化性质的检测:采用烘干法测定土壤含水量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用氟化铵-盐酸浸提钼锑抗比色法测定土壤速效磷含量;采用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰光度法测定速效钾含量;采用重铬酸钾氧化-外加加热法<sup>[15]</sup>测定有机质含量。

采用平板涂布菌落计数法测定土壤微生物含量,分别选用牛肉膏蛋白胨、改良高氏 1 号和马丁氏培养基培养细菌、放线菌和真菌<sup>[16]</sup>。

采用氯仿熏蒸浸提、TOC 法<sup>[17]</sup>测定土壤微生物量碳含量;采用苏州科铭生物的试剂盒测定过氧化

氢酶活性,以每天 1 g 土催化 1 μmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 定义为 1 个酶活性单位;采用苏州科铭生物的试剂盒测定脲酶活性,以每天 1 g 土产生 1 μg NH<sub>3</sub>-N 定义为 1 个酶活力单位。

1.3.2 黄瓜产量和品质测定 黄瓜可采收后,隔天采收 1 次,每个小区单独测产量。

黄瓜品质的测定:采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用水杨酸法测定硝酸盐含量;采用 2,6-二氯靛酚比色法测定维生素 C 含量;采用考马斯亮蓝 C-250 染色法测定可溶性蛋白含量;采用折光仪测定可溶性固形物含量<sup>[18]</sup>。

1.3.3 黄瓜霜霉病调查 黄瓜霜霉病发病状况调查,每个小区调查 10 株,每株上、中、下部位各调查 3 片叶。

黄瓜霜霉病分级标准:0 级为无病;1 级为病斑面积占整片叶面积的 5% 及以下;3 级为病斑面积占整片叶面积的 6%~10%;5 级为病斑面积占整片叶面积的 11%~25%;7 级为病斑面积占整片叶面积的 26%~50%;9 级为病斑面积占整片叶面积的 50% 以上<sup>[10]</sup>。

病情指数 =  $\sum(\text{病级株数} \times \text{病级数}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高病级值}) \times 100$ ;

防治效果 / % =  $(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}) / \text{对照病情指数} \times 100$ 。

1.4 数据分析

采用 WPS Microsoft Excel 进行数据处理, SASS 24.0 进行统计分析,采用单因素方差分析法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤中可培养微生物数量的影响

由表 1 可知,在 4 月 3 日的测定结果中显示,施用原位发酵猪粪肥处理可提高可培养微生物数量,全量、半量粪肥及不施粪肥处理,细菌数量分别

表 1 不同处理土壤中可培养微生物数量

Table 1 Quantity of cultivated microorganisms in the soil under different treatment

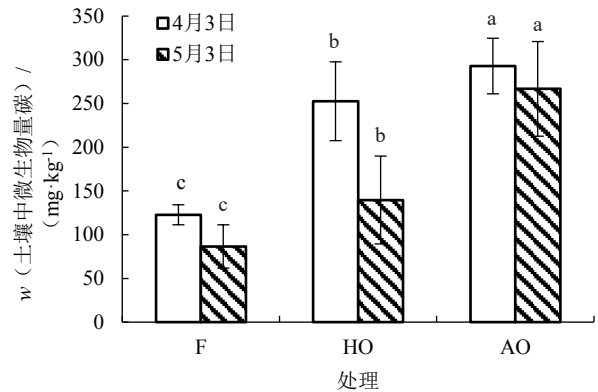
时间	处理	细菌/ ( $\times 10^6$ CFU·g <sup>-1</sup> )	真菌/ ( $\times 10^3$ CFU·g <sup>-1</sup> )	放线菌/ ( $\times 10^5$ CFU·g <sup>-1</sup> )
2023-04-03	F	1.2±0.09 b	4.1±0.95 b	4.1±1.67 b
	HO	1.9±0.35 b	7.7±1.11 a	6.5±1.41 b
	AO	2.6±0.85 a	9.6±2.12 a	8.7±2.01 a
2023-05-03	F	1.5±0.26 b	3.5±1.32 b	5.2±1.89 b
	HO	1.6±0.18 b	3.7±1.71 b	5.8±0.99 b
	AO	2.0±0.35 b	4.5±1.04 b	7.4±3.24 b

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。表 2~3 同。

为 2.6、1.9 和 1.2( $\times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>),真菌数量分别为 9.6、7.7 和 4.1( $\times 10^3$  CFU·g<sup>-1</sup>),放线菌数量分别为 8.7、6.5 和 4.1( $\times 10^5$  CFU·g<sup>-1</sup>)。但在 30 d 后的 5 月 3 日检测结果中,3 个处理间各指标数值间均没有显著差异,说明随着原位发酵猪粪肥施用时间的延长,其对试验培养微生物的促生作用减弱。

2.2 不同施肥处理对土壤微生物量碳含量的影响

由图 1 可以看出,在两次检测中,添加原位发酵猪粪肥可有效提高土壤微生物量碳(MBC)含量,3 个处理间均达到显著差异水平。在 4 月 3 日,F、HO、AO 处理的 MBC 含量分别为 122.78、252.62、292.87 mg·kg<sup>-1</sup>,AO 处理 MBC 含量分别是 HO 和 F 的 1.16 倍、2.39 倍;在 5 月 3 日,F、HO、AO 处理的 MBC 值分别为 86.56、139.66、266.76 mg·kg<sup>-1</sup>,AO 处理 MBC 含量分别是 HO 和 F 的 1.91 倍、3.08 倍,但相比于第 1 次检测,各处理 MBC 含量均有下降。



注:不同小写字母表示同一时间检测结果在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同处理土壤微生物量碳含量的变化

Fig. 1 Content of soil microbial carbon under different treatment

2.3 不同施肥处理土壤酶活性的变化

2.3.1 土壤过氧化氢酶活性 过氧化氢酶主要来源于土壤微生物,在腐殖质的形成过程中具有重要作用,其活性可反映土壤呼吸强度和微生物活动状况。由图 2 可以看出,在 4 月 3 日,施用原位发酵猪粪肥土壤中过氧化氢酶活性显著高于未施用原位发酵猪粪肥的处理,其中全量施用粪肥的 AO 处理的土壤过氧化氢酶活性最高,为 57.13 μmol·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,F、HO 处理的含量为 46.84、56.03 μmol·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。但在 5 月 3 日,F、HO、AO 处理的土壤过氧化氢酶活性分别为 46.53、55.17、55.53 μmol·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,F 处理显著低于 HO 和 AO 处理。

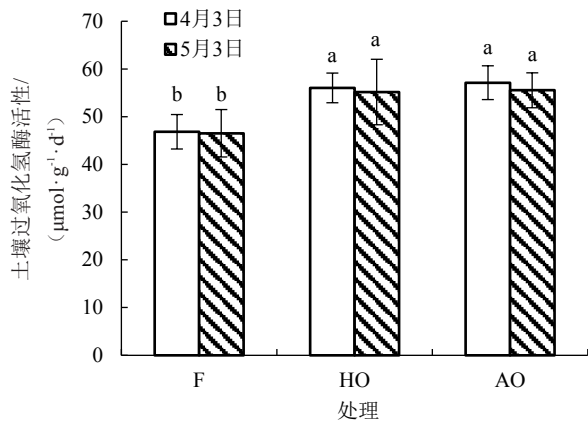


图2 不同处理土壤中过氧化氢酶活性  
Fig. 2 Content of catalase activity in soil under different treatment

2.3.2 土壤脲酶活性 土壤脲酶活性可反映土壤的肥沃程度,在土壤氮素转化中脲酶是关键酶。由图3可以看出,在4月3日,F、HO、AO处理土壤中脲酶活性分别为598.1、590.0、563.7 μg·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>;在5月3日,F、HO、AO处理土壤中脲酶活性变为297.6、316.2、314.5 μg·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。同一个采样时间点采集的土壤中脲酶活性均没有显著差异,但未施用粪肥F处理2个时间点脲酶活性变化最大,下降了300.5 μg·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,AO处理2个时间点酶活性变化最小,为249.2 μg·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。

2.4 不同施肥处理对黄瓜产量的影响

施用原位发酵猪粪肥可明显提高黄瓜产量。

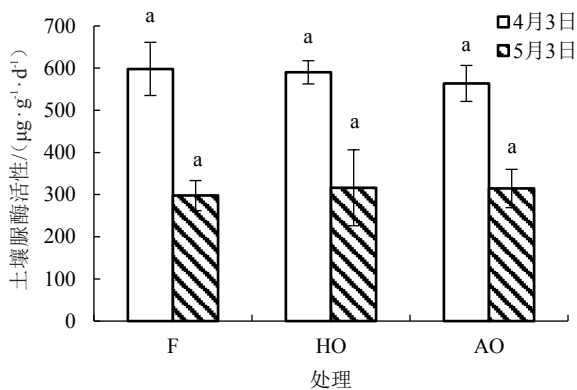


图3 不同处理土壤中脲酶活性  
Fig. 3 Content of urease activity in soil under different treatment

因本次试验未进行杀菌剂控病和肥料追施,黄瓜有效采收期只有30 d。由表2可知,不施粪肥及半量、全量粪肥处理的小区(30 m<sup>2</sup>)产量分别为167.67、243.08、297.40 kg,与不施粪肥处理相比,半量、全量粪肥处理黄瓜产量分别提高了44.98%、77.37%。由于整个生长过程中没有施用农药,F处理受霜霉病的影响,大部分叶片失绿,产量形成主要集中在前20 d;AO处理由于受霜霉病影响较小,因此在整个采收期都有比较持续且稳定的产量,尤其在最后的10 d,AO处理产量显著高于F处理和HO处理。

表2 不同处理黄瓜产量的变化

Table 2 Changes in cucumber yield under different treatment

产量处理	小区产量(开始10 d)/kg	小区产量(中间10 d)/kg	小区产量(最后10 d)/kg
F	51.47±6.66 b	72.50±7.51 b	43.70±4.92 c
HO	73.63±9.78 b	94.67±4.33 a	74.78±4.43 b
AO	83.83±3.05 a	98.87±5.67 a	114.70±7.44 a

2.5 不同施肥处理对黄瓜品质的影响

由表3可以看出,与不施粪肥相比,施用原位发酵猪粪肥显著提高了黄瓜的品质,主要表现在显著提高了维生素C和可溶性糖含量,显著降低了硝酸盐含量。试验3个处理之间可溶性糖含量达到显著差异水平,HO和AO分别为1.73%和1.87%,均显著高于F处理的1.51%;与不施粪肥相比,施用粪肥后可提高黄瓜中维生素C含量,硝酸盐含量下降,AO处理维生素C含量为18.95 mg·100 g<sup>-1</sup>,显著高于F处理34.11%,硝酸盐含量为73.02 mg·kg<sup>-1</sup>,显著低于F处理13.42%;3个处理间可溶性蛋白和可溶性固形物含量则没有显著差异。

2.6 不同施肥处理对黄瓜霜霉病控制效果的影响

施用原位发酵猪粪肥对黄瓜霜霉病发生的影响见表4,不同处理间黄瓜霜霉病病情指数均达到显著差异水平。在4月29日,施用全量原位发酵猪粪肥、半量和不施粪肥处理黄瓜病情指数则分别为6.30、16.25和29.59,防治效果分别达到78.71%和45.08%。随着霜霉病病情进一步发展,至5月15日,纯化肥F处理的黄瓜霜霉病已极为严重,全

表3 不同处理黄瓜的品质

Table 3 Quality of cucumber under different treatment

处理	w(维生素C)/(mg·100 g <sup>-1</sup> )	w(可溶性糖)/%	w(可溶性蛋白)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(硝酸盐)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(可溶性固形物)/%
F	14.13±1.30 b	1.51±0.05 c	1.68±0.17 a	84.34±5.11 a	2.17±0.25 a
HO	15.97±0.52 ab	1.73±0.05 b	2.08±0.30 a	78.58±2.12 ab	2.49±0.29 a
AO	18.95±0.72 a	1.87±0.09 a	2.07±0.25 a	73.02±4.83 b	2.62±0.34 a

株叶片均已基本失绿,全量和半量施粪肥的防治效果分别达到 88.72%和 80.21%。结果显示,施用原位发酵猪粪肥可有效控制黄瓜霜霉病的发生,试验的 2 个粪肥施用量处理中,粪肥全量施用的控制效果显著高于半量处理。

表 4 不同处理黄瓜霜霉病发生状况

Table 4 Occurrence of downy mildew of cucumber under different treatment

调查时间	处理	病情指数	防治效果/%
2023-04-29	F	29.59±1.30 a	
	HO	16.25±1.24 b	45.08
	AO	6.30±1.06 c	78.71
2023-05-15	F	100.00±0.00 a	
	HO	19.80±2.06 b	80.21
	AO	11.27±2.04 c	88.72

注:同列数据后不同小写字母表示同一时间不同处理在 0.05 水平差异显著。

### 3 讨论与结论

前人研究表明,施用生物有机肥可以促进根际有益微生物繁殖,减少病害发生,对黄瓜霜霉病有明显防治效果<sup>[19-20]</sup>,与本研究施用原位发酵猪粪肥对黄瓜霜霉病有显著控制效果的结果一致,相比目前主要应用的化学防治方法,施用生物有机肥具有安全、绿色的优势。

与不施粪肥相比,施用原位发酵猪粪肥后可增加土壤中可培养微生物数量及提高微生物量碳含量和过氧化氢酶活性,与李建欣等<sup>[21]</sup>的菌渣有机肥在黄瓜上施用的效果一致,整个生育期过氧化氢酶活性呈下降趋势,与高转琴等<sup>[22]</sup>冀南平原盐渍化改造区土壤过氧化氢酶活性变化研究及郑斯尹等<sup>[23]</sup>不同氮肥用量对玉米田土壤酶活性及微生物量碳、氮的影响结果一致。土壤中微生物量碳含量反映了土壤微生物对碳的转化固定与利用情况,有机肥对微生物量碳的促进作用很明显<sup>[24]</sup>,是反映土壤微生物活动的主要指标。土壤微生物和土壤酶是转化土壤肥力不可缺少的活性物质,在维持土壤生态系统的稳定性、土壤养分分解、抗逆性等方面占据主导地位,控制着土壤生态系统功能的关键过程<sup>[25-26]</sup>,并与氮素营养的稳定供给等有关。施用原位发酵猪粪肥能提升土壤中过氧化氢酶活性,促进土壤微生物活动,提高土壤呼吸强度。

增施有机肥在显著提高黄瓜产量的同时提高果品品质<sup>[21,27]</sup>,本研究结果表明,施用原位发酵猪粪肥对黄瓜霜霉病控制效果好,黄瓜产量高且稳定,

HO 和 AO 较霜霉病严重的常规复合肥种植产量提高 44.98%和 77.37%。在果实品质方面,与不施粪肥相比,全量施用原位发酵猪粪肥可以显著提高黄瓜维生素 C 和可溶性糖含量,降低黄瓜中硝酸盐含量,与陆静<sup>[9]</sup>的研究结果一致。

原位发酵猪粪肥含有丰富的腐殖质、微生物和营养物质,对土壤性状有很大的改善作用<sup>[28]</sup>。此类粪肥的生产涉及多门类知识,核心环节是垫料发酵床的维护,生猪饲养各生产管理环节对最终粪肥的性状都会产生影响。宦海琳等<sup>[29]</sup>的研究表明,垫料组成是影响发酵床垫料微生物构成的重要因素,发酵床菌群在垫料中能持续稳定地将猪粪进行原位降解,但优势菌群会随着垫料环境的变化而增减<sup>[30]</sup>,罗佳等<sup>[31]</sup>研究发现,不同来源的有机肥对土壤中微生物区系改变方向不一样。随着环保压力的日益增加和农户环保意识的逐渐增强,发酵床养猪技术逐渐被农户接受。

综上所述,原位发酵猪粪肥对土壤微生物和酶活性有积极作用,可提升黄瓜产量和品质且有效控制霜霉病。试验设置的连续三季施用全量原位发酵猪粪肥,可有效控制黄瓜霜霉病的发生,而无需使用其他治理手段,但半量施用控制能力还不够强,需辅助使用其他治理措施。本研究结果在促进原位发酵床畜禽养殖与蔬菜生产循环模式发展中具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 刘波,朱昌雄.微生物发酵床零污染养猪技术的研究与应用[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [2] 刘波.保障生态安全的无害化养猪:微生物发酵床工程化技术体系[J].中国猪业,2012(12):8-11.
- [3] 陈燕萍,刘波,夏江平,等.不同配比椰子壳粉和菌糠制作微生物发酵床养猪垫料的理化性质及养殖效果研究[J].福建农业学报,2012,27(12):1369-1377.
- [4] 叶世豪,沈琦,李园成,等.秸秆垫料的猪粪异位发酵床微生物群落分析[J].农业环境科学学报,2020,39(3):638-647.
- [5] 管业坤,杨艳,王荣民,等.利用 16Sr-DNA 高通量测序技术对发酵床垫料微生物区系的分析[J].家畜生态学报,2015,36(12):72-79.
- [6] 朱双红.猪生物发酵床垫料中细菌群落结构动态变化研究[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [7] 王东升,戎茸,吴旭东,等.不同施肥处理对黄瓜生长及产量的影响[J].中国瓜菜,2019,32(11):37-42.
- [8] 张晓雯,毛涛,赵蕊,等.畜禽粪便生态肥配方筛选及对温室土壤理化性质、酶活性和黄瓜品质的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(1):119-127.
- [9] 陆静.畜禽粪便组合肥对土壤微生物、酶活性及黄瓜品质的影

(下转第 64 页)