

套种韭菜配施生物有机肥对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响

柳 影, 丁文娟, 曹 群, 刘小锋, 李伟鑫, 梁宇力, 李华兴*

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要:通过田间试验,研究了香蕉套种韭菜和配施生物有机肥对香蕉生长、香蕉枯萎病、土壤微生物以及土壤酶的影响。结果表明,香蕉套种韭菜及配施生物有机肥均对香蕉枯萎病有显著的防病效果,以有机肥+香蕉单作(A1B1)处理的防病效果为0,有机肥+香蕉与韭菜套作(A1B2)、生物有机肥+香蕉单作(A2B1)和生物有机肥+香蕉与韭菜套作(A2B2)处理的防病效果分别达到13.6%、18.7%和45.2%;香蕉套种韭菜及配施生物有机肥均对香蕉生长有显著的促进作用,A2B2对香蕉生长促进效果最佳,香蕉移栽240 d后,株高、叶宽、茎围和产量比A1B1分别提高了20.0%、6.6%、10.6%和55.6%。施用生物有机肥后土壤细菌和放线菌数量的增加、真菌和尖孢镰刀菌数量的减少达到了显著水平;香蕉套种韭菜处理的土壤细菌含量显著增加,放线菌、真菌和尖孢镰刀菌含量显著降低。香蕉套种韭菜处理的土壤酶活性均显著高于香蕉单作,配施生物有机肥后土壤酶活性得到进一步增强。

关键词:生物有机肥;香蕉枯萎病;土壤微生物;土壤酶活性;套作

中图分类号:S436 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)02-0303-07 doi:10.11654/jaes.2015.02.014

Effects of *Allium tuberosum* Interplanting and Bio-organic Fertilizer Application on Banana Wilt Disease and Soil Microorganisms

LIU Ying, DING Wen-juan, CAO Qun, LIU Xiao-feng, LI Wei-xin, LIANG Yu-li, LI Hua-xing*

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: It has been well known that interplanting could reduce plant diseases. In this experiment, the effects of *allium tuberosum* interplanting and bio-organic fertilizer application on banana *Fusarium* wilt disease, soil microorganisms and soil enzyme activities were examined under field conditions. Results showed that banana disease index was significantly reduced by applying bio-organic fertilizer and interplanting *allium tuberosum*. Compared with A1B1, the disease controlling efficiency was 13.60%, 18.70% and 45.23% for A1B2, A2B1, and A2B2, respectively. Banana growth was significantly promoted by both interplanting *allium tuberosum* and applying bio-organic fertilizer. The greatest treatment effects were observed in A2B2, with stem length, leaf width, stem girth, and banana yield being increased by 20.01%, 6.58%, 10.56% and 55.56%, respectively, relative to the control. Applications of bio-organic fertilizer increased the population of bacteria and actinomyces in soil, but decreased that of soil fungi and *Fusarium oxysporum*. Interplanting banana with *allium tuberosum* increased the number of bacteria in soil, while significantly reduced that of fungi, actinomyces and *Fusarium oxysporum*. Soil enzyme activities were higher under *allium tuberosum* interplanting than banana alone. Bio-organic fertilizer could further increase the activities of soil enzymes.

Keywords: bio-organic fertilizer; banana wilt disease; soil microorganism; soil enzyme activity; interplanting

香蕉枯萎病(Banana vascular wilt),又名香蕉黄叶病,因其最早发生于巴拿马,所以又称为巴拿马病,是由土壤中尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum* f.sp.

cubense, Foc) 侵染引起的毁灭性土传维管束病害^[1]。近年来由于香蕉枯萎病的危害,使香蕉的种植面积呈现明显的递减增长,香蕉产业面临萎缩^[2]。香蕉枯萎病已经严重阻碍了香蕉的生产和发展,成为香蕉生产急需解决的问题^[3]。对于该病的防治,国内外做了很多研究,如通过抗病育种、轮作、嫁接、化学药剂、高温灭菌等多种途径进行综合防治^[4]。生物防治具有无污染、不杀伤天敌、不会(或较少)产生抗药性、有利于人畜安

收稿日期:2014-08-05

基金项目:国家自然科学基金项目(40971155);广东省教育部产学研结合项目(2009B090300330)

作者简介:柳 影(1985—),女,博士研究生,专业方向为土壤微生物。

E-mail:liuyingfighting@126.com

* 通信作者:李华兴 E-mail:huaxli@scau.edu.cn

全及环境保护、兼防兼治,且符合发展有机农业的要求,备受人们重视^[5]。

近年来的研究表明,生物有机肥能够调节土壤中微生物区系组成,使其向着健康方向发展,从而在一定程度上减少作物病害的发生^[6]。许多研究证明,合理的套作可以减轻病害的发生。例如吐鲁番地区种植哈密瓜套作棉花的,减少了哈密瓜根部病害的发生率^[7]。因此,采用套作系统配合生物有机肥的施用来控制植物病害,符合农业可持续发展的要求。本研究拟通过大田试验检验香蕉套种韭菜并配施生物有机肥对香蕉枯萎病的防治效果,进而分析这类措施对香蕉植株生长、土壤微生物群落以及土壤酶的影响,为香蕉枯萎病的大田综合防治措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试植株

香蕉苗:巴西香蕉(*Musa acuminata* AAA Cavendish cv. Brazil),购自广东省果树研究所。

韭菜(*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng):购自广州市天河区种子分公司。

1.1.2 供试病原菌

病原菌:尖孢镰刀菌古巴专化型4号生理小种(*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Race 4)以下简称FOC4,由华南农业大学资源环境学院姜子德教授提供,本试验室保存。

1.1.3 供试肥料

化肥:由尿素、磷酸一铵、氯化钾三种肥料按 $N:P_2O_5:K_2O=1:0.5:1.8$ 混合而成。

有机肥:由广东省番禺永雄有机肥料厂提供,有机肥以米糠、豆粕、玉米粉、花生麸等高纤维有机物原材料,添加有固氮菌群、解磷细菌群和解钾细菌群等多种植物促生菌(PGPR, Plant growth promoting rhizobacteria)。全N为 $41.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全P为 $7.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全K为 $16.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $678.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH为5.13。

生物有机肥:由本试验室自行研制,将有机肥和生防菌剂按一定比例混合而成,生防菌株为解淀粉芽孢杆菌AF11b(*Bacillus amyloliquefaciens*),由本试验室筛选、分离并鉴定,对病原菌FOC4有较强的拮抗能力。全N为 $41.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全P为 $7.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全K为 $16.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $678.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH为5.13,使用前生物有机肥中菌株AF11b活菌数为 $3.0\times 10^7\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

1.1.4 供试土壤

本试验于2012年4月至2013年4月,在广东省增城市华南农业大学科研教学基地(东经 113.81° ,北纬 23.13°)进行,供试土壤为赤红壤发育的菜园土,基本性质如下:pH 5.76,有机质 $13.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效N $72\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效P $19.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效K $43.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

1.2.1 试验处理

试验设置4个处理:①有机肥+香蕉单作(A1B1);②有机肥+香蕉与韭菜套作(A1B2);③生物有机肥+香蕉单作(A2B1);④生物有机肥+香蕉与韭菜套作(A2B2)。每个处理3次重复,共12个小区,每个小区面积为 100 m^2 。

1.2.2 作物种植及施肥

2012年4月1日移栽香蕉与韭菜,香蕉种植密度为每小区(垄)18株,株距3 m,行距1 m,每垄上所种植的香蕉按Z字型布局,相邻两行香蕉植株的直线距离约为3.6 m,套作韭菜的处理在每株香蕉周围种植一圈韭菜。不同处理肥料采用等价施用量,各处理均施等量化肥,肥料用量如表1。肥料施用分为基肥和追肥,整个试验期共施用11次(1次基肥+10次追肥)。基肥用量为肥料总用量的20%,第一次至第四次追肥为肥料总用量的30%(每10 d一次);第五次追肥起至第10次追肥为肥料总用量的50%(每月追肥一次)。施肥方法为按树冠大小,以主干为中心撒施,半径为植株的滴水线,施完后覆土,浇水。试验土壤在香蕉移植前1个月时接种香蕉枯萎病原菌孢子悬液($10^5\text{ cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$),接种量为 $1000\text{ mL}\cdot\text{plant}^{-1}$,采用灌根法接种,香蕉移栽后不接种。

表1 不同施肥处理肥料用量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 1 Fertilizer rates for different treatments($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)

处理	化肥			有机肥	生物有机肥
	N	P_2O_5	KCl		
A1B1	1.4	0.7	2.5	16	0
A1B2	1.4	0.7	2.5	16	0
A2B1	1.4	0.7	2.5	0	14
A2B2	1.4	0.7	2.5	0	14

1.3 测定项目及方法

1.3.1 病情指数(DSI)的统计

香蕉枯萎病先从植株根部维管束侵入,然后侵害下部叶片叶鞘维管束,并由下而上不断扩展,根据这个特征将香蕉枯萎病分为5个标准。0级:植株无枯

黄症状。1级:植株下部叶片出现轻微的枯黄症状,嫩叶完好,少部分根系轻微褐变,茎部出现水渍状褐变。2级:植株下部叶片出现明显的枯黄症状,但嫩叶完好,根系出现褐变,茎部和假茎部出现水渍状褐变。3级:整个植株出现枯黄症状,根系褐变腐烂,茎部和假茎部褐变连片,少数叶柄出现红褐。4级:植株出现枯萎死亡症状,根系严重褐变腐烂。

$$\text{病情指数(DSI)} = \frac{\sum(\text{各级发病数} \times \text{该级代表数})}{\text{总数} \times \text{最高级代表值}}$$

$$\text{防病效果} = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\%$$

1.3.2 香蕉植株主要指标测定

从香蕉苗移植第1d开始每隔60d测定每株香蕉的株高、茎围和叶宽,收获后测定香蕉果实产量。

1.3.3 土壤微生物数量测定

香蕉移植后每个月采集不同处理根际土样,用铁锹将根系挖出,抖落大土块,收集附着在根系上的土壤作为根际土壤,每小区按“S”型采样法随机采取5点土样,混合均匀,四分法保留1kg土样装袋保存于4℃冰箱。采用稀释涂平板法测定土壤中细菌、真菌、放线菌、尖孢镰刀菌数量。细菌培养用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌培养用高氏一号培养基,真菌培养用孟加拉红培养基,尖孢镰刀菌培养用尖孢镰刀菌选择性培养基^[8]。

1.3.4 土壤酶活性测定

土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶测定方法参考关松荫^[9]土壤酶及其研究法。

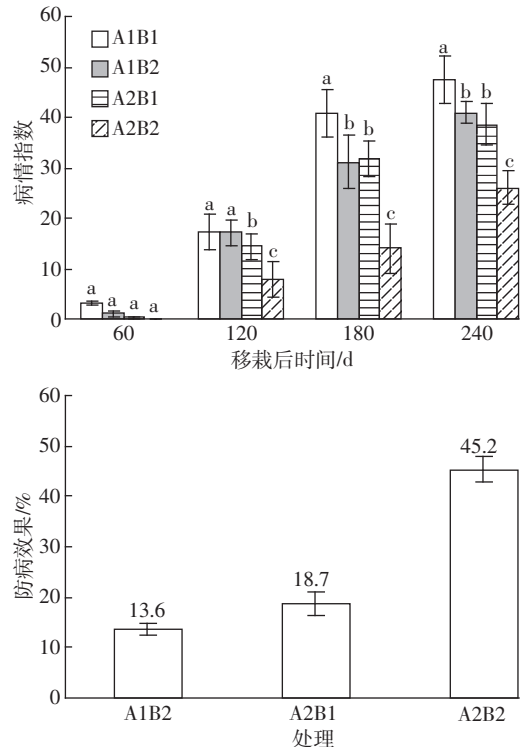
1.3.5 统计方法

本试验所有数据均用Excel 2003和SPSS 16.0统计软件处理,采用Duncan分析对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 香蕉套种韭菜配施生物有机肥对香蕉枯萎病防治效果

图1表明,在整个田间试验期间,A1B1(有机肥+香蕉单作)处理病情指数始终保持最高,A2B1(生物有机肥+香蕉单作)和A1B2(有机肥+香蕉套作韭菜)处理对香蕉枯萎病的防病效果相近,A2B2(生物有机肥+香蕉套作韭菜)处理防病效果最佳。自移栽后第60d起,A1B1、A2B1和A1B2处理香蕉均开始发病,最严重的为A1B1,病情指数达到3.2;到香蕉移植后第120d,A2B2病情指数显著低于其他3个处理,仅



图柱上误差线表示标准误;不同小写字母

表示差异显著($\alpha=0.05$)。下图同

图1 不同处理对香蕉枯萎病病情指数、防病效果的影响(240 d)

Figure 1 Influences of different treatments on disease severity index and disease-control of banana(240 d)

为7.94;A1B1、A1B2、A2B1病情指数均在14.3~17.2;香蕉移植后第180d,A2B2处理病情指数为14.0,仍显著低于其他处理;到香蕉移植后第240d时,各处理病情指数表现为A2B2<A2B1<A1B2<A1B1,此时若以A1B1处理的防病效果为0,A2B2的防病效果达到45.2%,A2B1和A1B2的防病效果分别为18.7%和13.6%。

2.2 香蕉套种韭菜与配施生物有机肥对香蕉植株生长的影响

从表2可以看出,在相同种植模式下,施用生物有机肥可促进香蕉植株生长,株高、叶宽和茎围均较有机肥处理显著增加;在施用相同肥料条件下,香蕉与韭菜套作处理对香蕉植株生长有显著的促进作用。从香蕉植株移栽第60d起,各处理间香蕉株高和茎围出现显著差异,叶宽差异不显著,移栽后第120d到240d时,各处理株高、叶宽和茎围均出现显著差异,其中A2B2处理各项指标均高于其他处理,在移栽后第240d时,香蕉株高、叶宽和茎围分别达到215.2、80.9、74.2cm,较最低的A1B1处理分别高出20.0%、6.6%和10.6%。

表 2 不同处理对香蕉生长的影响(cm)
Table 2 Effects of different treatments on plant growth
of banana (cm)

处理		移栽后时间/d			
		60	120	180	240
株高	A1B1	43.5±1.3b	107.1±3.5d	160.8±5.9c	179.4±4.4c
	A1B2	51.9±2.0a	118.4±3.7c	173.1±5.6b	195.7±5.1b
	A2B1	54.8±2.3a	125.9±4.0b	171.0±4.2bc	195.3±4.2b
	A2B2	54.8±2.3a	137.9±2.1a	197.3±6.3a	215.2±4.3a
叶宽	A1B1	18.2±0.7a	42.0±2.4b	63.9±1.7c	75.9±2.0b
	A1B2	19.0±0.6a	48.4±2.6a	66.4±1.5bc	78.2±1.9ab
	A2B1	19.7±1.5a	47.5±1.6a	67.0±1.3b	77.6±2.1ab
	A2B2	19.6±1.9a	49.4±2.1a	71.9±1.2a	80.9±2.1a
茎围	A1B1	16.6±0.8b	36.5±5.7b	57.8±1.6b	67.2±2.0b
	A1B2	18.0±1.0ab	39.8±3.8ab	58.8±2.1ab	68.3±3.5b
	A2B1	18.8±0.6a	41.7±2.8ab	59.4±3.9ab	69.5±1.6b
	A2B2	18.7±1.2a	46.8±2.2a	63.8±4.8a	74.2±1.9a

注:表中数值为三次重复的平均值±标准误;同列数据后不同小写字母表示差异显著(α=0.05)。下表同。

从图 2 可以看出,香蕉产量最低的是 A1B1,仅为 2.4 t·hm⁻²,与施用有机肥相比,施用生物有机肥可显著提高香蕉产量,A1B2 和 A2B2 香蕉产量分别达到 3.6、3.7 t·hm⁻²,较 A1B1 分别高出 52.8%和 55.6%。在施用有机肥时,香蕉与韭菜套作可显著提高香蕉产量,而施用生物有机肥时,香蕉套作韭菜措施对香蕉产量影响不显著。

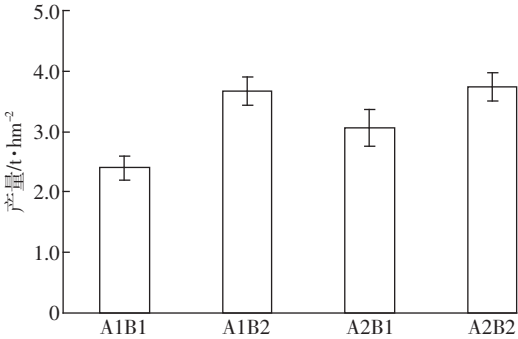


图 2 不同处理对香蕉产量的影响

Figure 2 Effects of different treatments on banana yield

2.3 香蕉套种韭菜配施生物有机肥对土壤微生物的影响

从图 3 可知,采用相同种植模式时,在施用有机肥的土壤中,尖孢镰刀菌、真菌和放线菌含量显著高于施用生物有机肥处理,而细菌含量显著低于生物有机肥处理。在施用相同肥料时,香蕉单作处理土壤尖

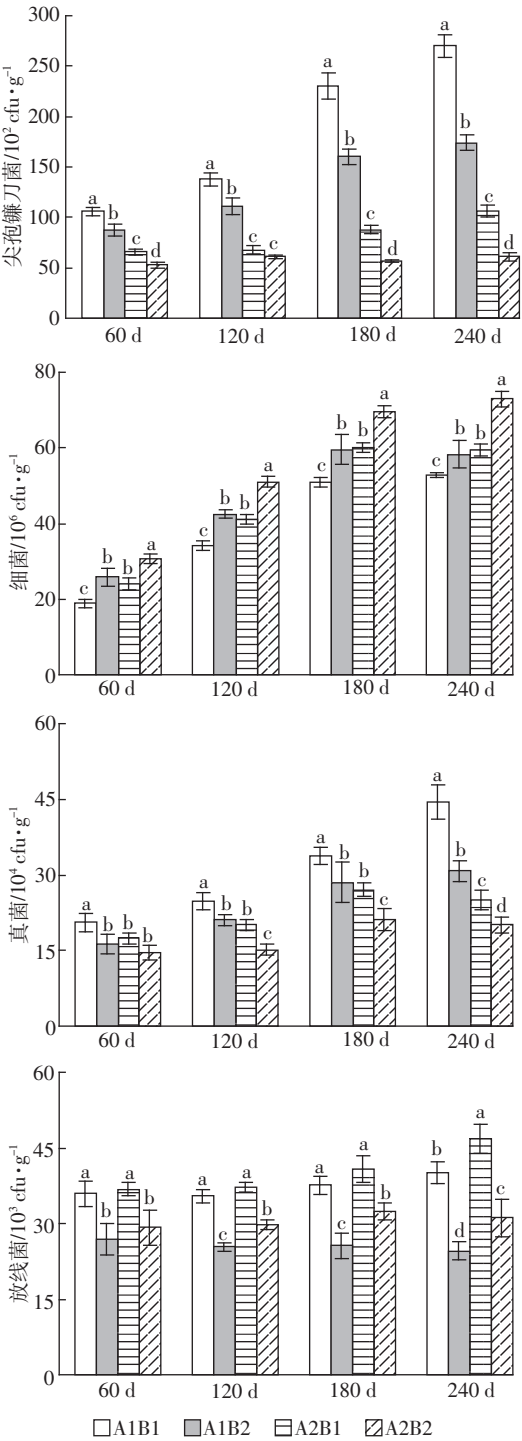


图 3 不同处理对土壤微生物含量的影响

Figure 3 Effects of different treatments on soil microorganisms

孢镰刀菌和真菌含量显著高于香蕉韭菜套作处理,而细菌含量显著低于套作处理;在施用有机肥时,不同种植方式对土壤放线菌含量影响不显著,而施用生物有机肥时,香蕉套作韭菜措施可显著增加土壤放线菌含量。A2B2 土壤尖孢镰刀菌和真菌含量最低,而细菌含量最高,香蕉移栽 240 d 后,土壤尖孢镰刀菌和真

菌含量分别仅为 $60.9 \times 10^2 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $20.1 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$, 土壤细菌含量达到 $72.9 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$; 土壤放线菌含量最高的是 A2B1, 香蕉移栽 240 d 后, 土壤放线菌含量达到 $46.8 \times 10^3 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.4 香蕉套种韭菜配施生物有机肥对土壤酶的影响

从图 4 可以看出, 不同处理根际土壤过氧化氢酶活性表现为 $\text{A2B2} > \text{A1B2} > \text{A2B1} > \text{A1B1}$, 其中 A1B2 和 A2B2 处理过氧化氢酶活性显著高于 A1B1 和 A2B1 处理, A1B1 处理土壤过氧化氢酶活性显著低于其他三个处理, 仅为 $1.5 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。不同处理根际土壤脲酶活性大小差异情况与上述过氧化氢酶一致, A2B2 处理土壤脲酶活性最高, 其次是 A1B2, 且两者的脲酶活性显著高于 A1B1。A1B1 处理土壤蔗糖酶活性最低, 仅为 $3.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 其他三个处理土壤蔗糖酶活性均显著高于 A1B1, 且其相互间差异不显著。A1B1 处理土壤酸性磷酸酶活性最低, 与其他三个处理差异达到显著水平, A2B2 处理土壤酸性磷酸酶活性显著高于其他三个处理, A1B2 和 A2B1 处理土壤酸性磷酸酶活性相近, 差异不显著。

3 讨论

在大田条件下, 施用生物有机肥对防治土传病害有着较为显著的效果。本研究, 香蕉单作配施有机

肥处理香蕉枯萎病病情指数最高, 施用生物有机肥显著降低香蕉病情指数, 与 Kupper 等^[10]的研究结果相似。其原因可能是生物有机肥中添加的生防菌及其代谢产物可以抑制土壤中的病原菌, 减少植株病害发生; 也可能是因为生物有机肥中生防菌能在植物根内定殖^[11-12], 与病原菌发生拮抗作用, 减少病原菌对植株的侵染。近年来利用韭菜防治香蕉枯萎病措施逐渐受到重视, 黄永红等^[13]研究结果表明, 韭菜可显著抑制香蕉枯萎病原菌菌丝的生长和孢子的萌发, 并使其形态发生畸变, 对香蕉枯萎病具有显著的防治效果, 因此在本研究中采用香蕉套作韭菜时, 香蕉枯萎病的病情指数显著低于香蕉单作模式。

生物有机肥富含有机质, 速效氮、磷、钾等无机养分及各种有机营养物质, 除对植物病害表现出较好的防效外, 还能促进植株生长及提高植株产量。Smith 等^[14]研究表明, 在香蕉连作土壤中施用生物有机肥, 可以促进香蕉植株的生长, 并可显著提高香蕉产量。本研究结果与前人研究结果相似, 施用生物有机肥的各处理株高、茎围、叶宽和产量等指标均显著高于有机肥处理, 尤其是结合香蕉与韭菜套种模式时促进效果更加明显。

植物对土传病害的抗性与根际土壤微生物关系密切, 土壤微生物数量和活性与抑病性关系密切。一

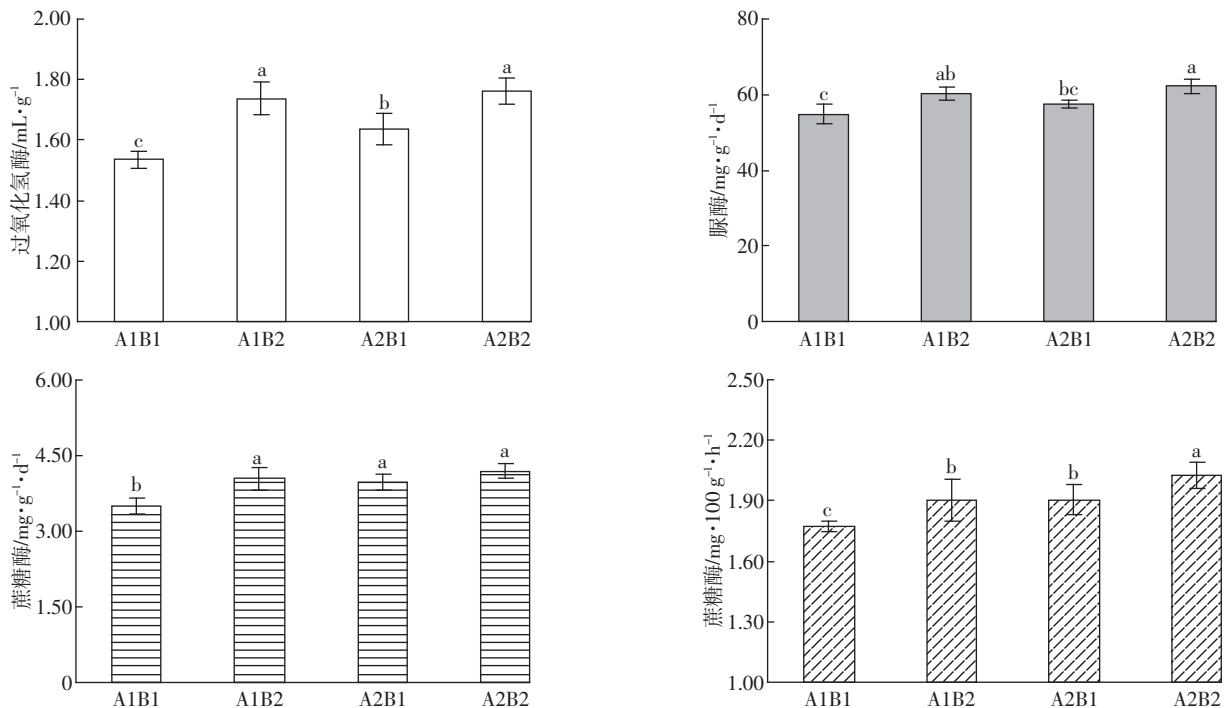


图 4 不同处理对土壤酶活性的影响

Figure 4 Effects of different treatments on soil enzyme activities

般来说,施入生物有机肥后,土壤中细菌和放线菌数量显著增加,真菌和尖孢镰刀菌数量显著减少,并且随着施肥量增加,效果越发明显^[15]。本研究表明,生物有机肥的施用增加了土壤中可培养细菌和放线菌的数量,减少了土壤真菌和尖孢镰刀菌的数量,与张静等^[16]研究结果相同。这是因为生物有机肥中的有益菌群,尤其是生防菌,对土壤土著微生物有一定活化作用,增加土壤中的有益菌群数,进而调节土壤中微生物区系组成,使土壤的微生态结构发生改变,从而能在一定程度上减少香蕉枯萎病的发生^[17]。韭菜可影响香蕉根际微生物群落结构,本试验研究结果表明,采用香蕉套作韭菜模式时,土壤中香蕉枯萎病病原菌、真菌和放线菌数量显著降低,细菌的数量显著增加,原因可能是韭菜作为化感作物,其根系分泌物对香蕉枯萎病病原菌以及真菌和放线菌有一定的抑制作用,同时又可促进土壤细菌的生长^[13]。

土壤中的酶与微生物一起推动着土壤的物质转化和能量流动,土壤酶的活性可以代表土壤中物质代谢的旺盛程度,是土壤肥力的一个重要指标^[18]。本研究分析了香蕉套种韭菜配施生物有机肥对香蕉根系土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性的影响,结果显示,香蕉套种韭菜和生物有机肥均有利于香蕉根际土壤酶活性的提高。这与丁文娟等^[19]研究结果相同,施用生物有机肥提高土壤酶活性可能是因为生物有机肥中存在大量有益微生物特别是生防菌的加入,丰富了土壤中的微生物,土壤微生物的活动和代谢更加旺盛,从而提高了土壤酶的活性。香蕉套作韭菜有利于土壤酶活性提高,Zhang等^[20]研究结果表明,韭菜可增强土壤微生物对碳源的利用能力,进而提高土壤微生物群落总体水平和微生物代谢活性,由此推测韭菜可通过促进土壤微生物代谢而提高土壤酶活性,另一方面香蕉套作韭菜提高土壤酶活性的原因也可能是韭菜根系分泌物对土壤酶活性有增强作用^[13]。由此可见,香蕉套作韭菜配施生物有机肥对土壤微生态环境和土壤营养状况的改善具有促进作用,从而可显著抑制香蕉枯萎病的发生。

4 结论

施用生物有机肥及香蕉套种韭菜措施均可促进香蕉的生长及产量增加,显著降低香蕉枯萎病的发病率,提高植株的防病效果。生物有机肥在一定程度上增加了土壤中细菌和放线菌的数量,减少了真菌和尖

孢镰刀菌数量;香蕉套种韭菜措施可增加土壤中细菌数量,减少真菌、放线菌和尖孢镰刀菌的数量。施用生物有机肥及香蕉套种韭菜措施均在不同程度上提高了土壤酶活性。本研究的香蕉套种韭菜配施生物有机肥措施表现出了良好的促进植株生长、控制土传病害、改善土壤微生态环境的功能,将为我国香蕉枯萎病综合防治提供理论和实践依据。

参考文献:

- [1] Sreeramanan Subramaniam M, Maziah M, Sariah M P, et al. Bioassay method for testing *Fusarium* wilt disease tolerance in transgenic banana [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108: 378-389.
- [2] 樊小林,李进. 碱性肥料调节香蕉园土壤酸度及防控香蕉枯萎病的效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 938-946.
FAN Xiao-lin, LI Jin. Effectiveness of alkaline fertilizer on the control of banana *Fusarium* wilt and regulation of soil acidity in banana orchard [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(4): 938-946.
- [3] 王璧生,罗启浩. 广东香蕉的主要病害及其防治[J]. 中国南方果树, 1997, 26(3): 33-35.
WANG Bi-sheng, LUO Qi-hao. The main disease and the disease control of banana in Guangdong[J]. *South China Fruits*, 1997, 26(3): 33-35.
- [4] 程莹,白寿发,庄敬华,等. 木霉菌多功能生防菌剂对瓜类枯萎病的防效研究[J]. 现代农业科技, 2010(23): 157-158.
CHENG Ying, BAI Shou-fa, ZHUANG Jing-hua, et al. Control effect of trichoderma multifunctional agents to melon wilt[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010(23): 157-158.
- [5] 张雪峰,胡滨. 生物有机肥对生态农业发展的影响[J]. 绿色科技, 2011(4): 50-52.
ZHANG Xue-feng, HU Bin. The effects of bio-organic fertilizer on the development of ecological agriculture[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2011(4): 50-52.
- [6] Ke K, W B, de Goes A, et al. Biofertilizer for control of *Guignardia citricarpa*, the causal agent of citrus black spot[J]. *Crop Protection*, 2006, 25(6): 569-573.
- [7] 竞中梅,王艳,郭金萍. 瓜田套作的棉花农艺及经济性状的对比调查[J]. 新疆农业科学, 2005: 128-129.
JING Zhong-mei, WANG Yan, GUO Jin-ping. The comparative survey on agronomic and economic characters of melon interplanted cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2005: 128-129.
- [8] 许志刚. 普通植物病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 236-262.
XU Zhi-gang. General phytopathology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 236-262.
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 274-323.
GUAN Song-yin. Study method of soil enzymes[M]. Beijing: Agriculture Publishing House, 1986: 274-323.
- [10] Kupper K C, Bettiol W, A De Goes, et al. Biofertilizer for control of

- Guignardia citricarpa, the causal agent of citrus black spot[J]. *Crop Protection*, 2006(26):569-573.
- [11] Zhu Y, Chen H, Fan J, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. *Nature*, 2000(6797):718-722.
- [12] Zhang N, Wu K, He X, et al. A new bio-organic fertilizer can effectively control banana wilt by strong colonization with *Bacillus subtilis* N11[J]. *Plant and Soil*, 2011, 344(1-2):87-97.
- [13] 黄永红, 李春雨, 魏岳荣, 等. 韭菜对香蕉枯萎病菌的拮抗及其对盆栽香蕉枯萎病发生的抑制作用[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(6):1162-1166.
- HUANG Yong-hong, LI Chun-yu, WEI Yue-rong, et al. Antagonism of Chinese leek against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* and its inhibitory effect on *Fusarium* wilt incidence of potted banana[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(6):1162-1166.
- [14] Smith M K, Langdon P W, Pegg K G, et al. Growth, yield and *Fusarium* wilt resistance of six FHIA tetraploid bananas (*Musa* spp.) grown in the Australian subtropics[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014(170):176-181.
- [15] 任爽, 柳影, 曹群, 等. 不同用量生物有机肥对苦瓜枯萎病防治及土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2013(10):56-63.
- REN Shuang, LIU Ying, CAO Qun, et al. Effects of different bio-organic fertilizer application rates on controlling bitter melon *Fusarium* wilt, soil microorganisms and enzyme activities[J]. *China Vegetables*, 2013(10):56-63.
- [16] 张静, 杨江洲, 胡伟, 等. 生物有机肥对大豆红冠腐病及土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(3):548-554.
- ZHANG Jing, YANG Jiang-zhou, HU Wei, et al. Effect of biological organic fertilizer on soybean red crown rot and soil enzyme activities[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(3):548-554.
- [17] Garbeva P, Postma J, Veen J A, et al. Effect of above-ground plant species on soil microbial community structure and its impact on suppression of *Rhizoctonia solani* AG3[J]. *Environmental Microbiology*, 2006, (8):233-246.
- [18] 方昉, 吴承祯, 洪伟, 等. 植物根际、非根际土壤酶与微生物相关性研究进展[J]. 亚热带农业研究, 2007, 3(3):10-16.
- FANG Fang, WU Cheng-zhen, HONG Wei, et al. Study on the relationship between rhizospheric or non-rhizospheric soil enzyme and microbe in different plants[J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2007, 3(3):10-16.
- [19] 丁文娟, 曹群, 赵兰凤, 等. 生物有机肥施用期对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(8):1575-1582.
- DING Wen-juan, CAO Qun, ZHAO Lan-feng, et al. Effects of biological fertilizer applications on banana wilt disease and soil microorganisms[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(8):1575-1582.
- [20] Zhang H, Mallik A, Zeng R, et al. Control of Panama disease of banana by rotating and intercropping with Chinese Chive (*Allium Tuberosum* Rottler); Role of plant volatiles[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2013(39):243-252.