植物营养与肥料学报 2016,22(2): 429 - 436 doi: 10.11674/zwyf.14460
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http://www.plantnutrifert.org

碱性肥料对香蕉枯萎病发生及土壤微生物群落的影响

李 进, 张立丹, 刘 芳, 樊小林*
(华南农业大学资源环境学院,广东广州 510642)

摘要:【目的】针对我国香蕉主产区蕉园土壤酸化、微生物环境恶化,香蕉枯萎病严重泛滥和肆虐,严重威胁产业等问题,通过施用碱性肥料改善蕉园土壤酸性及微生物环境,从而降低香蕉枯萎病发病率,促进香蕉健康生长。**【方法】**以重病区蕉园土壤为对象,采用盆栽试验,研究碱性肥料对土壤微生物及香蕉枯萎病发生情况的影响。试验设碱性肥料(AF)和常规肥料(CCF)2 种肥料处理,每种肥料设低量(L1)、中量(L2)和高量(L3)3 个施肥量,同一施肥量处理的氮、磷、钾总用量相等。于 2013 年 3 月 6 日移栽香蕉苗到营养钵, 130 d 后待各处理香蕉发病明显时采集土壤及植株样品进行各项指标测定。**【结果】**1)施碱性肥料能显著降低香蕉枯萎病的发病率,常规肥料处理的香蕉发病率为 78%,而碱性肥料处理的仅为 33%。2)碱性肥料对土壤微生物群落有明显的影响,土壤中的真菌数量 AF 处理明显少于 CCF 处理,而细菌、放线菌数量则显著高于 CCF 处理,因此 AF 处理土壤的香蕉尖孢镰刀菌明显减少。3)试验期间碱性肥料能显著提高土壤 pH 值,较常规肥料处理提高了 0.75 个 pH 单位,而土壤 EC 值比常规肥料处理低 47.76 μS/cm。4)土壤 pH 值与土壤中古巴专化型尖孢镰刀菌(FOC)的数量及香蕉发病率呈显著负相关; 细菌数量与 FOC 数量、香蕉枯萎病发病率、病情指数之间呈显著的负相关; 土壤中 FOC 和真菌数量与香蕉发病率呈显著正相关。5)香蕉生物量随着碱性肥料和常规肥料用量的增大而增加,但碱性肥料的效果更加明显。**【结论】**应用碱性肥料不仅可以为香蕉提供氮、磷、钾养分,而且能改良蕉园土壤酸性从而改善土壤微生物群落结构及环境,有效防控香蕉枯萎病的发生。

关键词: 碱性肥料; 蕉园土壤; pH 值; 香蕉枯萎病; 发病率; 土壤微生物群落
中图分类号: S668.1.606^{+}.2; S436.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2016)02-0429-08

Effects of alkaline fertilizer on occurrence of banana wilt disease and soil microbial community

LI Jin, ZHANG Li-dan, LIU Fang, FAN Xiao-lin*
(*College of Natural Resource and Environment Science, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China*)

Abstract:【Objectives】In view of problem of serious declining banana production and even constrained abandon of banana orchards in many regions of China caused by soil acidification, deterioration of microbial community and wide spread of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) in banana plantation, the objective of the research was to study effect of a kind of alkaline fertilizer (AF) as a measure of improving soil pH, ameliorating the microbial community, reducing incidence of the *Fusarium* and promoting the growth of banana.**【Methods】**The effects of the AF on banana wilt disease development and three main types of microorganisms in soil were studied by using pot culture during banana seedling growth with two-groups and three-levels design. The experiment included fertilizer treatments (AF), conventional fertilizer treatments (CCF) and both the AF and CCF consisted of three levels of applied fertilizer N. The total amount of N, P_2O_5 and K_2O used was the same in one level. There were 6 treatments in total. The tested soil was collected from the wilt disease infected banana plantation in Ledong County, Hainan Island, China. After transplanting bananas to nutritive pots for 130 days, the soil and plant samples were collected on 6 March 2013 when the differences of incidence of FOC were significant among different treatments.**【Results】**

收稿日期: 2014-09-30 **接受日期:** 2014-12-11 **网络出版日期:** 2015-07-17
基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-33-07); 广东高校环境友好型肥料工程技术研究中心建设项目(CCZX-A100); "十二五"国家科技支撑项目(2011BAD11B04); 国家自然科学基金项目(31071857, 30871594)资助。
作者简介: 李进(1985—),男,陕西西安人,博士研究生,主要从事新型肥料研发方面的研究。E-mail: 550210506@qq.com
* 通信作者 Tel: 020-85288325, E-mail: xlfan@scau.edu.cn

1) After four times' interval fertilization, the incidences of the FOC of the banana treated with the AF are significantly lower than those in the conventional compound fertilizer treatments, which shows a positive result of the AF application during the banana growth, and the incidence of the disease is 78% in the CCF and 33% in the AF treatment. 2) Soil microbial community is significantly affected by the AF mainly in the soil microbial population. The amount of fungi population in the soil treated with the AF is remarkably less than that in the CCF, while the amounts of actinomycetes and bacteria population are significantly higher than those in the CCF treatments. The amount of FOC is decreased significantly after the AF fertilization. 3) The AF fertilization could raise soil pH value significantly during the experiment. The pH values of the soil treated with AF are increased by 0.75 unit compared to the CCF treatment after four-time interval application. Whereas the soil EC of the former treatment is decreased by 47.76 μS/cm compared to the later one. 4) There are significantly negative correlations between the soil pH value and number of FOC, the incidence of the disease respectively. Meanwhile, there are significant negative correlations between the number of bacteria in the soil and number of FOC, disease index of the FOC. However, the incidence of the disease is significantly positive correlated with number of fungi and FOC. 5) The banana biomass is increased significantly with the increases of both AF and CCF applied in the trial, and the effect of AF is greater than that of CCF. **【Conclusions】**The use of alkaline fertilizer not only provides nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium for banana, but also increases soil pH and improves soil microbial community for promoting actinomycetes and bacteria development. The use of AF will significantly prevent and control the infection of FOC during banana growth.

Key words: alkaline fertilizer (AF); infected banana plantation soil; soil pH; *fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC); incidence of FOC; soil microbial community

香蕉枯萎病于19世纪80年代后期首次在澳大利亚被发现,20世纪50年代在巴拿马大面积流行[1]。至20世纪90年代以来,香蕉枯萎病已蔓延至全球各主要香蕉生产国,成为最具毁灭性的香蕉病害之一[2-3]。迄今我国乃至全球香蕉产业正遭遇有史以来最严重的尖孢镰刀菌古巴专化型 *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* (FOC)的侵染引起的香蕉枯萎病(又称香蕉黄叶病,巴拿马枯萎病)的威胁和挑战[4]。香蕉枯萎病可以通过带病吸芽、土壤、雨水、灌溉水、气流和农具等介质传播,而且尖孢镰刀菌可长期生存于土壤中,一般药剂很难根除[5]。近年我国蕉园香蕉枯萎病发病率严重时达90%以上[6-7],严重阻碍我国香蕉产业的发展[8]。目前防治香蕉枯萎病的方法主要有:1)选用香蕉抗病品种,如宝岛蕉、农科一号等,但抗病品种育种周期长,且品质方面难以突破,无法推广[5];2)轮作,但由于我国蕉田比较分散,排灌不统一,再加上无合理的轮作作物及轮作制,故此轮作方法尚不实用,问题亟待解决[9];3)化学防治,此法虽有一定作用,但效果并不理想[10-11],并且化学防治还将产生农药残留、环境污染、病原菌抗药性等负面影响;4)生物防治,目前虽有关于植物拮抗菌与腐熟有机肥料结合的生防菌研究报道[12-14],但是单纯生防菌防病速度慢,且效果不稳定,原因是生防菌作为外来菌受土壤条件影响大,不易在土壤中繁殖和发挥效果[15];5)土壤酸度改良法,通过改变土壤酸度控制病害的方法和途径,香蕉巴拿马病病菌肆虐和迅速滋生蔓延的主要原因之一是土壤酸化,已有相关研究表明通过调节土壤pH值可以有效地防控香蕉枯萎病的发生,中性或偏碱性环境能抑制包括尖孢镰刀菌在内的真菌萌发和致病[16-22]。目前调节土壤酸度的方法主要包括在酸性土壤中施用石灰、钢渣磷肥、钙镁磷肥等碱性改良物质。并且,通过科学施用均能达到提高土壤pH值、改良酸性土壤的目的。然而如果长期滥用可能会对土壤和植物造成负面影响,如导致土壤盐害、土壤氮素挥发损失、土壤板结、重金属污染等。针对此,作者所在研究中心研发了以长效氮为氮源(氮素可以处于碱性环境而不会造成氮素明显挥发损失)、磷酸二铵为磷源、碳酸钾为钾源,经过共熔反应制成的新型碱性氮磷钾复混肥料,并以此为供试材料在海南香蕉产区发病蕉园展开了碱性肥料对香蕉枯萎病发生及土壤微生物群落影响的研究,旨在为研发既能为香蕉提供氮磷钾养分,又能改良土壤酸性、防治香蕉枯萎病害、恢复我国香蕉产业的多功能碱性肥料提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

盆栽试验设在海南省乐东县万钟实业有限公司(18°38′N,108°46′E)香蕉大田。供试土壤分别采自该农场香蕉枯萎病发病率大于70%的田块,多点采集后混合均匀再装盆。土壤 pH 为 6.13,有机质含量 5.5 g/kg,全氮 103.3 mg/kg,速效磷 137.2 mg/kg(酸浸提),速效钾 107.6 mg/kg。

供试香蕉为巴西蕉(*Musa* AAA Giant Cavendish cv. Baxi),选用组培苗,培育香蕉苗长至 20 cm 高,13 片绿叶时,选取生长相对一致的蕉苗进行试验。

供试肥料的常规肥料(conventional fertilizer, CCF)由含氮(N)46%的尿素、含磷(P_2O_5)46.0%的磷酸二铵和含钾(K_2O)60%的氯化钾肥料配制而成;碱性肥料(alkaline fertilizer, AF)是广东高校环境友好型肥料工程技术研究中心研发的以含 N 28.0%的长效氮、含 P_2O_5 44.0%的磷酸二铵和含 K_2O 65.1%的 K_2CO_3 配制而成的,pH 值为 9.2。

1.2　试验设计

试验设碱性肥料和常规肥料 2 种肥料处理,每个肥料处理设低量(L1)、中量(L2)、高量(L3)3 个施肥量,共 6 个处理。每处理 12 次重复,单盆为一个重复,每盆移栽一株香蕉,共 72 盆,随机排列。同一施肥量处理的香蕉氮磷钾总用量相等,N∶P_2O_5∶K_2O 均为 1∶0.22∶1.44。根据预备试验结果,L1、L2、L3 处理的施氮量分别为 N 0.0968、0.1566、0.2534 g/kg,土。试验采用 30 cm×28 cm 规格的黑色无孔塑料营养钵,每盆装土 12 kg。试验前将盆钵埋入大田土壤中,既保障生长环境温度与大田一致,又保障香蕉生长期其根系与大田土壤隔离。香蕉移栽于盆钵 15 d 后第一次施肥,之后每隔 30 d 追肥一次,共追施 4 次。第一次施肥的 N、P_2O_5、K_2O 分别占总量的 10%、0、0;第 2 次分别占 20%、0、10%;第 3 次为 30%、50%、30%;第 4 次为 40%、50%、60%。病虫害防治和灌水等日常管理方法参考樊小林[23]的方法。

1.3　测定项目与方法

试验于 2013 年 3 月 6 日移栽香蕉苗到营养钵,130 d 后,即各处理香蕉发病明显时采集土壤及植株样品进行各项指标的测定。

香蕉病叶率(%) =(病叶数/绿叶数)×100[24];

香蕉枯萎病发病率(%) =[染病植株总数/(染病植株总数+健康植株总数)]×100[24];

病情指数(%) =[∑(各级病株数×该级级数值)/(总株数×最高级级数值)]×100[24]。

土壤 pH 值用 pH 计电位法测定(土∶水比为 1∶2.5);土壤 EC 值用电导仪电导法测定(土∶水比为 1∶5)。

土壤微生物数量采用平板计数法测定。香蕉尖孢镰刀菌选择性培养基的配制参考 Sun 等[25]的方法,为 1 g K_2HPO_4、0.5 g KCl、0.5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$、0.01 g Fe-Na-EDTA、2 g L-天门冬酰胺、10 g 半乳糖、16 g 琼脂,溶解于去离子水并定容至 900 mL,在高压灭菌后冷却至 60℃,再加入 100 mL 盐溶液(由 0.9 g 五氯硝基苯 75% WP、0.45 g Oxgall、0.5 g $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$、0.3 g 硫酸链霉素配制,并用 10%磷酸调节 pH 值至 3.8±0.2)。细菌、真菌和放线菌分别采用 LB 培养基、孟加拉红培养基和高氏培养基[26-27]。

试验数据采用 SPSS 13.0 和 EXCEL 2007 进行处理。

2　结果与分析

2.1　碱性肥料对香蕉枯萎病发生的影响

图 1 结果表明,香蕉移栽 130 d 后碱性肥料(AF)处理的香蕉病叶率、发病率、病情指数均明显低于常规肥料(CCF)处理。其中 AF 处理香蕉的病叶率较 CCF 降低了 17 个百分点,发病率降低了 45 个百分点,病情指数降低了 17 个百分点。

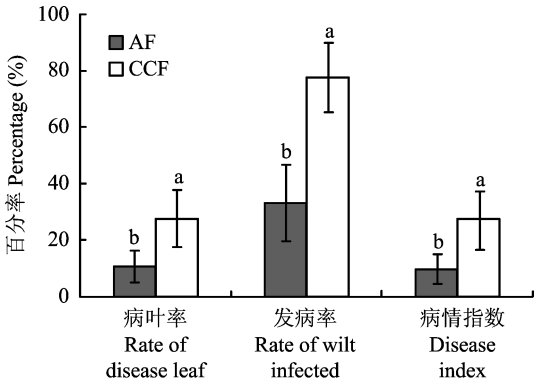

图 1　碱性肥料对香蕉枯萎病发生的影响

Fig. 1　Effect of the alkaline fertilizer on the banana *Fusarium* wilt disease development

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达 5% Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level (n = 12).]

2.2　肥料及其用量对土壤微生物数量的影响

碱性肥料能明显影响土壤微生物种群的数量从而影响香蕉枯萎病的发生。碱性肥料(AF)处理的土

壤 FOC 和真菌种群数量显著降低,分别是常规肥料(CCF)处理的 50% 和 84%(表 1)。从土壤酸碱度变化看,施用 AF 肥料后,土壤 pH 平均值为 6.9 ±0.06,而使用 CCF 肥料的为 6.1 ±0.02,即 AF 处理的土壤 pH 值显著高于 CCF(图 2)。这一结果与 FOC 和真菌生理上喜好偏酸性土壤环境[29-30],而细菌和放线菌则喜中性偏碱环境[18]的报道一致。结果还表明,施用碱性肥料后,土壤中细菌和放线菌的数量显著增多,AF 分别是 CCF 的 1.38 和 1.52 倍(表 1)。可见,土壤真菌数量减少、细菌和放线菌量增加是土壤香蕉枯萎病(FOC)下降的前提,而真菌、细菌、放线菌群落的协调与土壤酸碱性息息相关,施用碱性肥料能明显提高土壤 pH 值而改善土壤酸性环境,抑制真菌而有利于细菌和放线菌的生长繁殖,降低土壤香蕉枯萎病病菌(FOC)数量。

表 1 肥料用量对土壤微生物数量的影响($\times 10^3$ cfu/g)

Table 1 Effect of the fertilization amount on the soil microbial population

施肥量 Fertilizer rate	碱性肥料 AF				常规肥料 CCF			
	枯萎病菌 FOC	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	细菌 Bacteria	枯萎病菌 FOC	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	细菌 Bacteria
L1	4.6 a	42.2 a	1651.3 a	4992 a	6.9 b	53.9 a	771.0 a	4573 a
L2	4.2 a	41.5 a	803.3 b	4208 a	9.2 a	38.6 a	807.8 a	3078 a
L3	4.5 a	38.3 a	943.9 b	4153 a	10.7 a	53.4 a	876.4 a	1157 b
平均 Average	4.4 B	40.7 B	1132.8 A	4451 A	8.9 A	48.6 A	818.4 B	2936 B

注(Note):同列数据后不同字母表示同一肥料不同用量间差异达 5% 显著水平;同行数据后不同大写字母表示同种菌数量在碱性肥料和常规肥料处理间的差异在 5% 水平显著 Values followed by different letters in a column are significant among different application rates under the same fertilizer at the 5% level Values followed by different capital letters in a row are significant between AF and CCF for the same type microorganism.

虽然碱性肥料的 FOC 和真菌数量明显小于常规肥料,但是肥料用量对 FOC 数量、真菌、细菌和放线菌群落数量的影响也不相同。由表 1 可以看出,碱性肥料(AF)3 个用量比较,随着肥料用量的增加,FOC、真菌和细菌数量没有明显的变化,而 L1 处理的土壤放线菌的数量明显大于 L2 和 L3,可以认为 L1 处理土壤的 pH 适合放线菌生活,进一步增加碱性不利于放线菌的生存。常规肥料(CCF)用量对于香蕉枯萎病菌(FOC)数量有明显的影响,当施氮量达到 N 0.16 g/kg 土(L2)以上时,FOC 数量明显增加。CCF 用量对土壤真菌和放线菌数量没有明显影响,但是用量最大的处理(L3)土壤细菌数量明显小于处理 L1 和 L2,其原因还有待进一步研究。

2.3 肥料及用量对土壤 pH 值及 EC 的影响

图 2 结果表明,AF 处理土壤 pH 值显著高于 CCF 处理,3 种肥料用量处理的土壤 pH 值平均提高了 0.75。在 AF 处理中土壤 pH 值随着肥料用量的增加而显著升高;而 AF 处理的土壤 EC 值显著低于 CCF 处理,3 个用量平均较 CCF 处理降低 47.76 μs/cm。AF 肥料用量的增加不会明显改变土壤的 EC 值,而 CCF 肥料用量的增加则显著增加了土壤 EC 值。其可能的原因是碱性肥料制造过程选材比

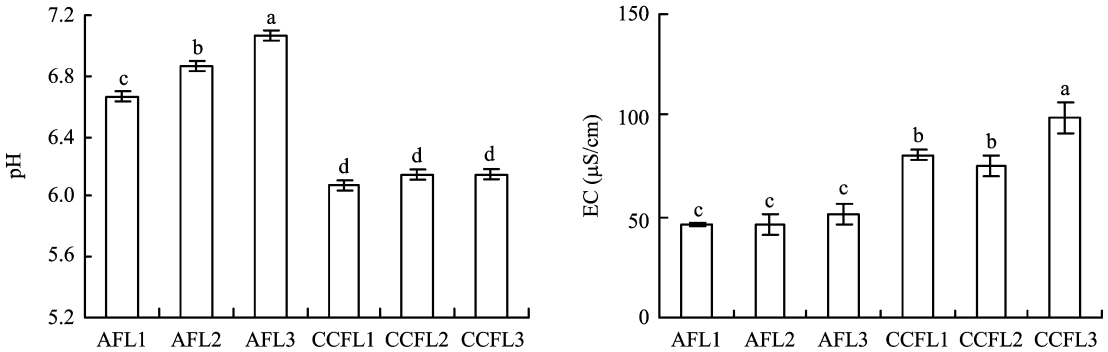

图 2 肥料及用量对土壤 pH 值及 EC 值的影响

Fig. 2 Effects of the fertilizers and their amounts on the pH and EC values of the soil

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level (n =12).]

较单一,又以羟甲基脲有机氮为氮源,相对于常规肥料,原料的盐度低。因此碱性肥料与常规肥料相比可以有效提高土壤 pH 值,改良土壤酸性,而不会造成土壤 EC 值的明显增加,避免对植物产生盐害。

2.4　土壤 pH、EC 和微生物特征与香蕉枯萎病的相关性

土壤 pH、EC 值、微生物数量与香蕉枯萎病发病率、病情指数的相关分析结果(表 2)表明,土壤 pH 值分别与 EC 值、真菌数量、FOC 数量、香蕉枯萎病发病率及病情指数呈负相关,而与细菌和放线菌数量呈正相关,其中土壤 EC 值、FOC 数量和香蕉枯萎病发病率与 pH 值间的负相关达显著水平,其可能的原因是随着碱性肥料施用量的增加,土壤 pH 趋于中性或微碱性,明显抑制了 FOC 孢子的萌发率和致病力,从而控制了病害的发生[16]。由统计结果还可以看出,土壤 FOC、真菌数量分别与香蕉枯萎病发病率、病情指数间呈显著的正相关,而细菌数量与 FOC 数量、香蕉枯萎病发病率、病情指数之间呈显著的负相关。表明在本试验条件下,土壤中 FOC 是引起香蕉枯萎病害的主要因素,同时真菌数量也和香蕉植株发病率成正相关关系,而土壤中细菌和放线菌含量高时,能在一定程度上抑制 FOC 等真菌的生长和繁殖。这一结果与张志红等[9]的研究结果基本一致。

2.5　肥料及用量对香蕉生物量的影响

研究表明,随着碱性肥料用量的增加,对香蕉生物量的影响更加明显(图 3),在施肥量低时(L1)碱性肥料(AF)处理的生物量和常规肥料(CCF)无明显差异。但肥料用量增加到 L2、L3 水平后,香蕉整株鲜重和干重都明显大于 CCF。从图 3 还可以看出,碱性肥料处理的香蕉植株干重增加的幅度更大,相比常规肥料,在 L2、L3 的肥料用量 AF 比 CCF 的植株干重分别增加了 36%、78%,即施用 AF 比 CCF 更有利于香蕉植株生物量的积累。

表 2　土壤 pH、EC 和微生物特征与香蕉枯萎病发生的关系

Table 2　Correlation of banana wilt disease development with pH, EC and microbial characteristics of the soil

项目 Item	EC	pH	FOC	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	细菌 Bacteria	染病率 RWI	病情指数 DI
EC	1							
pH	−0.852**	1						
FOC	0.693	−0.881*	1					
真菌 Fungi	0.725	−0.655	0.511	1				
放线菌 Actinomycetes	−0.455	0.299	−0.472	−0.217	1			
细菌 Bacteria	−0.346	0.551	−0.858*	−0.394	0.557	1		
发病率 RWI	0.771	−0.882*	0.959**	0.816*	−0.493	−0.840*	1	
病情指数 DI	0.607	−0.671	0.896*	0.602	−0.641	−0.942**	0.936**	1

注(Note): RWI—Rate of wilt infected; DI—Disease index. * — $P < 0.01$; * * — $P < 0.05$.

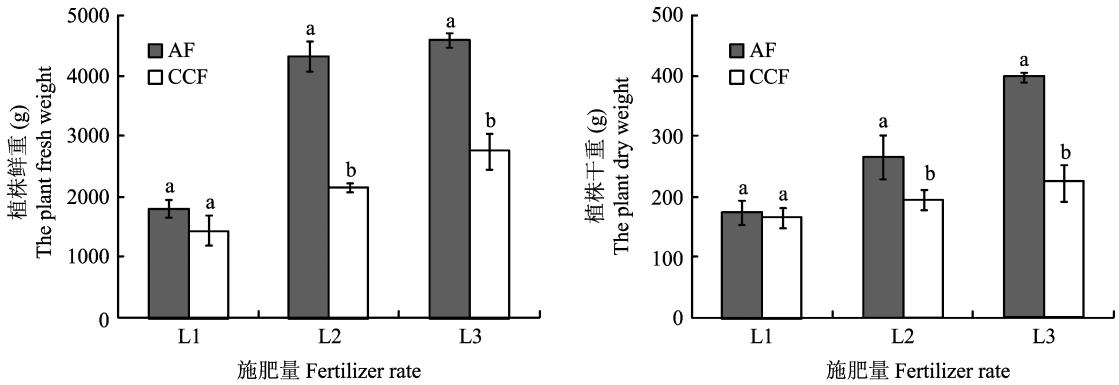

图 3　肥料及用量对香蕉生物量的影响

Fig. 3　Effect of the fertilizers and their amounts on the banana biomass

[注(Note): 柱上不同字母表示同一肥料用量下常规肥料和碱性肥料处理间差异达 5% 显著水平

Different letters above the bars mean significant between CCF and AF under the same fertilization level at the 5% level ($n = 12$).]

3 讨论

由尖孢镰刀菌引起的香蕉枯萎病是一种真菌类土传病害,主要危害香蕉维管束、其致病力强、蔓延快、孢子存活时间长,一旦发病即具毁灭性危害[30]。包括香蕉枯萎病病原菌在内的许多微生物生命活动的正常生理生化反应与体内外微环境的pH值有着密切联系[16-17]。香蕉枯萎病易在pH值6以下的酸性砂质或砂壤中发作[29],偏酸性环境可增强某些真菌类病原菌孢子的萌发率和致病力,而偏碱性环境则对其有明显的抑制作用[16]。本文研究结果也表明香蕉枯萎病的危害程度及土壤FOC数量与土壤pH值呈显著的负相关关系,土壤FOC数量及香蕉枯萎病的危害程度将随着土壤pH值的升高而削弱。相比常规肥料,施用碱性肥料后土壤pH值升高了0.75个单位,而土壤中FOC数量减少了4.498×10^3 cfu/g,香蕉枯萎病的发病率则降低了45个百分点。其原因正在于FOC属于喜酸性土壤环境的真菌,当碱性肥料中和了土壤中部分酸性并使土壤环境呈中性或偏碱性时,改变了FOC栖息的土壤微环境酸碱度,从而控制了其病害的发生[18-19];另一方面的原因是在本试验条件下,施用碱性肥料后土壤中细菌和放线菌数量比施常规肥料显著增加。因此,土壤酸碱环境的改变更有利于细菌、放线菌等有益微生物的活动和繁殖[28],而细菌和放线菌种群增加会对FOC的生长产生一定的抑制作用[10]。

因此,通过调节土壤pH值,改变香蕉枯萎病发病土壤的酸碱环境,进而改善土壤微生物群落是防控香蕉枯萎病蔓延和危害的关键。基于此本课题组研发了以长效氮为氮源(氮素可以处于碱性环境而不会造成氮素明显挥发损失)、磷酸二铵和K_2CO_3为原料,经过熔融聚合反应生成的复混碱性肥料。试验结果表明,经过4次施肥后,碱性肥料比常规肥料的土壤pH值显著提高了0.75个单位,但又不会使EC值明显增大;并且在香蕉枯萎病发病土壤中碱性肥料比常规肥料更有利于香蕉的健康生长,既保证了香蕉拥有足够的健康绿叶,又减少了病叶数及发病率;同时碱性肥料比常规肥料还可以更有效地增加发病土壤中所栽培的香蕉的生物量,其一方面是因为碱性肥料保证了香蕉叶片的健康生长,更多的健康绿叶可以使香蕉更好地进行光合作用,而积累更多的生物量;另一方面是碱性肥料的的施用提高了土壤pH值,并减少了发病土壤中香蕉尖孢镰刀菌的数量,而丰富了其他有益微生物数量,提供给香蕉生长所需的良好土壤环境,明显防控了香蕉枯萎病的发生,保证了香蕉不受枯萎病危害或减轻其危害,从而有利于香蕉生物量的积累;其三是土壤中数量最大的细菌和有益的放线菌适合在中性或者偏碱性的土壤环境中生存,施用碱性肥料比常规肥料明显增加了土壤中细菌和放线菌的数量。因此,改良土壤酸性环境是提高土壤土著微生物数量和活性的有效方法[28]。土壤微生物在土壤养分转化、有机质的分解等方面起着重要的作用,已有研究表明,土壤中细菌、放线菌密度高时则土壤肥力水平较高[31],土壤生态系统中各微生物种群数量与活性的提高有助于高肥力土壤的形成[32-33],而高肥力的土壤更有利于香蕉生长,生物量增加。

本试验结果还表明,在3个施肥量下,碱性肥料与常规肥料对盆栽土壤中微生物数量的作用效果和机理截然不同。除此之外,碱性肥料的用量水平对土壤pH值、EC值以及香蕉生物量积累和抗病等也有一定的影响。其可能的原因是碱性肥料用量的不同,对土壤养分和香蕉养分的吸收状况的影响也不同,而且更主要的是它还能调节土壤pH值,从而对土壤中不同种类的微生物数量产生显著影响,进而影响香蕉的发病情况。所以,为了既营养香蕉又抗病防病,有必要对碱性肥料在不同发病状况的蕉园土壤中的使用方法、用量以及效果做深入细致的研究,以期在我国能早日构建起既能中和土壤酸性、均衡香蕉营养,又能防控香蕉枯萎病、恢复我国香蕉产业的碱性肥料应用技术体系。

4 结论

施用碱性肥料能显著降低香蕉枯萎病的发病率和土壤中香蕉尖孢镰刀菌的数量,而使细菌、放线菌数量显著增加;碱性肥料能有效提高土壤pH值,而不会造成土壤EC值的迅速增加;土壤pH值与土壤中FOC数量及香蕉发病率呈显著负相关,细菌数量与FOC数量、香蕉枯萎病发病率、病情指数之间也呈显著的负相关关系,而土壤中FOC和真菌数量与香蕉发病率呈显著正相关。

参 考 文 献:

[1] Pegg K G, Moore N Y, Bentley S. Fusarium wilt of banana in Australia: a review [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1996, 47(5): 637-650.

[2] Ploetz R C. Fusarium wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* [J].

Phytopathology, 2006, 96(6): 653-656.

[3] Molina A B, Fabregar E, Sinohin V G, *et al*. Recent occurrence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in Asia[J]. Acta Horticulturae, 2009, 828: 109-116.

[4] 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 X L, Li J. Effectiveness of alkaline fertilizer on banana Fusarium wilt control and the soil acidity regulation in degraded orchards[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(4): 938-946.

[5] 张茂星, 张明超, 陈鹏, 等. 硝/铵营养对香蕉生长及其枯萎病发生的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1241-1247.
Zhang M X, Zhang M C, Chen P, *et al*. Influence of nitrate/ammonium ratio on the plant growth of banana and related wilt disease development[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(5): 1241-1247.

[6] 戚佩坤. 广东果树真菌病害[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 38-39.
Qi P K. Guangdong fungal diseases of fruit trees[M]. Beijing: Science Press, 2000. 38-39.

[7] 高乔婉. 香蕉枯萎病[A]. 中国农业百科全书编辑部. 植物病理学卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 482.
Gao Q W. Banana wilt [A]. Encyclopedia of the Editorial Department of China's Agriculture. Plant pathology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. 482.

[8] Pearce F. Going bananas[J]. New Scientist, 2003, 177: 26-30.

[9] 张志红, 李华兴, 韦翔华, 等. 生物肥料对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2421-2425.
Zhang Z H, Li H X, Wei X H, *et al*. Influence of biological fertilizers on banana wilt disease and microorganisms in soil[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2421-2425.

[10] 卓国豪, 黄有宝, 吴运新, 等. 香蕉枯萎病的综合防治技术[J]. 植物检疫, 2003,17(5): 279-280.
Zhuo G H, Huang Y B, Wu Y X, *et al*. Banana wilt disease control[J]. Plant Quarantine, 2003, 17(5): 279-280.

[11] 林兰稳, 奚伟鹏, 黄赛花. 香蕉镰刀菌枯萎病防治药剂的筛选[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 182-183.
Lin L W, Xi W P, Huang S H. Selection of fungicides for controlling banana blight resulted from *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense*[J]. Ecology and Environment, 2003, 12(2): 182-183.

[12] Murray M G, Thompson W F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA[J]. Nucleic Acids Research, 1980, 8 (19): 4321-4325.

[13] Lius S, Richard M M, Mureen M M, *et al*. Pathogen-derived resistance provides papaya with effective protection against papaya ringspot virus[J]. Molecular Breeding, 1997, 3: 161-169.

[14] Tennant P F, Gonsalves C, Link K S, *et al*. Different protection against papaya ring spot virus isolate in coat protein gene transgenic papaya and classically cross-protected papaya [J]. Phytopathology, 1994, 84: 1359-1366.

[15] Getha K, Vikineswary S, Wong W H, *et al*. Evaluation of *Streptomyces* spp. strain g10 for suppression of Fusarium wilt and rhizosphere colonization in pot-grown banana plantlets [J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2005, 32: 24-32.

[16] 王莉, 李宝聚, 石延霞. 酸碱微环境对三种黄瓜主要真菌病原菌的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 808-813.
Wang L, Li B J, Shi Y X. The effect of acid-alkali in the microenvironment on three major fungal pathogens in cucumber [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 808-813.

[17] El-Gibaly M H, El-Reweiny F M, Abdel-Nasser M, *et al*. Studies on phosphate-solubilizing bacteria in soil and rhizosphere of different plants. Ⅰ. Occurrence of bacteria, acid producers, and phosphate dissolvers[J]. Zentralbl Bakteriol Parasitenkd Infektionskr Hyg, 1977, 132(3): 233-239.

[18] 郭水木, 杨志明. 香蕉镰刀菌枯萎病的发生规律与综防措施[J]. 现代园艺, 2009, (2): 16-18.
Guo S M, Yang Z M. Control for measures and occurrence regularity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*[J]. Modern Horticultural, 2009, 2: 16-18.

[19] 陈敦忠, 徐碧玉, 金志强. 香蕉镰刀菌枯萎病的诊断及防治[J]. 热带农业科学, 2005, 25(2): 53-57.
Chen D Z, Xu B Y, Jin Z Q. Diagnosis and control for Fusarium wilt of banana[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005, 25(2): 53-57.

[20] Groenewald S. Biology pathogenicity and diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*[D]. Pretoria: PhD dissertation of the Faculty of Natural and Agricultural Science University of Pretoria, 2006. 27-28.

[21] Woltz S S, Jones J P. Interactions in source of nitrogen fertilizer and liming procedure in the control of Fusarium wilt of tomato [J]. Hortscience, 1973, 8: 137-138.

[22] 陈绵才, 谢圣华, 肖彤斌, 等. 海南岛主要栽培果树的根结线虫病及其防治[J]. 热带农业科学, 2004, 24(6): 8-12.
Chen M C, Xie S H, Xiao T B, *et al*. Occurrence and control root knot nematode disease in main fruit crops in Hainan Island[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2004, 24(6): 8-12.

[23] 樊小林. 香蕉营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007. 208-217, 252-256.
Fan X L. Banana nutrition and fertilization[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007. 208-217, 252-256.

[24] Carlier J. Global evaluation of Musa germplasm for resistance to Fusarium wilt, *Mycosphaerella* leaf spot diseases and nematodes [M]. Rome, Italy: Bioversity Internatinal, 2003.

[25] Sun E J, Su H J, Ko W H. Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Race 4 from soil or host tissue by cultural characters[J]. Phytopathology, 1978, 68: 1672-1673.

[26] Wang B, Yuan J, Zhang J, *et al*. Effects of novel bioorganic fertilizer produced by *Bacillus amyloliquefaciens* W19 on antagonism of Fusarium wilt of banana [J]. Biology Fertility Soils, 2013, 49(4): 435-446.

[27] Shen Z, Zhong S, Wang Y, *et al*. Induced soil microbial suppression of banana Fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality[J]. European Journal of Soil Biology, 2013, 57: 1-8.

[28] 王世强, 胡长玉, 程东华, 等. 调节茶园土壤 pH 对其土著微生物区系及生理群的影响[J]. 土壤, 2011, 43 (1): 76-80.
Wang S Q, Hu Z Y, Cheng D H, *et al*. Effects of adjusting pH of tea plantation soil on indigenous microbial fauna and physiological group[J]. Soils, 2011, 43 (1): 76-80.

[29] 胡莉莉, 窦美安, 谢江辉, 等. 香蕉枯萎病抗病性研究进展[J]. 广西热带农业, 2006, (1): 16-18.
Hu L L, Dou M A, Xie J H, *et al*. Advances in resistance of banana Fusarium wilt[J]. Guangxi Tropical Agriculture, 2006, (1): 16-18.

[30] 刘绍钦, 梁张慧, 黄炽辉. 香蕉枯萎病的防治策略[J]. 广西农业科学, 2006, 37(6): 686-687.
Liu S Q, Liang Z H, Hang C H. Control strategy on Fusarium wilt of banana[J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2006, 37 (6): 686-687.

[31] 罗明, 文启凯, 陈全家, 等. 不同用量的氮磷化肥对棉田土壤微生物区系及活性的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 67-68.
Luo M, Wen Q K, Chen Q J, *et al*. Influences of different nitrogen and phosphorus fertilizers on soil microflora and microbial activities in cottoned soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(2): 67-68.

[32] 周智彬, 李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系[J]. 应用生态学报, 2003,14(8): 1246-1250.
Zhou Z B, Li P J. Ecological distribution of soil microorganism in artificial greenbelt in hinterland of Taklamakan desert and their relations with soil factor [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(8): 1246-1250.

[33] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展[J]. 土壤, 2006, 38 (2): 113-121.
Lu Y H, Zhang F S. The advances in rhizosphere microbiology [J]. Soils, 2006, 38 (2): 113-121.