

有机氮替代部分无机氮对香蕉生产和土壤性状的影响^①

王一鸣¹, 赖朝圆¹, 张汉卿¹, 阮云泽¹, 赵艳¹, 王蓓蓓^{1*}

(海南大学热带农林学院, 海口 570228)

摘要: 改善施肥方式, 利用有机肥替代部分化肥是指导农业合理施肥、维持土壤可持续利用、保证我国农业可持续发展的必然趋势。本文研究了有机氮替代部分无机氮对香蕉产量、品质、枯萎病发病率及土壤微生物群落的影响, 为香蕉生产中减少化肥使用提供理论依据。试验共设置 4 个施肥处理: 常规氮、磷、钾化肥(T1), 商品有机肥替代 20% 无机氮肥(T2), 商品有机肥替代 30% 无机氮肥(T3); 商品有机肥替代 40% 无机氮肥(T4)。测定香蕉长势、枯萎病的发病率、产量、品质以及土壤理化性质、土壤可培养微生物。结果表明, 有机氮肥替代无机氮用量的 20% ~ 40% 均能满足香蕉正常生长的需要, 并且相比于单施化肥, 替代处理香蕉枯萎病发病率显著降低, 香蕉产量显著增加, 有机氮替代无机氮显著提高土壤有机质, 减缓土壤酸化以及提高土壤速效氮、磷、钾含量, 同时降低土壤可培养尖孢镰刀菌数量和真菌数量, 增加土壤可培养细菌数量, 提高 B/F, 使土壤向细菌型土壤转化。并且香蕉枯萎病发病率与土壤有机质、速效氮磷钾和可培养细菌呈显著负相关, 与可培养真菌和尖孢镰刀菌数量呈显著正相关, 主成分分析显示 T4、T3 处理的土壤质量水平最高, T2 处理的土壤质量水平次之, T1 处理最低。综上, 连续有机氮替代 40% 无机氮处理提高土壤质量和土壤微生物群落结构、提高土壤抑病性作用、满足香蕉生长、提高香蕉产量最为显著。

关键词: 有机氮; 无机氮; 香蕉枯萎病; 土壤微生物

中图分类号: S963.91 **文献标识码:** A

香蕉(*Musa spp.*)是亚热带销量最大的水果,也是热带产区的重要粮食作物和经济作物^[1]。我国不仅是香蕉消费大国,更是重要的香蕉主产国,主要种植区域包括广东省、海南省、云南省等,其生产总产量居世界第三^[2-4]。但香蕉枯萎病危害区域广、程度深,已经严重影响香蕉种植生产。由于香蕉经济价值高,在香蕉枯萎病严重的情况下,农民反而加大施肥量,致使香蕉的施肥量逐年增加,且长期大量使用酸性或生理酸性化肥导致土壤酸化加剧^[5],引发一系列土壤问题。在海南,由于土壤肥力下降、土壤微生物群落失衡等引发的香蕉枯萎病导致香蕉种植面积锐减,从高峰期的 87 万亩,降到 2016 年收获面积仅 26 万亩,严重威胁香蕉产业发展^[6-7]。

长期过量使用化肥导致土壤结构退化、土壤有机质含量下降、土壤肥力下降、土壤微生物活性和生物多样性降低,是引发香蕉土传枯萎病,造成减产甚至绝产的主要原因^[8-9]。大量研究表明,有机肥和化学

肥料配施,有利于提高土壤有机质进而增加土壤肥力、改善土壤微生态环境和土壤微生物群落结构,提高土壤养分容量的供应强度,进而提高作物产量、改善品质^[10-13]。因此,调整施肥方式,增加有机肥的投入,是维持土壤可持续利用、保证农业可持续发展的必然趋势^[14]。大量研究结果表明,施用有机肥或功能型生物有机肥不仅可明显提高土壤生物活性^[15-17],而且在调控健康土壤微生物区系和防治土传病害方面有着突出作用^[18-21]。

经前期调研发现,目前海南的香蕉种植者,尤其是农户,为了追求产量,大量施用化肥,较少或不用有机肥,造成土壤退化进而引发香蕉连作障碍,造成减产甚至绝产。鉴于此,本研究采用以鸡粪为原料的商品有机肥,研究有机氮肥部分替代无机氮对香蕉产量、品质、枯萎病发病率以及对土壤微生物群落的影响,以为海南蕉园合理施肥、降低枯萎病发病率提供理论依据。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0202101)、海南省自然科学基金项目(317040)和国家自然科学基金项目(31672239)资助。

* 通讯作者(345814069@qq.com)

作者简介: 王一鸣(1993—),男,山东烟台人,硕士研究生,主要研究方向为土壤微生物。E-mail: 2572277461@qq.com

1 材料与方方法

1.1 试验地概况

田间试验位于海南省临高县新盈农场(19°48'N, 109°0'E), 属热带季风气候, 年平均气温 23~24 °C, 降雨量为 1 417.8 mm。供试土壤属玄武岩风化发育而成的红壤, 试验前为高发病香蕉园, 巴西蕉发病率大于 80%, 试验前 0~40 cm 土层土壤基本理化性质为: pH 5.02, 有机质含量 15.10 g/kg, 碱解氮 189.83 mg/kg, 有效磷 13.45 mg/kg, 速效钾 191.91 mg/kg。

1.2 供试材料

1.2.1 供试香蕉苗 香蕉品种为“宝岛 190”, 供试种苗为海南万钟实业有限公司提供。

1.2.2 供试肥料 本试验施用的肥料种类: 氮肥为尿素(N 46%)、磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、钾肥为氯化钾(K₂O 60%)、鸡粪有机肥(N 1.2%, P₂O₅ 2.4%, K₂O 1.4%, 有机质 45%)。鸡粪有机肥由南通惠农生物有机肥有限公司提供。

1.2.3 培养基配方 尖孢镰刀菌选择性培养基(1 L): D-半乳糖 20.0 g、L-天门冬酰胺 2.0 g、琼脂 20.0 g、K₂HPO₄ 1.0 g、KCl 0.5 g、MgSO₄ 0.5 g、Fe-Na-EDTA 0.01 g, 121 °C 高压灭菌 20 min。倒平板前每升培养基加入五氯硝基苯 1.0 g、牛胆汁 0.5 g、硫酸链霉素 0.3 g、Na₂B₄O₇·10H₂O 1.0 g, 最后用 10% (V/V) 磷酸将 pH 调至 3.8~4.0。

LB 培养基(1 L): 酵母粉 10 g、蛋白胨 20 g、琼脂 20 g、NaCl 20 g, 并用 NaOH 将 pH 调至 7.0, 121 °C 高压灭菌 20 min。

马丁氏培养基(1 L): 蛋白胨 5 g、葡萄糖 10 g、琼脂 20 g、KH₂PO₄ 1.0 g、MgSO₄ 0.5 g、孟加拉红 0.033 g、氯霉素 0.1 g, 121 °C 高压灭菌 20 min。

1.3 试验设计

1.3.1 田间试验 试验开始于 2015 年 9 月, 到 2017 年 10 月结束, 共进行两季试验, 其中第二季植株为第一季收获后留芽。试验共设置 4 个施肥处理: 常规氮、磷、钾化肥(T1), 商品有机肥替代 20% 无机氮肥(T2), 商品有机肥替代 30% 无机氮肥(T3), 商品有机肥替代 40% 无机氮肥(T4)。种植密度为 2 m × 2 m, 每小区种植 50 株, 小区面积 200 m²(4 m × 50 m), 各小区之间用深 30 cm、宽 40 cm 的排水沟隔开。各处理重复 3 次, 按随机排列分布, 试验区外设置保护行。各处理的肥料用量见表 1。有机肥和过磷酸钙全部作为底肥, 香蕉种植前一次性施入, 其余化学肥料是在香蕉生育期按照其生育特性, 分为 11 次施入。

第一季与第二季施肥情况相同。

表 1 各处理有机肥和化肥用量
Table 1 Fertilization information of different treatments

处理	有机肥 (kg/hm ²)	有机养分(kg/hm ²)			无机养分(kg/hm ²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1	0	0	0	0	540	552	720
T2	9 000	108	216	91.5	432	336	628.5
T3	13 500	163.5	327	136.5	376.5	225	583.5
T4	18 000	216	432	180	324	120	540

1.3.2 土壤样品采集 在香蕉苗期、快速生长期和收获期分别采集土样。各小区随机选取 3 株健康香蕉, 用土钻于植株滴水线附近随机选取 5 点钻取距地表 0~20 cm 耕作层土壤并混匀为 1 个土样。每处理 3 次重复, 剔除石砾等杂物后过 2 mm 筛, 部分样品 4 °C 下保存备用, 部分样品风干后用于土壤化学特性的测定。

1.3.3 植株样品测定 在香蕉苗期和快速生长期用尺子测量香蕉株高和茎粗, 其中株高为地面到香蕉倒三叶叶柄处高度、茎粗为株高 1/2 处茎围, 并且使用手持叶绿素仪(TYS-A)采集倒三叶叶绿素数据。

1.3.4 香蕉果实样品采集及处理 在香蕉收获期采集倒数第三把香蕉, 使用 1:500 乙烯利溶液, 清洗香蕉表面, 放在 16 °C 保存至香蕉表皮金黄时, 进行香蕉品质测定。

1.4 测定方法

1.4.1 土壤可培养微生物数量的测定 土壤可培养尖孢镰刀菌、细菌及真菌的数量均通过稀释涂布法测定。可培养尖孢镰刀菌计数使用尖孢镰刀菌选择性培养基, 28 °C 培养 96 h; 细菌采用 LB 培养基, 30 °C 培养 24 h; 真菌采用马丁氏培养基, 28 °C 培养 72 h。将培养后计数平板上形成的菌落数转换成每克干土形成的菌落数(cfu)。各样品中每克干土细菌菌落数与真菌菌落数之比即为可培养细菌与真菌的 B/F 值, B/F 值越小, 表示土壤中真菌数量越多、所占比例越大, 土壤微生物区系异常, 植株易发病。

1.4.2 土壤理化性质和香蕉品质的测定 土壤理化性质和香蕉总酸的测定方法参照《土壤农化分析》^[22]。香蕉糖度测定, 将香蕉和去离子水 1:1 混合, 搅匀后使用糖度计(TD-45)测量。

1.4.3 枯萎病发病率的测定 在两季种植中自出现枯萎病发病症状开始, 每隔 7 d 调查 1 次, 计算发病率, 直至发病率相对稳定。

香蕉枯萎病的发病率按下式计算:

发病率=发病植株数/调查植株总数×100% (1)

1.4.4 香蕉产量的测定 在两季种植后每个小区随机统计 6 株健康香蕉的产量。

香蕉产量按下式计算：

香蕉产量=平均单株产量×k×(100%-发病率)/100% (2)

式中：k：每公顷种植香蕉植株数量(本试验中按照每公顷种植 2 490 株计算)。

1.5 数据分析

试验数据使用 IBM Statistics SPSS 22.0 软件进行分析。其中显著性分析使用单因素方差分析，多重比较使用 LSD(P<0.05)；聚类分析使用系统聚类分析；PCA 分析，先对数据进行 Z 标准化，然后使用因子

分析，经过计算得到相关坐标。试验数据处理和图表使用 Excel 2007 软件。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥替代比例对香蕉植株长势影响

各处理香蕉植株长势见表 2，结果显示，在香蕉苗期，T4 处理的株高显著高于 T1 处理，较 T1 处理增加了 22.17%，T2、T3、T4 处理的茎围显著高于 T1 处理，分别增加了 14.43%、24.06%、23.49%。到快速生长期，所有处理的株高、茎围和叶绿素均无显著性差异。这说明，有机肥替代处理，可以显著促进香蕉苗期植株生长，特别是香蕉茎的发育。

表 2 不同有机肥替代比例对香蕉植株长势影响
Table 2 Agronomic characters of bananas under different treatments

处理	苗期		快速生长期		
	株高(cm)	茎粗(cm)	株高(cm)	茎粗(cm)	SPAD
T1	19.58 ± 1.24 b	17.33 ± 1.49 b	107.33 ± 6.92 a	41.33 ± 1.60 a	63.62 ± 1.71 a
T2	20.92 ± 0.93 b	19.83 ± 1.77 a	105.17 ± 5.58 a	42.67 ± 4.50 a	62.92 ± 1.19 a
T3	21.33 ± 1.11 b	21.50 ± 2.29 a	105.67 ± 9.77 a	42.00 ± 4.43 a	63.57 ± 0.79 a
T4	23.92 ± 1.79 a	21.40 ± 1.70 a	111.67 ± 6.47 a	44.33 ± 2.69 a	62.23 ± 1.32 a

注：同列数据小写字母不同表示不同处理间差异显著 (P < 0.05)，下表同。

2.2 不同有机肥替代比例对香蕉枯萎病发病率、产量和品质的影响

各处理香蕉枯萎病发病率如图 1 所示。在第一季和第二季，与纯化肥对照(T1)相比，不同有机肥替代比例均能显著降低香蕉枯萎病的发病率，第一季时，相比于 T1 处理，T2、T3、T4 处理发病率分别降低 32.91%、37.68% 和 27.13%，其中，T3 处理的发病率最低，为 31.39%，显著低于其他几个处理。第二季中，与第一季结果类似，相比于 T1 处理，T2、T3、T4 处理发病率显著降低，但这 3 个处理间差异不显著。

各处理香蕉产量如表 3 所示。第一季中，所有处理的单株产量间无显著性差异，但由于有机肥部分替

代的 3 个处理 T2、T3、T4 枯萎病发病率较 T1 显著降低，因此 T2、T3、T4 处理的产量均显著高于 T1 处理，分别增产 28.83%、31.47% 和 26.68%；第二季中，T4 处理的单株产量与 T1 处理相比显著增加，单株增产达 26.17%。结合发病率计算的产量结果显示，T2、T3、T4 处理的产量也均显著高于 T1 处理，与第一季结果一致。同时，第二季中，有机肥替代处理中，T4 处理产量最高，显著高于其他两个处理，这说明有机肥替代不仅不降低香蕉单株产量，而且在连续两季有机肥替代 40% 处理后香蕉单株产量还有所提高。同时，有机氮替代无机氮还可以有效降低枯萎病发病率，由此显著增加香蕉产量。

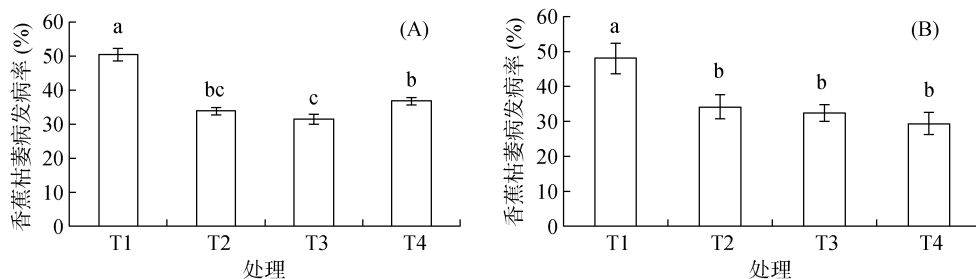


图 1 不同有机肥替代比例对香蕉枯萎病发病率的影响(A. 第一季; B. 第二季)

Fig. 1 Incidences of banana wilt disease under different treatments

表 3 不同有机肥替代比例对香蕉产量影响
Table 3 Banana yields under different treatments

处理	第一季		第二季	
	单株产量 (kg/株)	产量 (t/hm ²)	单株产量(kg/株)	产量(t/hm ²)
T1	19.08 ± 2.17 a	22.74 ± 1.91 b	17.83 ± 0.94 b	22.27 ± 1.18 c
T2	18.44 ± 1.37 a	29.31 ± 1.84 a	19.83 ± 1.73 ab	31.39 ± 2.75 b
T3	17.43 ± 1.80 a	29.91 ± 0.91 a	18.33 ± 1.64 b	29.78 ± 2.68 b
T4	18.97 ± 1.30 a	28.82 ± 1.94 a	22.50 ± 0.35 a	38.15 ± 0.60 a

如表 4 所示,相比于纯化肥处理 T1,30%~40% 有机肥替代比例(T3、T4 处理)显著降低了香蕉的总酸度,并且 T4 处理中香蕉总酸度最低。除 T3 处理显著低于 T1 处理,各处理的香蕉糖度没有显著差异,但纯化肥处理糖度最高。综合糖度和酸度,T4 处理的糖酸比显著高于 T1 处理,相比于 T1 处理,提高了 8.94%。这说明有机氮替代 40% 无机氮能够显著降低香蕉酸度,提高香蕉品质。

表 4 不同有机肥替代比例对香蕉品质的影响
Table 4 Banana qualities under different treatments

处理	总酸(%)	糖度(%)	糖酸比
T1	8.52 ± 0.10 a	21.07 ± 0.57 a	1.79 ± 0.07 b
T2	8.24 ± 0.22 ab	20.47 ± 0.41 ab	1.66 ± 0.03 b
T3	8.07 ± 0.21 b	19.60 ± 0.43 b	1.69 ± 0.07 b
T4	6.97 ± 0.12 c	20.33 ± 0.47 ab	1.95 ± 0.07 a

表 5 不同有机肥替代比例对香蕉园土壤化学性质的影响
Table 5 Basic soil chemical properties under different treatments

处理	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
T1	4.18 ± 0.06 b	12.07 ± 0.31 b	99.66 ± 2.12 c	3.61 ± 0.16 d	127.86 ± 1.63 c
T2	4.20 ± 0.06 b	12.75 ± 0.06 b	103.32 ± 1.99 b	5.53 ± 0.04 c	135.20 ± 6.94 bc
T3	4.83 ± 0.24 a	13.82 ± 0.62 a	109.73 ± 0.82 a	6.05 ± 0.11 b	142.72 ± 2.13 ab
T4	4.79 ± 0.20 a	14.43 ± 0.22 a	109.68 ± 0.22 a	7.41 ± 0.04 a	147.02 ± 2.49 a

2.4 不同有机肥替代比例对蕉园土壤可培养微生物的影响

2.4.1 对连作土壤尖孢镰刀菌数量的影响 各处理土壤可培养尖孢镰刀菌数量如图 2A 所示,在整个生育期内,T1 处理尖孢镰刀菌数量都呈现缓慢上升的趋势。在苗期和收获期时,T1 处理尖孢镰刀菌数量显著高于其他 3 个处理。特别是收获期时,T2、T3、T4 处理的尖孢镰刀菌数量比 T1 处理分别降低了 41.38%、43.37% 和 34.68%。结果表明,施用有机肥,可以有效降低土壤中可培养尖孢镰刀菌的数量。

2.4.2 对土壤真菌数量的影响 各处理土壤可培养真菌数量如图 2B 所示,与 T1 处理相比,不同有机氮肥替代比例处理土壤中可培养真菌数量呈现缓

2.3 不同有机肥替代比例对土壤养分的影响

各处理土壤养分含量如表 5 所示,其中 T3 和 T4 处理土壤 pH 显著高于 T1 和 T2,表明 30% 和 40% 有机氮替代无机氮缓解了土壤酸化。T3 和 T4 处理土壤有机质显著高于 T1 和 T2,与对照(T1)相比,T2、T3、T4 处理土壤有机质含量分别提高了 5.63%、14.50% 和 19.55%,说明有机替代 30% 和 40% 无机氮肥可以显著提高土壤有机质含量。同时,T2、T3、T4 处理的土壤中碱解氮含量显著高于纯化肥处理,比 T1 处理分别提高了 3.67%、10.10% 和 10.05%;有效磷含量分别提高了 53.18%、67.59% 和 105.26%;速效钾含量分别提高了 5.74%、11.62% 和 14.98%;其中,T4 处理土壤中的有效磷和速效钾含量最高,分别达到 7.41 和 147.02 mg/kg,并且碱解氮含量与 T3 处理没有显著差异。这说明,有机氮替代 30%~40% 无机氮能够显著缓解蕉园土壤酸化,提高有机质和速效养分含量。

慢下降趋势。其中,苗期,T2、T3、T4 处理的可培养真菌数量比 T1 处理降低了 13.45%、32.76% 和 29.31%;收获期,T2、T3、T4 处理的可培养真菌数量比 T1 处理减少了 45.50%、59.50% 和 64.50%。结果表明,施用有机肥,可以有效降低土壤中可培养真菌的数量,并且有机肥替代比例越高,土壤可培养真菌数量越低。

2.4.3 对土壤细菌数量的影响 各处理土壤可培养细菌数量如图 2C 所示,在整个生育期内,4 个处理的细菌数量呈现缓慢下降趋势。其中,苗期,T2、T3、T4 处理的可培养细菌数量比 T1 处理增加了 17.07%、39.02% 和 85.37%;收获期,T3、T4 处理比 T1 处理可培养细菌数量增加了 27.84% 和 28.91%;

同时，纵观整个生育期，T4 处理中可培养细菌数量都显著高于其他 3 个处理。结果表明，有机肥替代比例越高，土壤可培养细菌数量越高。

2.4.4 不同有机肥替代比例对细菌真菌比值(B/F)的影响 不同有机肥替代比例对细菌真菌比值影响如图 2 所示，在香蕉苗期和收获期时，纯化肥处理 T1 的土壤中 B/F 基本相似，不同比例有机替代处理的土壤中 B/F 从香蕉苗期到收获期缓慢上升，在收获期时，相比于 T1 处理，T2、T3、T4 处理的土壤 B/F 值分别增加了 96.87%、215.72% 和 263.12%，其中 T4 处理土壤中 B/F 在苗期和收获期均最高，分别为 32.11 和 50.52。B/F 值越小，表示土壤中真菌数量越

多、所占比例越大，土壤微生物区系异常，植株易发病。因此表明，添加有机肥可以提高土壤 B/F 值，有机肥替代比例越高，B/F 越大。

2.5 相关性分析、聚类分析和主成分分析

香蕉枯萎病的发病率与土壤理化性质及微生物数量相关性如表 6 所示，其中，香蕉枯萎病发病率与土壤速效养分(碱解氮、有效磷和速效钾)呈极显著负相关，并与土壤有机质呈显著负相关，同时与收获期时土壤可培养细菌数量有着显著负相关，而与可培养真菌数量和尖孢镰刀菌数量有着极显著正相关关系。这些因子是影响香蕉枯萎病发病率并且造成处理间土壤生态环境变化的主要因子。

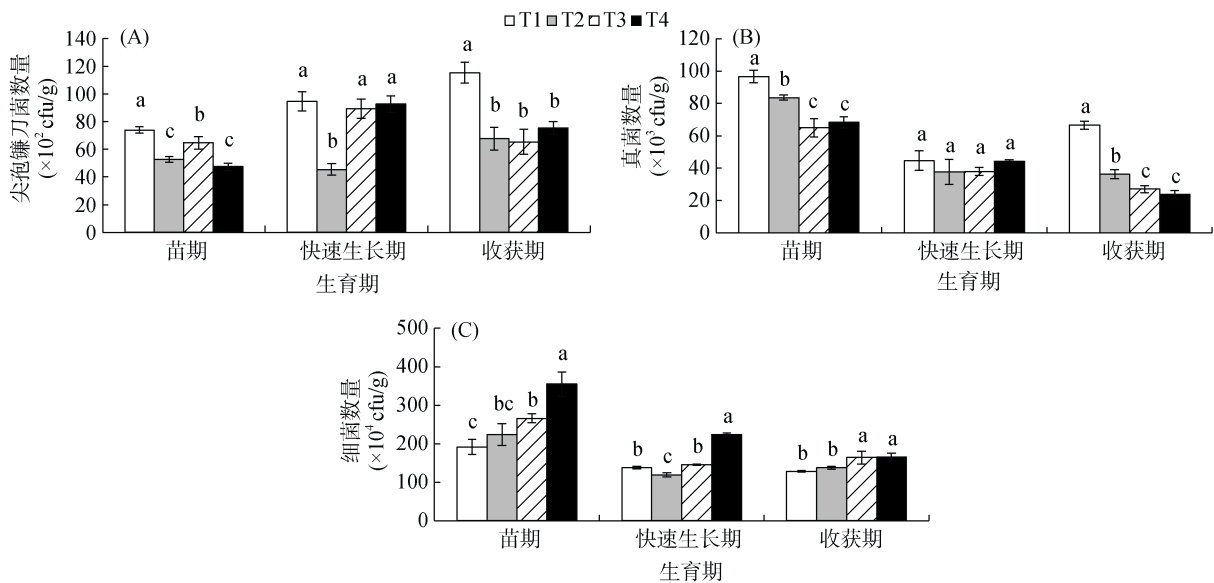


图 2 不同有机肥替代比例对香蕉园土壤尖孢镰刀菌(A)、真菌(B)、细菌(C)数量的影响

Fig. 2 Populations of soil fusarium (A), fungus (B) and bacteria (C) under different treatments

表 6 香蕉枯萎病发病率与土壤理化性状和土壤微生物的相关性分析

Table 6 Correlation coefficient matrix between disease incidence with soil physiochemical properties and microbial

	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	细菌数量	真菌数量	尖孢镰刀菌数量
枯萎病发病率	-0.476	-0.598*	-0.720**	-0.724**	-0.750**	-0.615*	0.887**	0.926**

注：*、** 分别表示相关性达到 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 显著水平。

对不同处理的可培养土壤微生物进行聚类分析(图 3A)表明，T1 处理和有机肥替代无机氮肥处理在聚类中最先分为两簇，有机肥替代无机氮肥处理改变了土壤可培养微生物结构，与 T1 差异很大，说明有机肥替代无机氮肥处理对土壤可培养微生物具有明显的影响。在有机肥替代无机氮肥处理中，T2 和 T3、T4 处理的各重复在聚类中聚在一起，并分为两簇，T3、T4 处理的聚在一起，这可能与 T3 处理和 T4 处理差异较小有关。

通过 5 个土壤化学性质指标和 3 种土壤可培养微

生物组成的土壤生物肥力指标的主成分分析(图 3B)，矢量线段代表因子负荷，点代表处理，两个主要成分 PC1 和 PC2 的贡献率分别为 84.93% 和 7.49%。同时，各施肥土壤质量水平在 PC1 上的分异程度明显大于在 PC2 上的分异程度，这与 PC1 对土壤质量水平的方差贡献率较大有关^[23]。

根据因子负荷，可以看出有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和土壤可培养细菌在 PC1 有较高负荷，土壤可培养真菌、可培养病原菌和 pH 在 PC2 有较高负荷。由以上分析可知对于 PC1 上的因子与香蕉枯

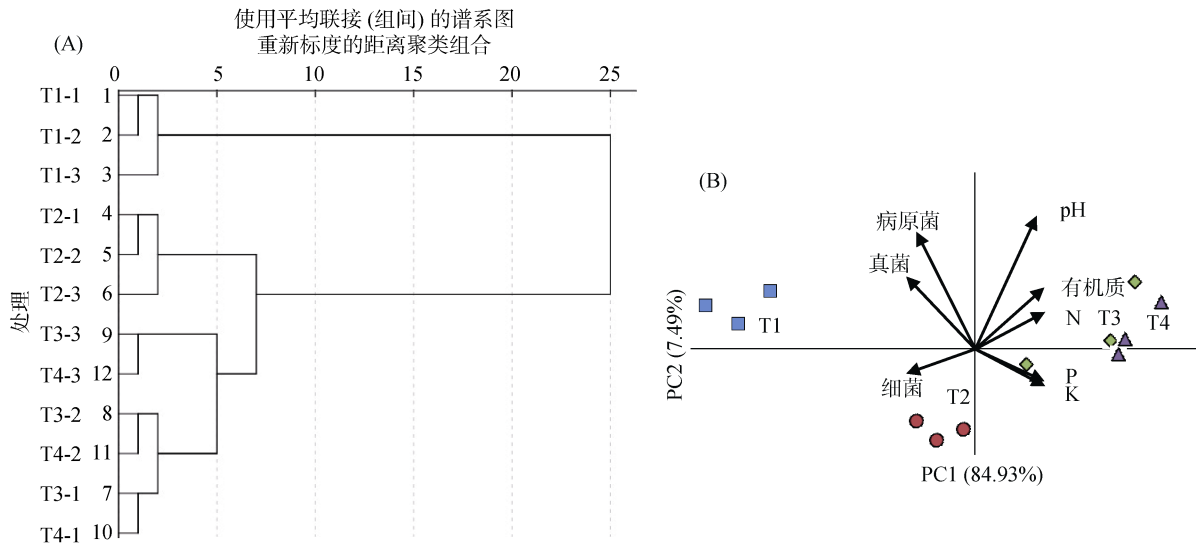


图 3 不同有机肥替代比例处理香蕉园土壤基于可培养微生物的聚类(A)和主成分(B)分析
Fig.3 Cluster analysis by populations of soil microbial (A) and PCA analysis(B) of different treatments

萎病发病率呈显著相关性,同时香蕉枯萎病发病率与 PC1 得分呈极显著负相关(-0.784^{**})。

根据处理得分,4 个处理可以明显分为 3 个部分,第一部分为 T1 处理,第二部分为 T2 处理,第三部分为 T3、T4 处理,这也与聚类情况较为相似。在以 PC1 所代表的土壤质量水平上,各施肥土壤质量水平大小依次为 $T4 > T3 > T2 > T1$ 。结果表明,有机替代比例越高,抵御香蕉枯萎病的能力越高。

3 讨论

施肥是农业生态系统中提高作物产量的重要措施,为了单纯地追求效率和产量而过量施用化肥是导致我国土壤肥力下降并诱发土传病害的主要原因之一^[24]。施用有机肥是缓解土壤退化等问题的重要手段之一,有机肥分解缓慢,具有长效性,但单纯的有机肥并不能满足作物生长前期的养分需求。一定比例的有机无机肥料配施,不仅能满足当季作物生长获得较高的产量,而且能在一定程度上提高土壤肥力^[25-26]。陶磊等^[27]研究发现有机肥或生物有机质替代化肥 20%~40% 能够满足棉花的生长,并未降低棉花的产量。而目前在海南省大规模香蕉生产中,需要施入的氮量约为 600 kg/hm^2 左右^[28]。因此本试验以 540 kg/hm^2 施氮量为基准,设置不同梯度的有机氮替代化学氮肥的田间试验,并参考他人研究结果及生产实践经验,设置最高替代比例为 40%。研究表明,减少 20%~40% 的无机氮肥用量情况下,分别配施 $9\ 000 \sim 18\ 000 \text{ kg/hm}^2$ 有机肥,可以使香蕉单产达到与化学肥料施用相同的效果,并在第二季有机替代达

到 40% 时,香蕉单产显著提高,同时香蕉品质无明显差异。由于有机氮部分替代无机氮处理能够显著降低香蕉枯萎病的发病率,减少香蕉植株的损失,因此,有机氮部分替代无机氮既可以维持香蕉持续高产,又可以显著提高香蕉单位面积产量。

研究表明,有机肥可以增加土壤有机质含量,使土壤形成良好的团聚体结构,提高土壤养分,从而增强土壤保肥供肥能力^[29]。本研究结果显示,施用有机肥可以有效提高土壤有机质含量,有机肥施用比例越高,土壤有机质含量越高,这与 Guo 等^[30]研究相一致。同时,研究表明,在香蕉园中,单纯的施用无机肥会导致土壤 pH 不同程度降低^[31-32],本研究中,有机肥部分替代无机氮肥处理与对照相比,能够显著减弱土壤的酸化,可以提高土壤全氮量、速效钾和有效磷含量,同时有机质对速效养分的吸附可减少速效养分的流失,因此有机肥既可保证足量的速效养分,又减少了养分流失,并且随着有机肥替代比例的增加,土壤速效养分含量也呈增加趋势。

目前主成分分析法在土壤质量评价中正得到大量的应用^[33-36]。通过 5 个土壤化学性质和 3 种土壤可培养微生物组成的土壤生物肥力指标的主成分分析结果得出,各施肥土壤质量水平在 PC1 上的分异程度大于 PC2,同时香蕉枯萎病发病率与 PC1 得分呈极显著负相关。因此,有机肥替代无机氮有利于土壤质量水平的提高、降低香蕉枯萎病的发病率,这种提高是由土壤有机质、有效磷、速效钾的含量差异引起的,同时这与邓晓等^[37]的调研结果相一致。并且随着有机替代比例提高,在 PC1 上的得分越高,土壤

抑病性程度也呈现增加趋势。

土壤微生物对土壤养分循环和土壤有机质的分解有着重要的作用,土壤微生物数量是反映土壤肥力和土壤质量的重要指标^[38]。程万莉等^[39]认为,有机肥替代部分化肥能明显增加土壤细菌等数量,抑制了真菌的生长,改变了土壤微生物群落的结构组成。本研究有机无机肥配施处理均能显著降低土壤真菌数量。在替代比例为30%~40%的处理中,与化肥处理相比,土壤中可培养细菌的数量显著提高,真菌数量显著降低。同时细菌真菌比是评价土壤生态的一个重要指标,土壤细菌真菌比(B/F)越大,土壤肥力越高,抑病能力越强^[40-42]。本研究结果显示,随着有机肥替代比例的增高,B/F也逐渐增大,B/F越大表示土壤中真菌数量越少、所占比例越小,土壤微生物区系正常,植株难发病。随着有机肥替代比例增加,土壤向细菌型转化的趋势越明显。

本试验在有机氮肥替代30%~40%无机氮肥的情况下,显著提高土壤有机质含量,显著提高土壤pH,改良土壤,提高土壤养分供应水平,显著提高速效养分例如碱解氮、有效磷和速效钾的含量;并且显著减少土壤可培养尖孢镰刀菌和真菌数量,显著增加土壤可培养细菌的数量,提高土壤细菌B/F,增强土壤的抑病性。在提高土壤肥力的同时对土壤的微生物群落结构也产生了影响,从而显著降低香蕉枯萎病的发生,提高香蕉产量。本研究结果可为海南香蕉生产上持续利用有机肥替代部分无机氮肥施用提供理论参考。

参考文献:

- [1] Heslop-Harrison J S. Domestication, genomics and the future for banana[J]. *Annals of Botany*, 2007, 100(5): 1073-1084
- [2] 艾建安,熊瑞权,董丽萍,等. 2015年广东香蕉产业发展形势与对策建议[J]. *广东农业科学*, 2016, 43(4): 11-15
- [3] 江林. 香蕉镰刀菌枯萎病拮抗细菌的筛选及其抗菌物质的初步研究[D]. 海口: 海南大学, 2011
- [4] 刘海清,方佳. 中国香蕉产业的国际竞争力研究[J]. *农业现代化研究*, 2010, 31(5): 565-569
- [5] 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
- [6] 沈宗专. 抑制香蕉土传枯萎病土壤的微生物区系特征及调控[D]. 南京: 南京农业大学, 2015
- [7] 王芳,过建春,柯佑鹏,等. 2016年我国香蕉产业发展报告及2017年发展趋势[J]. *中国热带农业*, 2017(3): 25-29
- [8] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327: 1008-1010
- [9] Zhong W H, Cai Z C. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 36(2/3): 84-91
- [10] 李彦,孙翠平,井永苹,等. 长期施用有机肥对潮土土壤肥力及硝态氮运移规律的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(7): 1386-1394
- [11] 郭振,王小利,徐虎,等. 长期施用有机肥增加黄壤稻田土壤微生物量碳氮[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(5): 1168-1174
- [12] 黄婷,荀卫兵,张瑞福. 长期不同施肥对北方旱地轮作土壤有机质和作物产量影响的抽样调查[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, 34(2): 253-260
- [13] 朱宝国,于忠和,王囡囡,等. 有机肥和化肥不同比例配施对大豆产量和品质的影响[J]. *大豆科学*, 2010, 29(1): 97-100
- [14] Khaliq A, Abbasi M K, Hussain T. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(8): 967-972
- [15] 林新坚,王飞,蔡海松,等. 不同有机肥源对土壤微生物量及花生生产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(2): 235-238
- [16] 胡可,李华兴,卢维盛,等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 303-306
- [17] Plaza C, Hernández D, García-Gil J C, et al. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(10): 1577-1585
- [18] 姜丽娜,敬岩,符建荣,等. 有机肥提升高产稻田生产力及土壤生物活性作用研究[J]. *土壤通报*, 2010, 41(4): 892-897
- [19] Tao R, Liang Y, Wakelin S A, et al. Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality[J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 96: 42-51
- [20] Feng Y, Chen R, Hu J, et al. *Bacillus asahii*, comes to the fore in organic manure fertilized alkaline soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, 81: 186-194
- [21] Li J, Cooper J M, Lin Z, et al. Soil microbial community structure and function are significantly affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain[J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 96: 75-87
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [23] 陈吉,赵炳梓,张佳宝,等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. *土壤*, 2010, 42(3): 415-420
- [24] 曹胜,周卫军,王凡荣,等. 东安县水稻测土配方施肥专家信息系统研制与推广示范[J]. *农业网络信息*, 2015(9): 66-71
- [25] 郝小雨,高伟,王玉军,等. 有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(3): 538-547

- [26] 宋永林, 唐华俊, 李小平. 长期施肥对作物产量及褐潮土有机质变化的影响研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(Z1): 100-105
- [27] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146
- [28] 林木森, 王娟, 范志荣, 等. 云南河口山地香蕉测土配方施肥的田间肥料效应研究[J]. 热带农业科学, 2017, 37(6): 18-22
- [29] 张靓, 梁成华, 杜立宇, 等. 长期定位施肥条件下蔬菜保护地土壤微团聚体组成及有机质状况分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(3): 331-335
- [30] Guo L, Wu G, Li Y, et al. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China[J]. Soil & Tillage Research, 2016, 156: 140-147
- [31] Yang X, Ren W, Sun B, et al. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China[J]. Geoderma, 2012, 177/178: 49-56
- [32] 龙光强, 蒋瑞霖, 孙波. 长期施用猪粪对红壤酸度的改良效应[J]. 土壤, 2012, 44(5): 727-734
- [33] 张亚鸽, 史彦江, 吴正保, 等. 基于主成分分析的枣园土壤肥力综合评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1156-1160
- [34] 吕真真, 吴向东, 侯红乾, 等. 有机-无机肥配施比例对双季稻田土壤质量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 904-913
- [35] 栗丽, 李廷亮, 孟会生, 等. 菌剂与肥料配施对矿区复垦土壤养分及微生物学特性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2016(6): 1156-1160
- [36] 马忠明, 王平, 陈娟, 等. 适量有机肥与氮肥配施方可提高河西绿洲土壤肥力及作物生产效益[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1298-1309
- [37] 邓晓, 李勤奋, 侯宪文, 等. 蕉园土壤因子与香蕉枯萎病发病的相关性研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(3): 446-454
- [38] Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós M C, et al. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(5): 877-887
- [39] 程万莉. 有机肥替代部分化肥对马铃薯根际微生物群落功能多样性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015
- [40] Liu X, Herbert S J. Fifteen years of research examining cultivation of continuous soybean in northeast China: A review[J]. Field Crops Research, 2002, 79(1): 1-7
- [41] Yao H, Wu F. Soil microbial community structure in cucumber rhizosphere of different resistance cultivars to fusarium wilt[J]. Fems Microbiology Ecology, 2010, 72(3): 456-463
- [42] 柳玲玲, 苟久兰, 何佳芳, 等. 生物有机肥对连作马铃薯及土壤生化性状的影响[J]. 土壤, 2017, 49(4): 706-711

Effects of Partial Substitution of Chemical Nitrogen with Organic Fertilizer on Banana Production and Soil Properties with Serious Disease Incidence

WANG Yiming¹, LAI Chaoyuan¹, ZHANG Hanqin¹, RUAN Yunze¹, ZHAO Yan¹, WANG Beibei^{1*}
(*Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China*)

Abstract: Partially replacing chemical fertilizer with organic fertilizer is the inevitable trend in guiding the rational fertilization, maintaining soil sustainable utilization and ensuring agriculture sustainable development in China. This study investigated the effects of partially replacing chemical nitrogen fertilizer (CNF) with organic fertilizer on the yield, quality and wild disease incidence of banana as well as soil microflora in order to provide theoretical basis for reducing the usage amount of CNF in the banana production. Four treatments were designed: T1, conventional CNF; T2, 20% of CNF replaced by organic nitrogen fertilizer (ONF); T3, 30% of CNF replaced by ONF; T4, 40% of CNF replaced by ONF. The growing conditions, disease incidence, yield and quality of banana, the nutrients and the amount of culturable microbial in soils were measured. The results showed that 20% to 40% of CNF replaced by ONF could meet the normal growth need of banana. Moreover, compared with T1, the substitution treatments (T2, T3 and T4) significantly increased the banana yield, meanwhile significantly reduced the disease incidence of banana fusarium wilt. In addition, the substitution treatments enhanced the contents of soil organic matter, available nitrogen, phosphor and potassium and mitigated soil acidification, which were all significantly negatively correlated with disease incidence. Furthermore, the quantities of culturable soil fungi and culturable fusarium were reduced, which were significantly positively correlated with disease incidence, and the quantity of culturable soil bacteria and B/F ratio were increased in the substitution treatments, principle components analysis showed that T4 and T3 treatments had the highest soil qualities, followed by T2, and T1 was the lowest. In conclusion, 30%–40% substitution treatment is optimal in promoting soil quality and improving soil microbial community structure for banana production.

Key words: Organic N; Inorganic N; *Fusarium* wild disease; Soil microbial