

香蕉-水稻轮作联合添加有机物料 防控香蕉枯萎病研究

辛侃¹, 赵娜¹, 邓小垦¹, 董存明¹, 李荣², 阮云泽^{1*}

(1. 海南省热带生物资源可持续利用重点实验室, 海南大学, 海口 570228; 2. 南京农业大学, 南京 210095)

摘要 香蕉枯萎病是一种由尖孢镰刀菌引起的土传病害, 枯萎病的发生对香蕉产业造成严重的冲击。本文针对香蕉枯萎病难以防控的难题, 采用水稻轮作同时添加有机物料(椰糠、稻秆和桉树皮)的方法, 研究了其对香蕉枯萎病高发蕉园土壤中尖孢镰刀菌(FOC)和其他微生物数量的影响及其对香蕉枯萎病的防控效果。结果表明, 轮作水稻可以显著减少土壤中 FOC 的数量, 从而降低香蕉枯萎病的发病率。其中轮作水稻处理比未淹水未种植水稻处理 FOC 的数量下降了 71.5%, 下茬香蕉枯萎病发病率降低了 81.7%; 与未种植水稻但淹水的处理相比 FOC 数量下降了 47.8%, 下茬香蕉枯萎病发病率降低了 71.2%; 种植水稻同时添加水稻秸秆能够显著增强病原菌的杀灭效果和を下茬香蕉枯萎病的防控效果, 相比未添加物料轮作水稻处理, 尖孢镰刀菌数量下降了 36.2%, 下茬香蕉枯萎病发病率降低了 50.0%。同时, 水稻轮作同时添加有机物料处理及其下茬香蕉的种植, 对土壤中可培养细菌、真菌和放线菌数量均具有不同的影响。其中水稻种植期间不同处理的可培养真菌与放线菌数量随着时间的增加整体呈下降趋势, 而在种植香蕉后随着时间的增加呈上升趋势; 土壤中可培养细菌的数量在水稻种植与香蕉种植期间随着时间的增加未呈现出规律性。结论: 水稻轮作联合稻秆的添加能有效降低土壤中 FOC 的数量和下茬香蕉枯萎病的发病率。

关键词 香蕉枯萎病; 水旱轮作; 氧化还原电位; 土壤微生物

中图分类号: S 436.681 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2014.06.007

Effects of rice rotation incorporated with organic materials on suppression of banana *Fusarium* wilt disease

Xin Kan¹, Zhao Na¹, Deng Xiaoken¹, Dong Cunming¹, Li Rong², Ruan Yunze¹

(1. Hainan Key Laboratory for Sustainable Utilization of Tropical Bio-resources, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Banana *Fusarium* wilt disease is caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) race 4 and reported to be the most limiting factor in banana production worldwide. The effects of rice rotation incorporated with organic materials (coconut, straw and stingy bark) on FOC population and banana disease incidence were investigated in this study. The results showed that FOC population and the disease incidence in rice rotation soils decreased by 71.5% and 81.7%, respectively, compared with the control, and decreased by 47.8% and 71.2%, respectively, compared with that in flooding soils without rice rotation. In addition, incorporating rice straw into rice rotation system enhanced the control effects. FOC population and the disease incidence decreased by 36.2% and 50.0%, respectively, compared with rice rotation. Meanwhile, rice rotation incorporated with organic materials and afterculture banana planting resulted in different effects on the population of culturable soil fungi, bacteria and actinomycetes. The abundance of culturable fungi and actinomycetes showed decreasing trend during rice planting, while increasing trend were observed during banana planting; no regularity for the abundance of culturable bacteria was shown during rice and banana planting. In conclusion, rice rotation incorporated with straws effectively reduced the FOC number and controlled afterculture banana *Fusarium* wilt disease.

收稿日期: 2013-12-01 修订日期: 2014-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(31372142); 教育部博士点新教师基金(20110097120001); 海南省自然科学基金(313045); 海南省产学研一体化专项资金(CXY20130031); 海南省科技项目(ZDZX2013023); 中央财政支持中西部高校提升综合实力专项

* 通信作者 E-mail: ruanyunze1974@hainu.edu.cn

Key words banana *Fusarium* wilt disease; rice rotation; oxidation-reduction potential; microorganism of soil

香蕉是热带亚热带地区广泛种植的水果之一,最早起源于亚洲东南部,其产量仅次于苹果、柑橘、梨,位居水果第4位,被联合国粮农组织定义为第4粮食作物^[1-2]。近年来,由尖孢镰刀菌古巴专化型 [*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC)] 侵染引起的香蕉枯萎病(又称香蕉黄叶病,巴拿马枯萎病),在我国南部迅速蔓延^[3],严重阻碍了现代香蕉产业的健康发展,使香蕉的生产面临着严峻的挑战^[4-5]。该病害传播途径广泛,可通过水、土壤等介质传播,我国部分蕉园已经遭受毁园打击。由于气候条件的限制,我国可种植香蕉的耕地面积原本就小,若再不采取有效的防治措施,我国香蕉产业将面临严峻形势。

水稻是一年生禾本科植物,除称为早稻的生态型外,水稻都在热带、半热带和温带等地区的沿海平原、潮汐三角洲和河流盆地的淹水地栽培,是全球最重要的粮食作物之一,世界上近一半的人口都以大米为食。有报道称,对于发病严重的香蕉种植地,采取香蕉与水稻水旱轮作措施有利于减少香蕉枯萎病原菌的传播几率,但需要种植一定时间,才能取得对香蕉枯萎病的有效防控效果^[6]。有研究发现^[7-10]通过在土壤中添加某些有机物料并灌溉淹水,降低土壤的氧化还原电位的方法,在一些作物土传病害的控制上取得了一定的效果。如果能够将土壤中添加有机物料并灌溉淹水,降低土壤氧化还原电位的方法与水稻轮作相结合,预计能够有效地增强香蕉连作枯萎病的防控效果。

椰子、水稻和桉树是海南省广泛种植的3种植物。2010年,海南省椰树种植面积已经达到39 160 hm²。据统计,我国每年生产约7亿t的秸秆,占世界秸秆总量的30%,其中被利用的不足2 000万t,目前农民大多用焚烧的方式对秸秆进行处理。桉树是世界公认的主要速生丰产树种之一,中国的桉树种植面积约170多万hm²,居世界第三位,在工业生产中往往会产生很多废弃的桉树皮。大量的农业废弃物椰壳、稻秆和桉树皮常被直接丢弃或者焚烧,这不仅是对有机资源的一种浪费,而且会对环境造成污染^[11-13]。本试验旨在研究水旱轮作的同时添加有机物料对香蕉枯萎病高发土壤中微生物的影响,试图通过有机物料的添加找到最有利于香蕉生长的水旱轮作方式。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤:采自海南万钟实业有限公司万亩蕉园香蕉发病率大于60%的地块,土壤为海相沉积物发育的燥红土。土壤理化性质:pH 6.7,有机质含量5.2 g/kg,全氮73.3 mg/kg,速效磷237.2 mg/kg,速效钾207.6 mg/kg。

水稻种子:杂交种‘Ⅱ优航2号’。

香蕉苗:采用海南省万钟实业有限公司生产的‘巴西一号’香蕉苗。

椰糠、稻秆和桉树皮:均由当地农田和工厂获得,其中椰糠、稻秆、桉树皮的碳氮比分别为87、100.9和83。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验共设6个处理(表1),每个处理3次重复,共18个小区。每个小区的面积为1.4 m×1.8 m,每两株秧苗一穴。椰糠、稻秆和桉树皮的添加量均为1%(W/W),与土壤混合均匀,处理期间保持土壤淹水。试验于2013年2月20日至6月20日在乐东县香蕉枯萎病防控研究所温室内进行,处理期间土壤温度为25~35℃。

表1 试验处理

Table 1 Treatments

处理编号 The number of treatment	处理 Treatment
CK	病土+未淹水+未种植水稻 Diseased soil without flooding and rice-planting
W	病土+淹水+未种植水稻 Diseased soil with flooding and without rice-planting
WRC	病土+淹水+种植水稻+椰糠 Diseased soil with flooding, rice-planting and coconut addition
WRS	病土+淹水+种植水稻+稻秆 Diseased soil with flooding, rice-planting and straw addition
WRE	病土+淹水+种植水稻+桉树皮 Diseased soil with flooding, rice-planting and stingy bark addition
WR	病土+淹水+种植水稻 Diseased soil with flooding and rice-planting

1.2.2 香蕉盆栽试验

水稻收获后,收集6个处理土壤,分别进行下茬

香蕉盆栽试验,每个处理 30 盆,每盆 30 kg 土种植 1 株香蕉苗。各盆栽处理在种植期间未施用肥料。试验于 2013 年 7 月 10 日—10 月 20 日在乐东县香蕉枯萎病防控研究所温室内进行。

1.2.3 香蕉发病率统计

统计种植香蕉 90 d 时各处理中发病植株占各处理总数的百分比即为发病率。

1.2.4 氧化还原电位(Eh)值的测定

使用中国科学院南京土壤研究所 QX6530 智能便携式酸度计原位测定。

1.2.5 菌株计数方法

土壤样品尖孢镰刀菌、真菌、细菌、放线菌计数采用平板涂布。尖孢镰刀菌选择 K2 培养基^[14]: K_2HPO_4 1 g, KCl 0.5 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 g, $Fe-Na-EDTA$ 0.01 g, L-天门冬酰胺 2 g, 半乳糖 10 g, 琼脂 16 g, 去离子水定容至 900 mL, 高压灭菌后冷却至 60 ℃, 加入 100 mL 盐溶液(五氯硝基苯 75% 可湿性粉剂 0.9 g, $Oxgall$ 0.45 g, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 0.5 g, 硫酸链霉素 0.3 g, 用 10% 磷酸调 pH 至 3.8 ± 0.2)。真菌、细菌、放线菌分别采用 LB 培养基和高氏培养基^[15-16]。称取土壤样品 5 g, 加入到 45 mL 无菌水中, 170 r/min 振荡 20 min, 进行系列梯度稀释后 FOC、真菌、细菌和放线菌分别于 K2 培养基、孟加拉红培养基、牛肉膏蛋白胨培养基、高氏一号培养基上涂布, 30 ℃ 培养 2 d 后计取土壤样品中可培养细菌数量, 4 d 后计取 FOC、真菌和放线菌的数量。

1.2.6 统计分析

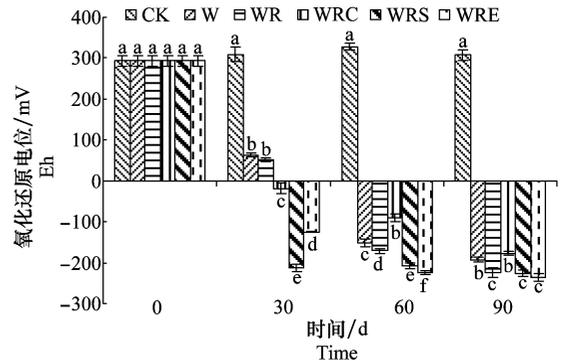
数据统计分析使用 Excel 和 SPSS 9.0, 通过 Duncan 新复极差法检验处理间差异的显著性水平 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 水稻土壤 Eh 的变化

由图 1 可以看出, 对照处理土壤 Eh 值随时间的增加无显著变化, 而在淹水条件下, 处理 W、WRC、WRS、WRE 和 WR 中土壤 Eh 值随着时间的增加逐渐下降, 在淹水 60 d 时, 除 CK 外, 其余处理土壤 Eh 值均降至 -80 mV 以下, 在淹水 90 d 时, 处理中的土壤 Eh 值均下降至 -180 mV 以下。其中, 淹水处理 W 和只种植水稻的处理 WR 在 30 d 时 Eh 值未降至 0 mV 以下, 添加物料的处理 WRC、WRS 和 WRE 则均降至 0 mV 以下。处理 WRS Eh 值下降最快。表明有机物料加速了土壤

Eh 值的下降, 其中添加稻秆的效果最好, 在 30 d 内可以使土壤 Eh 值降低至 -200 mV 以下。



图中小写字母代表同一时间不同处理差异显著, CK为病土、W为病土+淹水、WRC为病土+淹水+种植水稻+椰糠、WRS为病土+淹水+种植水稻+稻秆、WRE为病土+淹水+种植水稻+桉树皮、WR为病土+淹水+种植水稻, 下同

Different lowercase letters in columns at the same time indicate significant difference ($P < 0.05$), CK: Diseased soil without flooding and rice-planting, W: Diseased soil with flooding and without rice-planting, WRC: Diseased soil with flooding, rice-planting and coconut addition, WRS: Diseased soil with flooding, rice-planting and stinging bark addition, WRE: Diseased soil with flooding, rice-planting and stinging bark addition, WR: Diseased soil with flooding and rice-planting.

图 1 不同处理下氧化还原电位(Eh)值的变化

Fig. 1 Variation of Eh values with time in different treatments

2.2 土壤微生物数量的变化

2.2.1 轮作水稻联合不同有机物料的添加对尖孢镰刀菌数量的影响

轮作水稻联合不同有机物料的添加对尖孢镰刀菌数量的影响如图 2 所示, 各处理中 FOC 数量在 90 d 时均有不同程度的下降。30 d 时, CK 中 FOC 数量最多, 显著高于其他处理; 种植水稻的处理 WRS、WE 和 WR 中 FOC 的数量显著低于未种植水稻的淹水处理 W。90 d 时, WR 处理相比 CK 处理 FOC 的数量下降了 71.5%, 相比 W 处理 FOC 数量下降了 47.8%。处理 WRS 中尖孢镰刀菌数量在 90 d 后最低, 且与其他处理差异显著, 仅为 CK 和 W 处理的 81.8% 和 66.7%, 相比 WR 处理, 尖孢镰刀菌数量下降了 36.2%。处理 WRC 与处理 WRE 中尖孢镰刀菌的数量在 0~60 d 内呈现先降后升的趋势, 处理 WRC 在 90 d 后尖孢镰刀菌的数量达到最高, 分别高于 CK 和 W 74.9% 和 225.8%, 与其他处理差异达显著性水平 ($P < 0.05$)。

2.2.2 轮作水稻联合不同有机物料的添加对真菌数量的影响

不同处理的真菌数量随着时间的增加整体呈下降趋势。淹水 30 d 时, WRC 处理中可培养真菌数

量显著高于其他各处理,而 CK 与 WRS 处理中可培养真菌数量显著低于其他各处理。在 90 d 时淹水处理 W、WRE、WR 中可培养真菌数量与未淹水处理 CK 中可培养真菌数量无显著性差异,处理 WRS 中可培养真菌数量最少且显著低于其他处理,真菌数量相比 0 d 时减少了 98.8%,处理 WRC 中可培养真菌数量最多且显著高于其他处理,相比 0 d 时减少了 89.6% ($P < 0.05$) (图 3)。

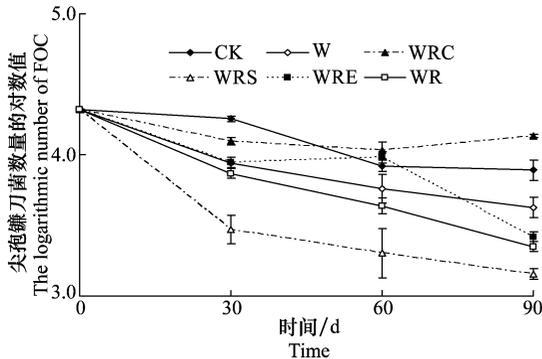


图 2 不同处理条件下尖孢镰刀菌数量的变化 (菌数量单位 $\log \text{cfu/g}$)

Fig. 2 The changes in the numbers of FOC under different treatments

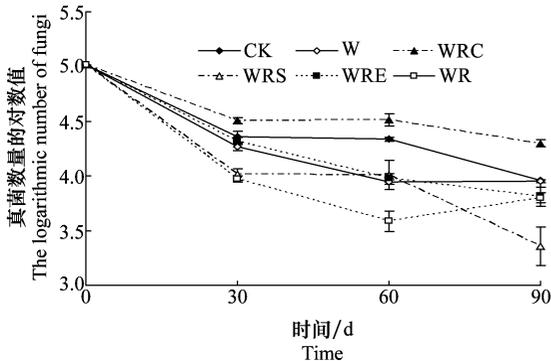


图 3 不同处理条件下真菌数量的变化 (菌数量单位 $\log \text{cfu/g}$)

Fig. 3 The changes in the numbers of fungi under different treatments

2.2.3 轮作水稻联合不同有机物料的添加对细菌数量的影响

如图 4 所示,不同处理的细菌数量随着时间的增加未呈现整体规律性变化。90 d 时,淹水处理 W 细菌数量较种植前增加,其他各处理中可培养细菌数量均有减少。其中 WRC 处理与 WR 处理可培养细菌数量最少,与其他处理差异显著,在 90 d 时的可培养细菌数量相较 0 d 时分别减少了 77.7% 与 80.8% ($P < 0.05$)。

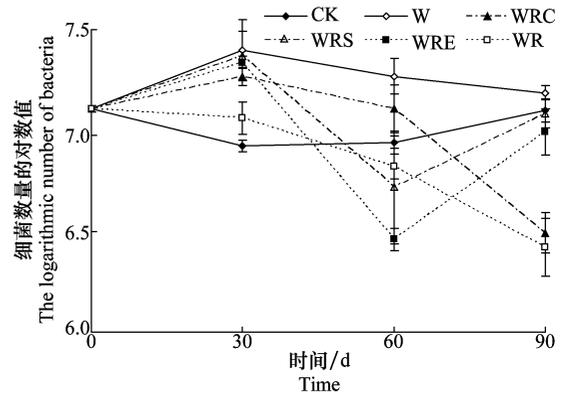


图 4 不同处理条件下细菌数量的变化 (菌数量单位 $\log \text{cfu/g}$)

Fig. 4 The changes in the numbers of bacteria under different treatments

2.2.4 轮作水稻联合不同有机物料的添加对放线菌的影响

如图 5 所示,各处理的放线菌数量较种植前呈整体下降趋势。不淹水处理 CK 的放线菌数量在 90 d 后显著高于其他各处理,放线菌数量在 90 d 内减少了 38.1%。W 处理与 WRE 处理可培养细菌数量在 90 d 时最少,与其他处理差异显著,放线菌数量分别减少了 75.5% 与 84.1% ($P < 0.05$)。

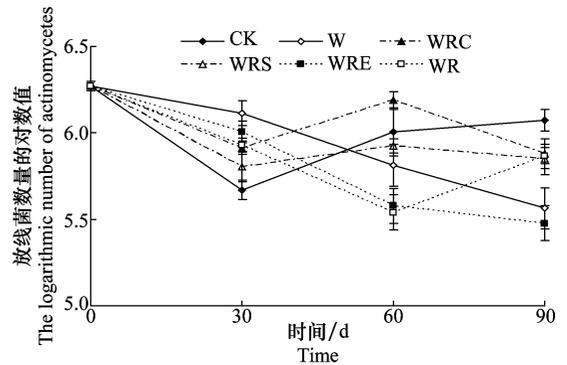


图 5 不同处理条件下放线菌数量的变化 (菌数量单位 $\log \text{cfu/g}$)

Fig. 5 The changes in the numbers of actinomycetes under different treatments

2.3 香蕉盆栽土壤微生物数量

如表 2、表 3 所示,在种植香蕉 90 d 后,CK 土壤中 FOC 数量最多,可培养细菌数量显著低于其他处理,真菌数量增加 13.4%,细菌和放线菌分别减少 81.4% 与 25.6%。

经过淹水处理后种植香蕉的土壤中 FOC 数量均显著低于不淹水种植香蕉的土壤。种植香蕉 90 d 时处理 WR 中 FOC 数量显著低于 CK 与 W,细菌与

放线菌数量显著高于CK与W。WR处理与CK和W相比FOC数量分别降低了66.8%和25.6%；真菌数量相比CK下降了21.4%，相比W升高了88.0%；细菌数量相比CK与W分别升高了223.1%与52.5%，放线菌数量相比CK与W分别升高了13.9%和24.4%。

三种添加不同有机物料的处理WRC、WRS和WRE中种植水稻并添加椰糠的处理WRC与只种植水稻的处理WR相比，FOC数量升高了113.5%，

放线菌数量下降了19.6%，真菌与细菌数量无显著性差异。种植水稻且添加物料稻秆的处理WRS与只种植水稻处理WR相比，WRS中FOC数量下降了44%；真菌数量下降了23.8%；细菌数量下降了34.4%，而放线菌数量无显著性差异。种植水稻且添加物料桉树皮的处理WRE与只种植水稻处理WR相比FOC数量升高了123.3%，真菌数量下降了21.2%，细菌与放线菌数量无显著性差异($P < 0.05$)。

表2 种植香蕉90 d后 FOC 与真菌数量¹⁾

Table 2 The number of FOC and fungi 90 days after planting of banana

处理 Treatment	尖孢镰刀菌数量/ $\log(\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1})$ Number of FOC		真菌数量/ $\log(\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1})$ Number of fungi	
	初始	香蕉 90 d	初始	香蕉 90 d
CK	(4.32±0.01)a	(4.31±0.03)a	(5.02±0.01)a	(5.08±0.02)a
W	(4.32±0.01)a	(3.96±0.01)c	(5.02±0.01)a	(4.69±0.06)d
WRC	(4.32±0.01)a	(4.15±0.09)b	(5.02±0.01)a	(4.93±0.03)b
WRS	(4.32±0.01)a	(3.57±0.07)e	(5.02±0.01)a	(4.85±0.04)c
WRE	(4.32±0.01)a	(4.17±0.02)b	(5.02±0.01)a	(5.05±0.01)a
WR	(4.32±0.01)a	(3.83±0.01)d	(5.02±0.01)a	(4.97±0.06)b

1)不同的小写字母表示同列不同数据间差异显著($P < 0.05$)。

Different lowercase letters in the same column indicate significant difference($P < 0.05$).

表3 种植香蕉90 d后细菌与放线菌数量¹⁾

Table 3 The number of bacteria and actinomycetes 90 days after planting of banana

处理 Treatment	细菌数量/ $\log(\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1})$ Number of bacteria		放线菌数量/ $\log(\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1})$ Number of actinomycetes	
	初始	香蕉 90 d	初始	香蕉 90 d
CK	(7.11±0.02)a	(6.42±0.10)c	(6.27±0.03)a	(6.15±0.04)abc
W	(7.11±0.02)a	(6.73±0.06)b	(6.27±0.03)a	(6.11±0.02)c
WRC	(7.11±0.02)a	(7.00±0.05)a	(6.27±0.03)a	(6.12±0.05)bc
WRS	(7.11±0.02)a	(6.74±0.09)b	(6.27±0.03)a	(6.19±0.02)ab
WRE	(7.11±0.02)a	(7.02±0.06)a	(6.27±0.03)a	(6.16±0.04)abc
WR	(7.11±0.02)a	(6.93±0.06)a	(6.27±0.03)a	(6.21±0.05)a

1)不同的小写字母表示同列不同数据间差异显著($P < 0.05$)。

Different lowercase letters in the same column indicate significant difference($P < 0.05$).

2.4 种植90 d后盆栽香蕉发病率

如图6所示,经过淹水处理后种植香蕉的处理W、WRC、WRS、WRE、WR 90 d时发病率均低于不淹水处理CK,其中除WRC处理外,淹水的处理WRS、WRE和WR发病率均显著低于CK,种植水稻的处理WRS和WR香蕉发病率显著低于只淹水处理W。其中种植水稻的处理WR发病率低于CK 81.7%,低于W 71.2%。而添加物料稻秆的处理WRS发病率低于处理WR 50%。结果表明,保持淹水并添加有机物料椰糠种植水稻并不能显著降低香蕉的发病率,但只淹水或保持淹水的同时种植水稻都可以显著降低香蕉枯萎病的发病率,而在保持淹水并种植水稻的同时添加有机物料稻秆则效果最佳。

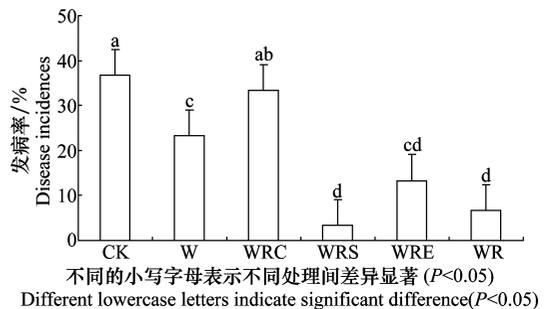


图6 不同处理盆栽90 d香蕉枯萎病发病率

Fig. 6 Banana *Fusarium* wilt disease incidences of different treatments after planting for 90 days

3 讨论

本研究在水旱轮作的基础上,添加不同碳氮比

有机物料,研究了其对高发香蕉枯萎病蕉园土壤微生物区系和下茬香蕉发病率的影响。采用土壤淹水法已经成为防控不同作物土传病害的有效途径,淹水能够降低土壤的 Eh 值,从而杀死大量的病原菌,本试验中未淹水处理的 Eh 值未随时间的增加呈规律性变化,而土壤淹水、淹水并种植水稻及添加物料淹水种植水稻处理的 Eh 值随时间的增加而降低,其中尤以添加稻秆的降低效果明显,推测是由于不同处理中土壤通气状况、土壤有机质含量、盐基状况不同,进而导致了不同处理 Eh 变化速率不同^[17]。淹水种植水稻和在其中添加稻秆处理中,FOC 数量显著低于未淹水处理及单独的淹水处理,但添加椰糠种植水稻处理 FOC 数量显著高于其他处理,这与黄新琦等^[18]的结论相似,在土壤淹水的同时辅助添加部分有机物料在短期内对病原菌的抑制效果与单独的土壤淹水效果不同。本研究同时调查了添加不同物料淹水种植水稻对其他微生物数量的影响,土壤中各微生物的数量整体上呈现淹水下降的趋势,这与赵先丽等^[19]和柴娟娟^[20]等的结果一致,淹水使土壤处于缺氧环境,抑制了土壤中好氧微生物的生存。

本试验在水旱轮作后排水种植香蕉,土壤中各微生物的数量整体上呈现逐渐上升的趋势;淹水种植水稻的处理在排水种植香蕉后,细菌与放线菌的数量均高于未淹水处理及单独的淹水处理,而 FOC 数量则低于未淹水处理及单独的淹水处理,真菌数量高于单独的淹水处理但低于未淹水处理,这与大量轮作报道相一致,轮作土壤中细菌的多样性比较丰富且大于连作土壤的细菌多样性^[21-22]。

在香蕉种植 90 d 时,淹水种植水稻处理后茬香蕉枯萎病发病率显著低于未淹水处理及单独的淹水处理,而添加不同的有机物料后进行水旱轮作,效果各不相同,添加椰糠和桉树皮淹水种植水稻后,下茬香蕉枯萎病发病率则高于淹水种植水稻处理,而添加稻秆淹水种植水稻处理的后茬香蕉发病率最低,这可能是由于不同 C/N 的有机物料腐解速率不同,对土壤的肥力贡献存在差异从而影响 FOC 数量所引起^[23]。目前,土壤淹水的方法已经应用于多种作物土传病害的防控,但是在作物发病严重,病原菌浓度较高的土壤中单纯的淹水措施仍然不能达到理想的防控效果^[24]。谭周进等^[25]研究发现秸秆还田对土壤微生物数量有影响,水稻生长过程中的根分泌

物和适当的秸秆还田可以刺激土壤微生物的活性,秸秆的腐解可以降低土壤的氧化还原电位。熊鸿焰等^[26]发现水作后土壤中真菌、放线菌的数量显著低于常规耕作。目前对土壤淹水与添加稻秆的水旱轮作研究较少,但该轮作模式对于香蕉枯萎病具有显著的防控效果,预计本研究建立的新型轮作模式,对于目前难以解决的香蕉枯萎病的防控具有重要的应用价值。同时,秸秆还田已经成为各国走可持续发展道路的重要战略指标之一,本研究结论对稻秆的资源化利用同样具有推动作用^[27]。

参考文献

- [1] 李玉萍, 方佳. 中国香蕉产业现状与发展对策研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8):443-447.
- [2] 张汉荣, 刘长全, 朱建荣. 我国香蕉科技研究的几点思考与建议[J]. 热带农业科学, 2006, 26(6):55-58.
- [3] 孙正祥, 纪春艳, 李云锋, 等. 香蕉枯萎病拮抗细菌的分离筛选与鉴定[J]. 中国生物防治, 2008, 24(2):143-147.
- [4] 魏岳荣, 黄秉智, 杨护, 等. 香蕉镰刀菌枯萎病研究进展[J]. 果树学报, 2005, 22(2):154-159.
- [5] 何欣, 黄启为, 杨兴明, 等. 香蕉枯萎病致病菌筛选及致病菌浓度对香蕉枯萎病的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(18):3809-3816.
- [6] 王振中. 香蕉枯萎病及其防治研究进展[J]. 植物检疫, 2006, 20(3):198-200.
- [7] Momma N, Momma M, Kobara Y. Biological soil disinfestation using ethanol; effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and soil microorganisms [J]. Journal of General Plant Pathology, 2010, 76(5):336-344.
- [8] Messiha N A, van Diepeningen A D, Wenneker M, et al. Biological soil disinfestation(BSD), a new control method for potato brown rot, caused by *Ralstonia solanacearum* race 3 biovar 2 [J]. European Journal of Plant Pathology, 2007, 117(4):403-415.
- [9] Bailey K L, Lazarovits G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments [J]. Soil and Tillage Research, 2003, 72(2):169-180.
- [10] Oka Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-A review [J]. Applied Soil Ecology, 2010, 44(2):101-115.
- [11] 黄卓, 覃子珍. 探析以信息化推动海南椰子产业发展[J]. 农业网络信息, 2012(11):34-36.
- [12] 吴有昌. 海南发展桉树人工林的回顾与思考[J]. 热带林业, 2001, 29(3):100-108.
- [13] 朱佳雷, 王体健, 邓君俊. 长三角地区秸秆焚烧污染物排放清单及其在重霾污染天气模拟中的应用[J]. 环境科学学报, 2012, 32(12):3045-3055.

物各种生理生化代谢过程来影响植物的生长发育,对保护酶系统的影响只是其中一部分,还可通过影响植物的光合呼吸作用,物质代谢等方面最终对植物的生长发育产生影响^[19]。因而还需要从各种代谢途径等方面对问荆的化感作用机制进行更加深入的研究。

参考文献

[1] Asgarpanah J, Roohi E. Phytochemistry and pharmacological properties of *Equisetum arvense* L. [J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2012, 6(21):3689 - 3691.

[2] 李熙灿, 杨小冬. 问荆化学成分及其药理作用的研究进展[J]. 辽宁中医学院学报, 2005, 7(6):633 - 635.

[3] Rydrych D J. Corn cockle(*Agrostemma githago* L.) competition in winter wheat(*Triticum aestivum* L.) [J]. Weed Science, 1981, 29:360 - 363.

[4] Sogaard B, Doll H. A positive allelopathic effect of corn cockle, *Agrostemma githago*, on wheat, *Triticum aestivum* [J]. Canadian Journal of Botany-revue Canadienne de Botanique, 1992, 70:1916 - 1918.

[5] Wakjira M, Berecha G, Bulti B. Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* extracts on seed germination and seedling growth of lettuce [J]. Tropical Science, 2005, 45(4):159 - 162.

[6] 杨超, 慕小倩. 伴生杂草播娘蒿对小麦的化感效应[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12):2389 - 2393.

[7] 张军林, 慕小倩, 李晓玲, 等. 伴生杂草对小麦化感作用的研究初报[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7):458 - 461.

[8] 何红花, 慕小倩, 董志刚. 杂草猪殃殃对小麦的化感作用[J]. 西北农业学报, 2007(5):250 - 255.

[9] Soheila P G, Sirous H, Ramin L. Seed to seed allelopathic effects between wheat and weeds [J]. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2012, 4(22):1660 - 1665.

[10] 张志良. 植物生理实验指导[M]. 第3版. 北京:高等教育出版社, 2003:127 - 128.

[11] Pejman N, Hassan K, Morteza M, et al. Allelopathic potential of sunflower on weed management in safflower and wheat [J]. Australian Journal of Crop Science, 2011, 5(11):1434 - 1440.

[12] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社, 1999:305 - 306.

[13] Meiners S J, Kong C H, Ladwig L M, et al. Developing an ecological context for allelopathy [J]. Plant Ecology, 2012, 213:1221 - 1227.

[14] Usuah P E, Udom G N, Edem I D. Allelopathic effects of some weeds on the germination of selected seeds of crops grown in Akwaibom State, Nigeria [J]. World Journal of Agricultural Research, 2013, 1(4):59 - 64.

[15] 孙宪芝, 郭先锋, 郑成淑, 等. 高温胁迫下外源钙对叶片光合机构与活性氧清除酶系统的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9):1983 - 1988.

[16] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(10):2782 - 2787.

[17] Vievk D, Vievk P, Radhey S. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea(*Pisum sativum* L.) [J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52(358):1101 - 1109.

[18] 张美云, 钱吉, 郑师章. 渗透胁迫下野生大豆游离脯氨酸和可溶性糖的变化[J]. 复旦学报(自然科学版), 2001, 40(5):558 - 561.

[19] Ladwig L M, Meiners N L, Pisula K A, et al. Conditional allelopathic potential of temperate lianas [J]. Plant Ecology, 2012, 213:1927 - 1935.

(上接 41 页)

[14] 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.

[15] Wang B 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 and Fertility of Soils, 2013, 49(4):435 - 446.

[16] Shen Z Z, Zhong S T, Wang Y G, 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.

[17] 刘志光. 土壤氧化还原电位的研究及其应用[J]. 土壤学进展, 1983(4):1 - 10.

[18] 黄新琦, 温腾, 孟磊, 等. 土壤快速强烈还原对于尖孢镰刀菌的抑制作用[J]. 生态学报, 2014, 34(16):4526 - 4534.

[19] 赵先丽, 周广胜, 周莉, 等. 盘锦芦苇湿地土壤微生物数量研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(6):1376 - 1379.

[20] 柴娟娟, 廖敏, 徐培智, 等. 我国主要低产水稻冷浸田土壤微

生物特征分析[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1):247 - 251, 257.

[21] 姜阳洋, 张海燕, 翟云龙, 等. 棉花连作与稻、棉轮作土壤细菌群落结构差异分析[J]. 塔里木大学学报, 2011, 23(4):1 - 6.

[22] 贾志红, 易建华, 苏以荣, 等. 云南玉溪烟区轮作与连作土壤细菌群落多样性比较研究[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(2):162 - 168.

[23] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3):96 - 99.

[24] 王光飞, 马艳, 常志州, 等. 淹水改良土壤性状及对辣椒疫病的防效研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2):209 - 214.

[25] 谭周进, 李倩, 李建国, 等. 稻草还田量对晚稻土微生物数量及活度的动态影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3):670 - 673.

[26] 熊鸿焰, 李廷轩, 余海英, 等. 水旱轮作条件下免耕土壤微生物特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1):145 - 150.

[27] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 稻田秸秆还田:土壤固碳与甲烷增排[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1):99 - 108.