

doi: 10.11838/sfsc.20160521

不同有机物料强还原处理 对土壤性状影响与防控辣椒疫病效果

王光飞¹, 马艳^{1*}, 安霞¹, 赵建锋², 罗德旭², 孙玉东²

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014; 2. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏 淮安 223001)

摘要: 在室内试验条件下研究了土壤添加菜粕或秸秆后进行淹水处理对辣椒疫病发生率的影响, 并从土壤理化和生物学性状及病原菌数量方面进行解析。结果表明: 淹水结束时, 菜粕处理和秸秆处理土壤 Eh 值比对照低 267 和 228 mV, 而有机酸、酚酸和铵态氮含量分别是对照的 2.96 和 4.39 倍、2.59 和 3.73 倍、3.21 和 0.38 倍。与对照相比, 两种强还原处理更显著地减少放线菌数量和极显著增加细菌数量, 且菜粕处理效果更为明显。秸秆处理真菌数量显著上升, 菜粕处理却显著下降。两种强还原处理均显著提高土壤多酚氧化酶活和纤维素酶活, 降低脲酶活, 但秸秆处理纤维素酶活显著高于菜粕处理, 而多酚氧化酶活和脲酶活显著低于菜粕处理。秸秆处理消除辣椒疫霉效果显著强于对照和菜粕处理, 栽植后对照和菜粕处理的辣椒疫霉数量增至 35.9 和 15.6 个辣椒疫霉/g 干土, 而秸秆处理的辣椒疫霉数量为 0。对照、菜粕处理和秸秆处理发病率分别为 16.7%、3.3% 和 0。两种强还原处理可能通过改变土壤 Eh 值、铵态氮含量、有机酸和酚酸含量进而减少辣椒疫霉数量, 并通过改变土壤微生物群落和土壤酶活抑制辣椒疫霉的生存和致病力。菜粕和秸秆强还原处理对土壤铵态氮、有机酸、酚酸、纤维素酶和真菌等方面的影响差异显著, 这可能是两者防效差异的主要原因。

关键词: 有机物料; 强还原处理; 土壤性状; 辣椒疫病**中图分类号:** S436.418; S278**文献标识码:** A**文章编号:** 1673-6257(2016)05-0124-06

辣椒疫病是一种世界性土传病害, 在世界各辣椒产区普遍发生, 该病由辣椒疫霉菌 (*Phytophthora capsici* Leonian) 引起^[1]。在辣椒主产区, 长期连作使得土壤微生物群落失调, 辣椒疫霉数量逐渐积累, 造成病害的不断加重和蔓延。目前, 辣椒疫病的防治措施主要有化学防治、生物防治、选育抗病品种辣椒和改良性农业措施等^[2], 但已有的这些措施仍然未取得理想的防控效果。

将土壤进行淹水处理防控土传病害有悠久的历史, 被普遍接受, 但存在效果不稳定、淹水时间长等问题^[3-4]。笔者以往研究显示, 常规淹水 20 d 对病情较轻的病土辣椒疫病防效很高, 但若人为增加辣椒疫霉数量, 则防效不稳定^[5]。由此推测, 在辣椒疫病发生严重区域, 必须在常规淹水的基础上进

行技术强化, 增加对病原菌的杀灭作用, 以提高对病害的防控效果。研究表明, 土壤添加有机物料淹水能创造土壤强还原环境, 可对土壤进行深度消毒, 进而有效防控香蕉和黄瓜枯萎等土传病害^[6-8]。本实验室研究也显示, 与常规淹水相比麦秸淹水能显著降低田间辣椒疫病发生率, 但其机理尚不明确^[9]。秸秆和菜粕是生产上都易大量获取但性状差异较大的两种农业有机废弃物, 秸秆是高碳含量有机物料, 腐解过程中产生的大量有机酸和酚酸等物质对病原菌生长具有抑制作用^[10]; 菜粕含氮量较高, 腐解过程产生的氨气等含氮化合物对病原菌也有较强的杀灭效果。因此, 在土传病害严重的土壤中, 开展这两种有机物料强还原处理对土壤多种性状影响以及对病原菌的杀灭效果研究, 有望为土传病害防控开辟新思路。鉴于此, 笔者研究添加秸秆或菜粕后淹水处理对土壤理化和生物性状、辣椒疫霉数量以及辣椒疫病防控效果的影响, 以期探索不同有机物料强还原处理防控辣椒疫病效果及机理, 为探求可稳定防控辣椒疫病且成本低的新途径提供理论和技术支持。

收稿日期: 2015-08-03; **最后修订日期:** 2015-11-12**基金项目:** 农业部公益性行业专项 (201303023); 江苏省苏北科技发展规划 (BN2015087)。**作者简介:** 王光飞 (1988-), 男, 江西婺源人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为土壤微生物。E-mail: wy_wgf@163.com。**通讯作者:** 马艳, E-mail: myjaas@sina.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

盆栽试验土壤取自淮安高沟镇辣椒生产大棚, 该大棚连续种植辣椒 8 年以上, 辣椒疫病发生较为严重。秸秆为稻秸, 取自江苏省农科院水稻田。菜粕取自江苏淮安。土壤、稻秸和菜粕基本理化性质见表 1。供试病原菌为辣椒疫霉病菌, 由本实验室分离所得。供试辣椒品种为‘洛椒 5 号’。

表 1 试验物料基本理化性质

物料	pH 值	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (P g/kg)	全钾 (K g/kg)
土壤	7.51	206.3	10.3	3.1	2.0	12.6
菜粕	5.13	3 942.7	759.3	5.8	15.6	13.4
稻秸	—	—	741.2	2.7	2.6	19.1

1.2 试验方法

制备辣椒疫霉游动孢子液^[11], 将其均匀加入试验土壤中, 使得辣椒疫霉游动孢子浓度为 200 个/g 干土。试验设 3 个处理, 每处理 3 个重复: (1) 对照处理 (CK), 即土壤进行常规淹水处理; (2) 菜粕处理 (RM), 即土壤施入 0.6% (W/W) 的菜粕后, 进行淹水处理; (3) 秸秆处理 (RS), 即土壤施入 2% (W/W) 的秸秆后, 进行淹水处理, 淹水时间为 2013 年 8 月 20 日 ~ 9 月 9 日。淹水处理在塑料桶 (底径 \times 口径 \times 高 = 25 cm \times 34 cm \times 30 cm) 中进行, 每处理 2 桶, 每桶 14 kg 鲜土。淹水过程中, 始终保持土壤表面 10 cm 的水深。将塑料桶置于室温为 28 $^{\circ}\text{C}$ 左右的室内环境下。20 d 淹水结束后倒掉表面水, 将土壤摊开置于阴暗通风处晾干至含水量为 20% 左右 (晾干时间为 5 d), 再将每桶土壤分装到 5 个长方形塑料盆中 (长 \times 宽 \times 高 = 25 cm \times 12 cm \times 12 cm), 每盆种植 3 棵 8 叶期的辣椒苗, 栽植期为 2013 年 9 月 14 日 ~ 10 月 29 日。

淹水期第 0、7、13、20 d 和栽植期第 0、45 d 采集各处理土样, 分析相应理化指标和生物学指标。栽植辣椒后 45 d 统计辣椒发病率。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤理化指标

测定 pH 值、氧化还原电位 (Eh)、电导率 (EC)、铵态氮、总有机酸和总酚酸含量。pH 值: 采用土水比 = 1:5 浸提, 用 pH 计测定; EC: 采用土水比 = 1:5 浸提, 用电导率仪测定; Eh: 采用氧化还原电位仪原位测定; 铵态氮采用靛酚蓝比色法测定; 总有机酸采用 Montgomery 比色法^[12]测定; 总酚酸采用磷钼酸 - 磷钨酸盐比色法^[13]测定。

1.3.2 土壤生物学指标

测定土壤多酚氧化酶、纤维素酶和脲酶活性, 真菌、放线菌和细菌数量以及土壤辣椒疫霉菌数量。

真菌、放线菌和细菌数量测定采用试管梯度稀释涂平板法, 采用的培养基分别是马丁氏培养基、高氏一号培养基和牛肉膏蛋白胨培养基。脲酶采用靛酚比色法测定, 酶活以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ mg/g (37 $^{\circ}\text{C}$, 24 h) 表示^[14]; 多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法测定, 酶活以紫色没食子素 mg/g (30 $^{\circ}\text{C}$, 2 h) 表示^[15]; 土壤纤维素酶采用 3, 5 - 二硝基水杨酸显色法测定, 酶活以葡萄糖 mg/10 g (37 $^{\circ}\text{C}$, 72 h) 表示^[15]。辣椒疫霉菌计数采用 RT - PCR 技术^[5]。

1.4 数据分析

采用 Office 2010 办公软件和 SPSS 17.0 进行数据统计及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性状

2.1.1 土壤 pH 值、Eh 和 EC

图 1 为各处理淹水期间的 pH 值、Eh 和 EC 变化曲线。各处理土壤 pH 值呈不同程度上升趋势,

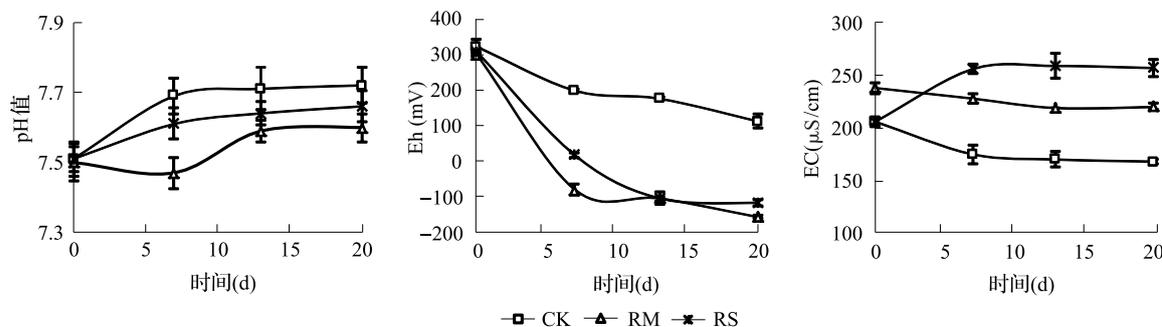


图 1 不同有机物料强还原处理对土壤 pH 值、Eh 和 EC 的影响

对照处理、菜粕处理和秸秆处理的上升值分别为 0.21、0.10 和 0.15。Eh 变化较为显著，淹水后各组 Eh 迅速下降。淹水结束时，菜粕处理和秸秆处理 Eh 值相差较小，分别为 -155 和 -116 mV，而对照为 112 mV。淹水前期，对照和菜粕处理 EC 值逐渐下降，而秸秆处理 EC 值有较大程度的上升。随后，各处理 EC 值变化较小。

土壤有机物含量越高，耗氧速率越快，Eh 值则越低^[16-17]，因此两种强还原处理 Eh 值显著低于对照。而菜粕处理 Eh 值低于秸秆处理，可能是因为菜粕更易降解，耗氧速率较快。

2.1.2 土壤铵态氮、总有机酸和总酚酸

如图 2，菜粕处理铵态氮起始含量显著高于对照和秸秆处理，为 51.7 mg/kg，随后逐渐上

升至 70.5 mg/kg。而秸秆处理呈下降趋势直至平稳。土壤总有机酸与总酚酸含量变化趋势总体一致。菜粕处理有机酸和酚酸起始含量较高，且呈逐步上升趋势，但其上升速率明显低于秸秆处理。淹水结束时，秸秆处理土壤铵态氮、有机酸和酚酸含量分别是菜粕处理的 0.12、1.49 和 1.44 倍。

菜粕本身含有较高含量的铵态氮、有机酸和酚酸，所以起始值高于秸秆处理。随着菜粕的逐渐分解，土壤中铵态氮、有机酸和酚酸含量持续上升。但秸秆分解产生有机酸和酚酸速率快于菜粕，所以淹水结束时，秸秆处理中有机酸和酚酸含量最高。Shan 等^[18]的研究也表明连续淹水下，施用稻草能显著提高土壤有机酸含量。

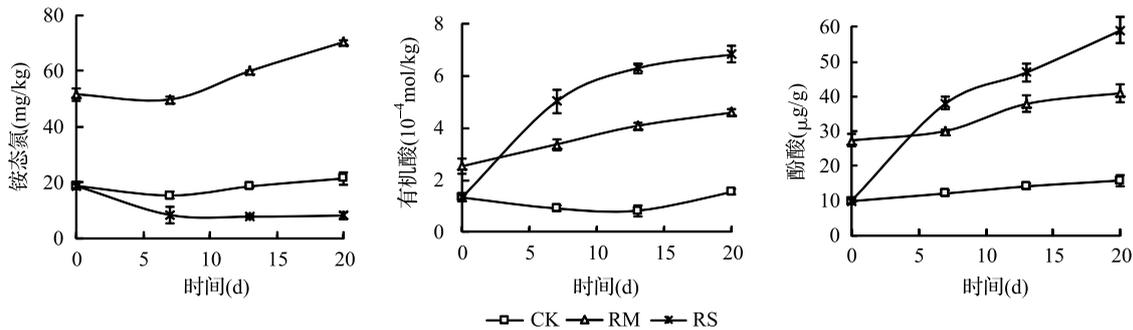


图 2 不同有机物料强还原处理对土壤铵态氮、有机酸和酚酸含量的影响

2.2 土壤生物学性状

2.2.1 土壤酶活性

表 2 为晾干结束后即栽植前各处理的土壤纤维素酶活、多酚氧化酶活和脲酶活。与对照相比，菜粕处理和秸秆处理都能提高土壤纤维素酶活和多酚氧化酶活，降低土壤脲酶活。但菜粕处理和秸秆处理之间又存在显著差异，菜粕处理多酚氧化酶活和脲酶活显著大于秸秆处理，而纤维素酶活显著小于秸秆处理。

土壤酶活是土壤生物学性状的一个重要指标，能反应出土壤微生物状况。纤维素可促进土壤纤维素酶微生物的生长，并诱导产生较多的纤维素酶^[19]，所以秸秆处理纤维素酶活高。何川等^[20]研究表明，健康土壤具有较高的土壤纤维素酶活，所以秸秆强还原和菜粕强还原可能提高了土壤健康度。另外，两种强还原处理的多酚氧化酶活也显著高于对照，这可能因为土壤高含量酚酸的诱导^[21]和有机物料腐殖化的需要^[22]。

表 2 晾干后各处理土壤纤维素酶活、多酚氧化酶活和脲酶活

处理	纤维素酶 [mg/(10 g · 72 h)]	多酚氧化酶 [mg/(g · 2 h)]	脲酶 [mg/(g · 24 h)]
CK	0.158 ± 0.018a	1.27 ± 0.10a	1.12 ± 0.06c
RM	0.201 ± 0.009b	1.75 ± 0.09b	0.90 ± 0.03b
RS	0.306 ± 0.021c	1.40 ± 0.10a	0.58 ± 0.09a

注：不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

2.2.2 土壤可培养微生物数量

图 3 显示，淹水期间，对照和菜粕处理中真菌和放线菌变化一致，都呈逐渐下降趋势，但菜粕处理降幅较大。秸秆处理放线菌也呈下降趋势，但真菌却逐渐上升。淹水结束时，菜粕处理和秸秆处理的真菌数量分别是对照的 0.39、4.72 倍，放线菌数量分别是对照的 0.34、0.84 倍。菜粕处理和秸秆处理都能显著增加细菌数量，但菜粕处理效果更显著。淹水结束时，对照细菌数量为 4.6×10^7 (cfu)/g，而菜粕处理和秸秆处理细菌数量分别为

1.2×10^9 和 4.0×10^8 (cfu)/g。5 d 晾干期间两种强还原处理真菌和放线菌数量趋向于 CK 组，但细菌数量仍维持较高值。

真菌和放线菌对厌氧条件较为敏感，淹水条件下有机物含量越高，Eh 值越低，真菌和放线菌数量降幅越大。高含量的有机酸和酚酸可能也是真菌和放线菌数量减少的原因之一。但秸秆处理真菌数量

在淹水期反而增加，可能是因为秸秆的分解物促进了嫌气性纤维素降解类真菌的生长，这与秸秆处理土壤纤维素酶活最高相符。细菌的种类和生活习性比真菌和放线菌复杂，且细菌数量与土壤有机物含量密切相关^[23]，所以两种强还原处理的细菌数量急剧增加。另外，菜粕处理的细菌数量显著高于秸秆处理，这可能是因为菜粕腐解物质更利于细菌生长。

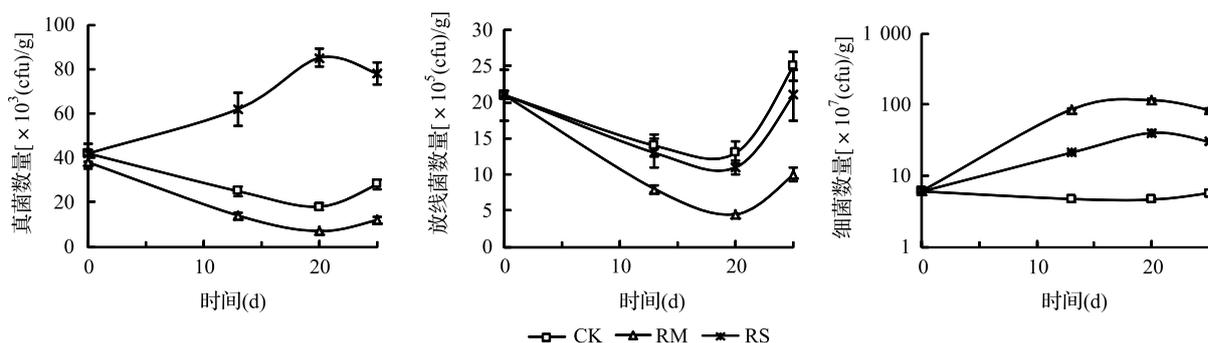


图3 不同有机物料强还原处理对土壤真菌、放线菌和细菌数量的影响

2.2.3 土壤辣椒疫霉数量

RT-PCR 测定显示 (图4)，菜粕处理土壤起始辣椒疫霉数量为 182.4 个辣椒疫霉/g 干土，对照和秸秆处理均为 218.1 个辣椒疫霉/g 干土。栽植前对照、菜粕处理和秸秆处理的辣椒疫霉数量分别是 6.8、5.7 和 2.5 个辣椒疫霉/g 干土。但在辣椒种植期间，对照和菜粕处理辣椒疫霉数量有所上升，栽植第 45 d 时辣椒疫霉数量分别为 35.9 和 15.6 个辣椒疫霉/g 干土，但秸秆处理没有检测到辣椒疫霉。

菜粕处理起始值较其它处理小，可能是因为菜粕本身存在可消除辣椒疫霉的物质，例如异硫氰酸酯类物质^[24]。菜粕处理消除辣椒疫霉数量效果略高于常规淹水，而秸秆处理效果显著高于常规淹水和菜粕处理。两种强还原处理减少辣椒疫霉数量可能与其低 Eh 值，高浓度铵态氮、有机酸和酚酸等不利辣椒疫霉存活物质有关。另外，也可能通过增加土壤微生物丰富度进而抑制辣椒疫霉生存。强还原处理均有较高的土壤纤维素酶活，纤维素酶能降解辣椒疫霉细胞壁的主要成分纤维素，所以也可能在一定程度上抑制了辣椒疫霉数量的增加。秸秆处理辣椒疫霉消除效果显著强于菜粕处理，可能是因为有机酸和酚酸病原菌杀灭能力强于铵态氮，也可能与秸秆处理土壤纤维素酶活和真菌数量显著高于菜粕处理有密切关联。栽植后，对照和菜粕处理辣椒疫霉数量都有一定的增加，而秸秆处理辣椒疫霉

数量反而仍在减少，这可能是因为其有机酸和酚酸等不利辣椒疫霉存活物质在栽植期仍有较高值，或者因为秸秆厌氧分解产物不同于菜粕，能强烈抑制辣椒疫霉的生存与繁殖。

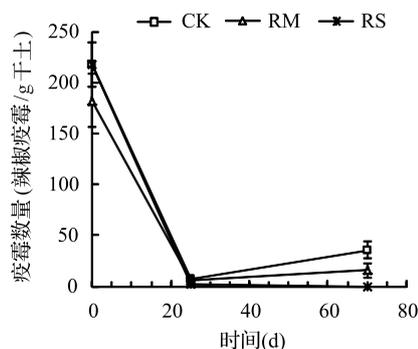


图4 不同有机物料强还原处理对土壤辣椒疫霉数量的影响

2.3 辣椒疫病发病率

栽植 45 d 后各处理发病率见图 5，对照发病率最高，为 16.7%，而菜粕处理和秸秆处理发病率分别为 3.3% 和 0。发病率数据说明了常规淹水对辣椒疫病的防控效果不稳定，而两种强还原处理均能显著提高防效，尤其是秸秆强还原处理。

2.4 土壤辣椒疫霉数量和辣椒疫病发生率与土壤环境因子的相关关系

相关性分析结果显示 (表 3)，辣椒疫霉数量与土壤 Eh 值呈正相关，与有机酸和酚酸含量呈显

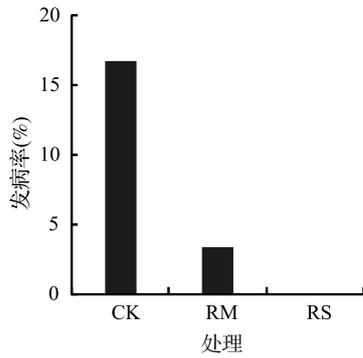


图5 不同有机物料强还原处理对辣椒疫病发病率的影响

著负相关。据此推测,两种强还原处理土壤辣椒疫霉数量的显著降低都与其显著降低土壤 Eh 值,提高有机酸和酚酸含量相关,这与上文分析结果一致。铵态氮含量与辣椒疫霉数量关系较小,这是因为两种强还原处理对土壤铵态氮的影响截然相反,但铵态氮对辣椒疫霉数量的影响不可忽视^[25]。因此,两种强还原处理消除辣椒疫霉机理存在相同点和不同点。

表3 土壤辣椒疫霉数量与土壤理化因子 Pearson 相关系数

	pH 值	Eh	EC	铵态氮含量	有机酸含量	酚酸含量
辣椒疫霉数	0.052	0.597	-0.761*	0.402	-0.773*	-0.771*

注:*表示显著相关,下同。

发病率与栽植时土壤生物因子的 Pearson 相关系数(表4)说明,辣椒发病率与辣椒疫霉数量和脲酶活呈显著正相关,而与纤维素酶活呈显著负相关,与多酚氧化酶活、真菌和细菌数量呈负相关性。由此可知,两种强还原处理防控辣椒疫病效果均与其对辣椒疫霉数量影响最为相关,也与其对土壤微生物数量和土壤酶活的影响密切相关。虽然两种强还原处理对土壤微生物数量和酶活性的影响较为一致,但同时也存在一定的差异,这可能是菜粕强还原和秸秆强还原防效差异性的主要原因。

表4 植株发病率与土壤生物因子 Pearson 相关系数

	辣椒疫霉数量	真菌数量	放线菌数量	细菌数量	纤维素酶活	多酚氧化酶活	脲酶活
发病率	0.685*	-0.459	0.534	-0.597	-0.731*	-0.516	0.792*

3 结论与讨论

菜粕强还原处理和秸秆强还原处理均能消除土壤辣椒疫霉和提高病害防效,但秸秆处理效果好于

菜粕处理,这与两者对土壤理化和生物学性状的影响紧密相关。推测低 Eh 值、高含量有机酸和酚酸等不利辣椒疫霉存活物质是两种处理辣椒疫霉数量减少的共同原因,但铵态氮含量增加可能是菜粕处理的特有原因。而秸秆处理效果更显著可能是由于其有机酸和酚酸等物质含量显著高于菜粕处理。两种强还原处理的病害防控效果可能不仅在于辣椒疫霉数量的减少,微生物多样性的提高和土壤酶活性改变也可能抑制了辣椒疫霉的生存和致病力。秸秆处理防效强于菜粕处理,这与秸秆处理病原菌杀灭效果强有关,也有可能因为秸秆处理纤维素酶活和真菌数量较高抑制了辣椒疫霉活性。因此,不同种类有机物料强还原处理防控土传病害的机理可能存在一定或者较大的差异。

本研究说明,土壤添加有机物料后进行淹水处理可以显著提高辣椒疫病的防控效果,同时也揭示了不同有机物料强还原处理防控辣椒疫病效果的差异性。菜粕强还原处理的辣椒疫霉数量在栽植期有一定的上升,因此用菜粕强还原防控辣椒疫病可能存在一定的风险性。秸秆强还原处理土壤不仅能100%防控辣椒疫病,而且 RT-PCR 测定显示秸秆强还原处理中没有检测到辣椒疫霉。据此推测秸秆强还原处理能高效杀灭土壤中辣椒疫霉,达到高效防控辣椒疫病的效果。我国农作物秸秆产量巨大,秸秆强还原处理土壤的措施不仅能有效防控辣椒疫病等土传病害,同时也促进了秸秆的资源化利用。本试验为了凸显菜粕和秸秆强还原条件下对土壤性状的影响和辣椒疫病的防控效果,特意加大了菜粕和秸秆的用量,至于田间状态下有机物料的实际操作量和处理效果,还需继续开展深入研究,以获得真正适用于农业实际生产的处理技术。

参考文献:

- [1] Kamoun S, Furzer O, Jones J D, et al. The top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2015, 16 (4): 413-434.
- [2] Granke L L, Quesadaocampo L, Lamour K, et al. Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States [J]. *Plant Disease*, 2012, 96 (11): 1588-1600.
- [3] Newhall A G. Disinfestation of soil by heat, flooding and fumigation [J]. *Bot. Rev.*, 1955, 21: 189-250.
- [4] Matheron M E, Porchas M. Evaluation of soil solarization and flooding as management tools for Fusarium wilt of lettuce [J]. *Plant Disease*, 2010, 94 (11): 1323-1328.
- [5] 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.

- [6] Shimura A. Principle and effect of soil sterilization method by reducing redox potential of soil [C]. Sapporo, Japan: PSJ Soilborne Disease Workshop Report, 2004. 2-12.
- [7] 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.
- [8] 朱同彬, 孟天竹, 张金波, 等. 强还原方法对退化设施蔬菜地土壤的修复 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (9): 2619-2624.
- [9] 顾志光, 马艳, 安霞, 等. 麦秸淹水处理对连作土壤性状和辣椒疫病田间防控效果的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2014, 33 (9): 1762-1769.
- [10] 张琴, 李艳宾, 滕立平, 等. 不同腐解方式下棉秆腐解液对棉花枯、黄萎病菌的化感效应 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31 (9): 1696-1701.
- [11] 郑小波. 疫霉菌及其研究技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 86.
- [12] 王卫东, 谢小立, 上官行健. 分光光度法测定水稻土中有机酸的研究 [J]. 热带亚热带土壤科学, 1993, 2 (3): 162-170.
- [13] 吴萼, 徐宁, 温美娟. 磷钼酸-磷钨酸盐比色法测定土壤中总酚酸含量 [J]. 环境化学, 2000, 19 (1): 67-72.
- [14] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [16] 金鑫, 蔡林运, 李刚华, 等. 小麦秸秆全量还田对水稻生长及稻田氧化还原物质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (5): 80-85.
- [17] 朱同彬, 孙盼盼, 党琦, 等. 淹水添加有机物料改良退化设施蔬菜地土壤 [J]. 土壤学报, 2014, 51 (2): 335-341.
- [18] Shan Y, Cai Z, Han Y, et al. Organic acid accumulation under flooded soil conditions in relation to the incorporation of wheat and rice straws with different C: N ratios [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2008, 54 (1): 46-56.
- [19] Henriksen T M, Breland T A. Carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities as affected by contact between crop residues and soil [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35: 41-48.
- [20] 何川, 刘国顺, 李祖良, 等. 连作对植烟土壤有机碳和酶活性的影响及其与土传病害的关系 [J]. 河南农业大学学报, 2011, 45 (6): 701-705.
- [21] 王延平, 王华田, 许坛, 等. 酚酸对杨树人工林土壤养分有效性及酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (3): 667-674.
- [22] 郭培俊, 艾应伟, 陈朝琼, 等. 植生土类型对岩石边坡人工土壤理化性质和微生物活性的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (1): 203-208.
- [23] Schnürer J, Clarholm M, Rosswall T. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17 (5): 611-618.
- [24] Hu P, Wang A S, Engledow A S. Inhibition of the germination and growth of *Phymatotrichopsis omnivora* (cotton root rot) by oilseed meals and isothiocyanates [J]. Applied Soil Ecology, 2011, 49: 68-75.
- [25] 曹云, 常志州, 马艳, 等. 猪粪沼液防治辣椒疫病机理研究: 沼液中铵与腐殖酸的作用 [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21 (9): 1119-1126.

Effect of different intensively reductive treatments by organic materials on soil character and disease control of phytophthora blight of chilli pepper

WANG Guang-fei¹, MA Yan^{1*}, AN Xia¹, ZHAO Jian-feng², LUO De-xu², SUN Yu-dong² [1. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Jiangsu), Ministry of Agriculture, Nanjing Jiangsu 210014; 2. Huaiyin Institute of Agricultural Science in Xuhuai Area of Jiangsu Province, Huai'an Jiangsu 223001]

Abstract: Effects of different intensively reductive treatments by using rapeseed meal and straw on soil bio-physicochemical properties and the disease incidence of pepper blight were studied with soil treatment and pot experiment. Compared with CK (flooding), soil Eh of RM (flooding with rapeseed meal) and RS (flooding with rice straw) treatments were significantly decreased in flooding stage. Organic acid and phenolic acid content were significantly increased. And ammonium nitrogen content changed significantly. Both intensively reductive treatments (RM and RS) reduced the number of soil actinomycetes and significantly increased the number of soil bacteria, especially with the RM treatment. The number of fungi was significantly raised in RS treatment, while significantly reduced in RM treatment. RM and RS treatments increased soil polyphenoloxidase and cellulase activities, but decreased soil urease activity. The soil cellulase activity of RS treatments was higher than that of RM treatment, but the soil polyphenoloxidase and urease activities were opposite. Compared with CK, RM and RS treatments decreased the amount of *P. capsici* in soil, especially with RS treatment. The number of *P. capsici* in CK, RM and RS treatments at 45 days after planting were respectively 35.9, 15.6 and 0 *P. capsici*/g dry soil. And the incidence rates were respectively 16.7%, 3.3% and 0. RM and RS treatments could reduce the number of *P. capsici* by changing soil Eh, ammonium nitrogen content, organic acids content and phenolic acid content, and inhibit the survival and virulence of *P. capsici* by changing the soil microbial communities and soil enzyme activities. But there were obvious difference between RM and RS treatments in ammonium nitrogen content, organic acids content, phenolic acid content, cellulase activity and the number of fungi. And it may be the main reason for difference between RM and RS treatments in control efficiency.

Key words: organic material; intensively reductive treatment; soil properties; phytophthora blight of chilli pepper