

陈淑童, 刘芮, 陈魏锋, 等. 堆肥对烟草黑胫病的防效及作用机理研究[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(15): 153-159.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.15.019

堆肥对烟草黑胫病的防效及作用机理研究

陈淑童¹, 刘芮², 陈魏锋³, 杨自东³, 李振¹, 张鑫¹, 陈芊如¹, 尤祥伟¹, 李义强¹, 沈广材²

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101; 2. 云南省烟草公司保山市公司, 云南保山 678000;

3. 云南省烟草公司大理州公司洱源县分公司三营烟站, 云南洱源 671200)

摘要:为明确堆肥对烟草黑胫病的生防效果,进而揭示其抑菌防病机理,以蘑菇渣、浒苔粉、玉米秸秆、凹凸棒和生物炭按照不同组合制备的4种堆肥为研究对象,采用菌丝生长速率法分析堆肥浸提液对烟草黑胫病菌的抑制效果,并进一步通过扫描电镜观察菌体超微结构;采用盆栽试验,考察4种堆肥对烟草黑胫病的防治效果,并从烟草植物防御酶活性、土壤理化性质和土壤酶活性的角度揭示防治机理。结果表明,4种堆肥浸提液原液对病原菌菌丝生长均有明显的抑制作用,最高抑制率达85.54%,且电镜结果显示菌丝体受到严重破坏,而高温灭菌液几乎无抑制效果。盆栽试验结果表明,堆肥处理显著促进了烟株的生长发育,最大叶长、最大叶宽和最大叶面积显著增加;降低了烟草黑胫病的发生率和病情指数,其中堆肥A(蘑菇渣+浒苔粉+秸秆+凹凸棒)和AB(蘑菇渣+浒苔粉+秸秆+凹凸棒+生物炭)防效可达100%;改善了土壤理化性质和土壤酶活性,有效提高土壤pH值、速效磷含量、速效钾含量,提升土壤脲酶和酸性磷酸酶活性。综上所述,堆肥处理可通过抑制病原菌生长、改善土壤理化性质和调节土壤酶活性,有效控制烟草黑胫病的发生。

关键词:堆肥;烟草黑胫病;盆栽试验;生物防治;作用机理

中图分类号:S435.72 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)15-0153-07

烟草黑胫病是由土传卵菌寄生疫霉烟草致病变种(*Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*)引起的维管束病害^[1]。该病在众多烟区均有发生,不仅造成了严重的损失且防治难度较大。过去多年中,选

育抗病品种、轮作和施用化学杀菌剂等已被广泛证明其防治的有效性,然而,随着现代化农业要求升级,这些措施的局限性逐渐显现,亟待寻求一种更加环保、高效的防治策略^[2]。

土壤有机改良可以在目前集约化的耕作制度下,通过有效影响土壤微生物群落结构来提高土壤肥力,进而实现防治病害和改良土壤的双重功能^[3]。作为土壤改良的主要策略之一,堆肥处理不仅可以绿色无害化处理有机废弃物,还可以防控土传病害,对于经济可持续健康发展具有重要意义^[4-5]。已有大量研究表明,堆肥及其浸提液可以

收稿日期:2023-09-01

基金项目:中国烟草总公司云南省公司重大项目(编号:2023530000241017)。

作者简介:陈淑童(2001—),女,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向为植物病害检疫与防治研究。E-mail:stchen0531@163.com。

通信作者:沈广材,男,硕士,助理农艺师,主要从事烟叶生产研究。E-mail:sgczdy910@163.com。

[29] Wang L T, Lee F L, Tai C J, et al. Reclassification of *Bacillus axarquiensis* Ruiz - Garcia et al. 2005 and *Bacillus malacitensis* Ruiz - Garcia et al. 2005 as later heterotypic synonyms of *Bacillus mojavensis* Roberts et Al. 1994 [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2007, 57 (Pt 7): 1663 - 1667.

[30] Ki J S, Zhang W, Qian P Y. Discovery of marine *Bacillus* species by 16S rRNA and rpoB comparisons and their usefulness for species identification [J]. Journal of Microbiological Methods, 2009, 77 (1): 48 - 57.

[31] Cavaglieri L, Orlando J, Etcheverry M. *In vitro* influence of bacterial mixtures on *Fusarium verticillioides* growth and fumonisin B1

production; effect of seeds treatment on maize root colonization [J]. Letters in Applied Microbiology, 2005, 41 (5): 390 - 396.

[32] Palazzini J M, Dunlap C A, Bowman M J, et al. *Bacillus velezensis* RC 218 as a biocontrol agent to reduce *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation: genome sequencing and secondary metabolite cluster profiles [J]. Microbiological Research, 2016, 192: 30 - 36.

[33] 孙平平, 崔建潮, 贾晓辉, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 L-1 对梨灰霉和青霉病菌的抑制作用评价及全基因组分析 [J]. 微生物学报, 2018, 58(9): 1637 - 1646.

[34] 杨胜清. 贝莱斯芽孢杆菌 S6 的鉴定、发酵条件优化及其生防作用研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.

抑制多种病原真菌和细菌,尤其对土传病害具有显著的防治效果^[6-9]。未来农业发展需要综合的策略来帮助防御植物病害,因而堆肥及其浸提液的抗菌防病研究已发展为废弃物资源化利用以及绿色生态植保等领域的研究热点。

鉴于此,本研究以蘑菇渣、浒苔粉、玉米秸秆、凹凸棒和生物炭按照不同组合制备的 4 种堆肥为研究对象,通过体内和体外 2 种试验方法揭示其对烟草黑胫病的生防效果,以期为堆肥在植物土传病害防治方面的研究和应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试堆肥经好氧堆制而成,由中国农业科学院烟草研究所提供。堆肥各处理及成分包括:CK0:蘑菇渣 + 浒苔粉 + 玉米秸秆,A:蘑菇渣 + 浒苔粉 + 玉

米秸秆 + 凹凸棒,B:蘑菇渣 + 浒苔粉 + 玉米秸秆 + 生物炭,AB:蘑菇渣 + 浒苔粉 + 玉米秸秆 + 凹凸棒 + 生物炭。4 种堆肥的主要理化性质见表 1。以不添加堆肥处理为对照(CK)。供试土壤为取自中国农业科学院烟草研究所即墨试验基地的大田土与育苗基质(质量比为 7:3)混合后的土壤,基本理化性质为^[10]:pH 值 5.26,速效磷含量 1.95 mg/kg,速效钾含量 308.44 mg/kg,铵态氮含量 239.63 mg/kg,硝态氮含量 114.03 mg/kg,有机质含量 107.79 g/kg。供试烟草品种为小黄金 1025,供试菌株为烟草疫霉(*P. nicotianae*),均由中国农业科学院烟草研究所提供。供试培养基为燕麦琼脂(OA)培养基,1 000 mL 反渗透(RO)水加 30 g 燕麦煮沸 20 ~ 30 min,双层纱布过滤得滤液,定容至 1 000 mL,加入 18 g 琼脂粉,搅拌均匀后 121 °C 高温灭菌 20 min,转移至 65 °C 烘箱备用。

表 1 堆肥基本性质

处理	pH 值	速效钾含量 (mg/kg)	磷酸盐含量 (mg/kg)	铵态氮含量 (mg/kg)	全碳含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)
CK0	6.75	37.88	554.46	816.33	349.90	26.35
A	6.60	39.45	557.63	335.54	301.06	23.48
B	6.85	37.25	538.32	456.70	391.53	24.41
AB	6.95	30.06	200.99	829.98	345.49	22.27

1.2 试验设计

1.2.1 堆肥浸提液体外抑菌试验 取 4 g 堆肥按 1:5(质量体积比)加入 20 mL RO 水置于摇床于 28 °C 150 r/min 振荡 12 h 后用 200 目筛绢过滤,得到的滤液即为原液,放置于 4 °C 冰箱备用。为同时考虑堆肥中微生物的作用,试验设计了灭菌处理液:将上述得到的原液取部分置于 50 mL 锥形瓶中,121 °C 灭菌 20 min 制得灭菌处理液。

抑菌试验采用菌丝生长速率法^[11]。取预先制备好并在 65 °C 烘箱中保存的 OA 培养基 10 mL,精确吸取 0.1 mL 堆肥浸提液加到培养基中,轻轻摇晃混匀后倒入培养皿中。对照采用等量灭菌水代替堆肥浸提液。待培养基凝固后,将烟草黑胫病菌菌饼样品接入 OA 板中心,放入 28 °C 培养箱中培养,待对照组菌丝长至 4/5 平板时,用十字交叉法测量菌落直径,根据以下公式计算抑制率。每个处理设置 3 个重复。

$$\text{菌落直径} = \text{测量菌落直径} - 0.5 \text{ cm};$$

$$\text{菌丝生长相对抑制率} = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径}} \times 100\%。$$

1.2.2 盆栽试验 将堆肥按照 2% 比例(质量比)与盆栽土混合后,再与菌谷混匀(3 g 菌谷,160 g 土壤)作为病土。选取生长一致的烟苗伤根处理后移栽至花盆中,每盆 1 株,置于人工气候箱中培养。每个处理 12 株烟苗,重复 3 次。

1.3 调查内容与方 法

1.3.1 扫描电镜观察菌丝形态 为了直观地了解体外抑菌试验中烟草黑胫病菌的受抑制方式,通过扫描电镜做进一步观察。分别在对照组和原液组的菌落边缘切取若干个体积为 0.5 cm³ 的样品,置于 2.5% 戊二醛溶液固定后,将样品送至青岛大学医学部,对样品进行镀膜处理,用于扫描电镜观察并获取照片。

1.3.2 发病情况调查 移栽后,每隔 1 d 统计发病率和病情指数,并计算防效。烟草黑胫病分级标准见表 2。

发病率、病情指数和相对防效计算公式如下:

$$\text{发病率} = \frac{\text{发病株数}}{\text{调查总株数}} \times 100\%;$$

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病株数} \times \text{该病级值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级值}} \times 100;$$

表 2 烟草黑胫病分级标准

病级	分级标准
0	全株无病
1	茎部病斑不超过茎围的 1/3, 或 1/3 以下叶片轻度凋萎
3	茎部病斑环绕茎围的 1/3 ~ 1/2, 或 1/3 ~ 1/2 叶片凋萎
5	茎部病斑超过茎围的 1/2, 但未全部围绕茎围, 或 1/2 ~ 2/3 叶片凋萎
7	茎部病斑全部围绕茎围, 或 2/3 以上叶片凋萎
9	病株全部叶片凋萎或枯死

防效 = $\frac{\text{对照组病情指数} - \text{处理组病情指数}}{\text{对照组病情指数}} \times 100\%$ 。

1.3.3 农艺性状调查 每个处理选取 3 株代表性烟株, 根据 YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》标准测定株高、叶片数、最大叶长、最大叶宽及最大叶面积。

1.3.4 植物防御酶活性及丙二醛含量测定 取相同部位的叶片, 每个处理取 3 张, 液氮快速冷冻后采用全自动样品快速研磨仪将叶片磨成粉末, 称取 0.1 g 左右样品置于 2 mL 离心管中, 保存在 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中待测。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性及丙二醛(MDA)含量均按照试剂盒上的方法测量, 试剂盒购自北京索莱宝科技有限公司。

1.3.5 土壤理化性质和酶活性的测定 取盆栽土自然风干后过 40 目筛, 测定土壤理化性质, 包括 pH 值(雷磁 PHS-3C pH 计)、有机质含量(重铬酸钾容量法)、速效钾含量(NH_4OAc 浸提-火焰光度计法)以及铵态氮、速效磷含量(SKALAR SAN⁺⁺连续流动注射分析仪); 测定土壤酶活性, 包括土壤酸性磷酸酶(S-ACP)和土壤脲酶(S-UE)。2 种酶活性测定均采用试剂盒法, 试剂盒购自北京索莱宝科技有限公司。

1.4 数据处理

采用 SPSS 25.0 软件进行差异显著性检验(Duncan's 新复极差法, $\alpha = 0.05$), 并用 Excel 2019 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同堆肥浸提液对烟草黑胫病病原菌的抑制作用

烟草黑胫病病原菌在含有不同处理液的培养基中生长状况如图 1 所示, 堆肥浸提液对菌丝生长的抑制作用总结在表 3 中。不同堆肥浸提液均表现出了相同的抑制规律, 即菌丝在原液中生长受到的

抑制显著强于高温灭菌液; 且不同堆肥原液的抑制效果存在差异, 其中堆肥 AB 浸提液的抑制效果最好, 抑制率达 85.54%。结果表明, 堆肥浸提液原液明显抑制烟草黑胫病菌生长, 浸提液经过高温灭菌处理后, 其中含有的微生物被破坏杀死, 导致浸提液失去抑制功能, 而原液中的微生物可能通过竞争、寄生以及拮抗等作用对烟草黑胫病菌起到抑制效果。

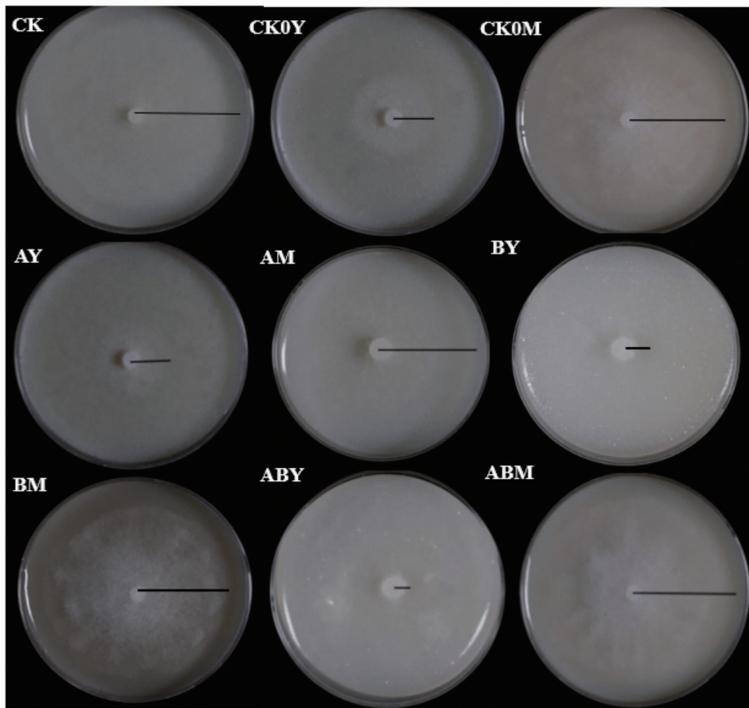
2.2 扫描电镜分析堆肥浸提液对烟草黑胫病病原菌的抑制方式

结果表明, 对照组的菌丝体形态正常、健康饱满、匀质光滑, 菌丝表面没有明显的破损、凹陷和干瘪等现象(图 2-A); 在堆肥浸提液原液处理下菌丝体发生断裂, 菌丝萎缩、粗细不均, 菌丝表面被细菌附着并发生明显破损(图 2-B), 且部分菌丝体扭曲变形、干瘪凹陷成片状, 内容物已经基本泄漏(图 2-C)。

2.3 不同堆肥处理对盆栽烟草的防病促生效果

2.3.1 对烟草黑胫病的防控效果 由表 4 可以看出, 与 CK 相比, 施用堆肥降低了烟草黑胫病的发病率及病情指数, 对烟草黑胫病具有一定程度的防控效果。堆肥 A 和 AB 这 2 个处理发病率均为 0%, 防效达 100.00%; 其他处理出现不同程度的发病, CK0 处理发病率较低, 为 8.33%, 较 CK 降低了 85.72%, 防效可达 84.21%; B 处理发病率较 CK 降低了 28.56%, 防效为 19.30%。可见添加堆肥能有效减轻黑胫病的发生程度, 但不同配方的堆肥对烟草黑胫病的控制效果存在一定程度的差异。

2.3.2 对盆栽烟草生长状况的影响 由表 5 可知, 不同堆肥处理与 CK 相比, 株高和叶片数差异不显著, 但对叶片数的促进作用要强于株高, 效果较好的处理为 CK0、A 和 AB, 较 CK 分别提高了 28.42%、53.58% 和 28.42%。堆肥处理后最大叶长、最大叶宽和最大叶面积较 CK 显著增加, 增幅分



Y—原液；M—高温灭菌液

图1 不同堆肥浸提液对烟草黑胫病原菌生长的影响

表3 堆肥浸提液对烟草黑胫病原菌菌丝生长的抑制作用

处理	抑制率(%)	
	原液	高温灭菌液
CK0	55.07 ± 2.89c	3.73 ± 1.53d
A	61.59 ± 7.23bc	3.51 ± 0.66d
B	71.25 ± 5.03b	1.04 ± 1.39d
AB	85.54 ± 2.52a	1.20 ± 1.24d

注:本表所有数据相比较,不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

别为34.65%~57.35%、25.28%~51.66%和70.15%~138.91%。添加堆肥对烟株的农艺性状有明显的改善作用;在各堆肥处理中,以CK0处理的烟株长势最好,促生效果最为明显。

2.4 不同堆肥处理对烟株叶片内防御酶活性及丙二醛含量的影响

2.4.1 对SOD活性的影响 SOD被认为是一种重

要的自由基清除剂,它能够维持机体的代谢平衡,并可在植物和病原体之间的识别过程中提供初始抗性信号^[12-13]。图3结果显示,与CK相比,添加堆肥处理的烟株叶片内SOD活性显著降低,其中A处理降幅最大,为63.28%;其次为CK0处理和AB处理,分别下降60.57%和38.82%;在各堆肥处理中,B处理SOD活性最高,仍比CK下降24.33%。结合表3中发病率和病情指数数据,推测在CK和B处理中,烟草黑胫病原菌侵染烟株后导致自由基积累,促使SOD表达用于清除自由基;而CK0、A和AB处理中SOD活性较低,可能由于堆肥很好地抵御了病原菌的入侵,减轻了病菌对烟株的伤害。

2.4.2 对POD活性的影响

POD在植物体内广泛存在,它能够促进木质素、植物生长激素和酚类化合物的生成,使细胞壁增厚来抵御病原菌的入侵,

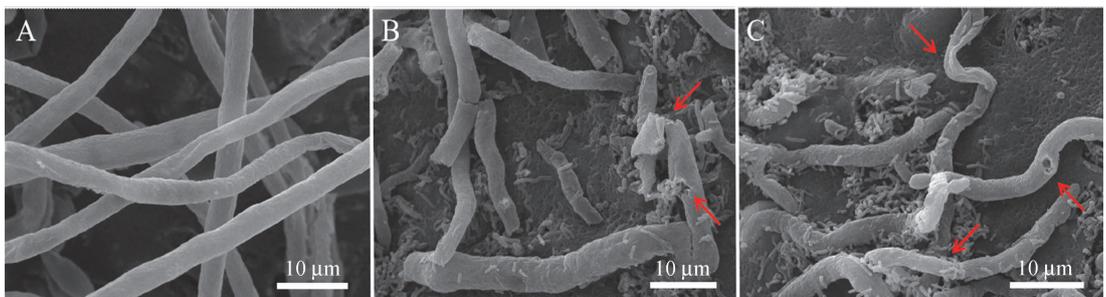


图2 扫描电镜下对照组(A)、原液组(B、C)的烟草黑胫病原菌形态结构

表 4 盆栽试验中不同堆肥处理对烟草黑胥病防治效果的影响

处理	发病率 (%)	病情指数	防治效果 (%)
CK	58.33 ± 0.08a	33.75 ± 6.87a	
CK0	8.33 ± 0.08bc	6.75 ± 6.75ab	84.21 ± 15.79ab
A	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00b	100.00 ± 0.00a
B	41.67 ± 0.38ab	27.00 ± 17.86ab	19.30 ± 42.14b
AB	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00b	100.00 ± 0.00a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。表 5、表 6 同。

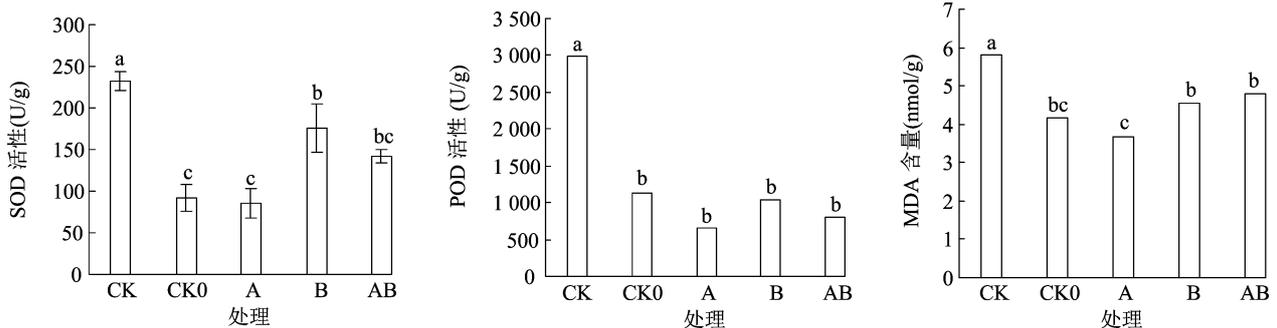
表 5 盆栽试验中不同堆肥处理烟株的农艺性状

处理	株高 (cm)	叶片数 (张)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)	最大叶面积 (cm ²)
CK	5.12 ± 0.60a	4.61 ± 0.63a	8.37 ± 0.32c	6.33 ± 0.26c	33.67 ± 2.30c
CK0	4.99 ± 0.71a	5.92 ± 0.22a	13.17 ± 0.76a	9.60 ± 0.55a	80.44 ± 10.08a
A	5.55 ± 0.41a	7.08 ± 0.55a	11.27 ± 0.31b	8.57 ± 0.47ab	61.34 ± 5.28ab
B	4.56 ± 2.30a	4.89 ± 2.45a	12.67 ± 1.50ab	8.70 ± 0.76ab	70.45 ± 19.69ab
AB	5.40 ± 0.36a	5.92 ± 0.46a	11.37 ± 0.81b	7.93 ± 0.12b	57.29 ± 7.63b

2.4.3 对 MDA 含量的影响 MDA 是膜脂过氧化的关键产物之一,其生成会加重膜的破坏,因此可利用 MDA 来反映膜脂过氧化的程度,并间接测定膜系统受损程度以及植物的抗逆性^[15]。MDA 含量越高,说明植物细胞膜质过氧化程度高,从而表明细胞膜受到的伤害越严重。图 3 结果显示,未添加堆肥处理的烟株叶片中 MDA 含量最高,达 5.81 nmol/g,说明 CK 叶片细胞膜受到的损伤最严

是植物抗病有关的防御酶^[13-14]。由图 3 可知,CK 受病原菌胁迫严重,POD 活性显著升高,达 2 994.37 U/g;添加堆肥处理的 POD 活性显著降低,降幅为 62.37% ~ 78.22%,其中 A 处理 POD 活性最低,为 652.28 U/g,其次为 AB 处理,POD 活性为 807.94 U/g,CK0、B 处理 POD 活性分别为 1 126.64、1 045.93 U/g。结合表 3,推测出现这类情况的原因与 SOD 相似,即堆肥通过对病原菌的抑制作用,抵御了病菌入侵烟株。

重;添加堆肥处理的叶片中 MDA 含量均显著低于 CK,且 A 处理下 MDA 含量最低,为 3.69 nmol/g,较 CK 下降了 36.49%;CK0、B 和 AB 处理 MDA 含量较 CK 分别下降了 28.03%、21.94% 和 17.81%。说明添加堆肥显著抑制了烟株体内细胞膜脂过氧化过程,减少了细胞受到的伤害。综合上述指标,可知堆肥 A 的抗病效果最明显。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 4 同

图 3 不同堆肥处理对烟草叶片 SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响

2.5 不同堆肥处理对土壤理化性质及酶活性的影响

2.5.1 对理化性质的影响 从表 6 可以看出,堆肥处理对土壤理化性质影响显著。相比 CK,堆肥处理土壤 pH 值和速效钾含量分别增加 6.25% ~ 9.63% 和 33.93% ~ 62.23%,且 2 个指标均在 AB 处理下增幅最大。堆肥处理提升速效磷含量效果明显,在

CK0 处理下可提高 147.21%。各堆肥处理的有机质含量与 CK 相比差异不显著。这也表明堆肥处理下烟株农艺性状改善与土壤中磷、钾等营养元素含量升高有关。

2.5.2 对酶活性的影响 土壤磷酸酶是催化土壤有机磷转化为无机磷的酶类,是评价土壤磷素生物转化方向和强度的重要指标^[16]。由图 4 可知,各堆

表 6 不同堆肥处理对土壤理化性质的影响

处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	铵态氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	5.92 ± 0.07b	106.35 ± 1.87a	31.20 ± 0.50a	13.24 ± 1.85b	178.96 ± 5.78d
CK0	6.29 ± 0.01a	93.14 ± 3.68a	21.45 ± 3.34b	32.73 ± 7.59a	239.69 ± 0.20c
A	6.45 ± 0.09a	100.13 ± 3.92a	22.91 ± 0.83b	20.10 ± 4.77ab	262.36 ± 5.04b
B	6.46 ± 0.03a	104.25 ± 3.64a	21.41 ± 0.87b	28.77 ± 4.29ab	266.82 ± 4.96b
AB	6.49 ± 0.08a	93.27 ± 5.68a	22.71 ± 2.07b	23.24 ± 3.27ab	290.33 ± 0.38a

肥处理 S-ACP 活性均高于 CK, 分别提高 12.45%、2.06%、20.90%、1.11%, 主要是由于施用堆肥后积累的大量磷反应底物刺激土壤微生物分泌了较多的酸性磷酸酶^[17]。土壤脲酶活性增强能有效促进土壤中的有机氮向无机氮转化^[18]。与 CK 相比,

S-UE 活性在 CK0 和 A 处理下分别提高 20.78% 和 19.55%; B 处理提高了 13.00%。AB 处理较 CK 没有提高, 可能是由于 AB 堆肥中本身含有大量的铵态氮, 含量为 829.98 mg/kg。

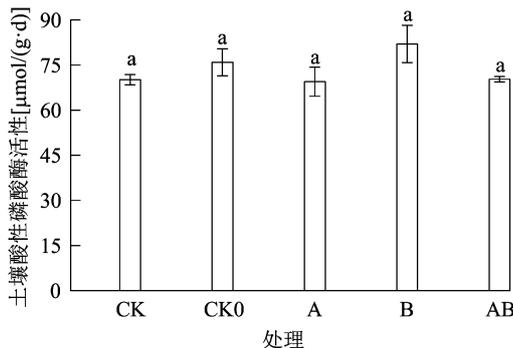
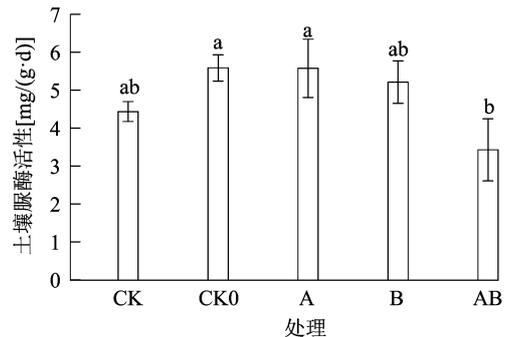


图 4 不同堆肥处理下的土壤脲酶活性



3 讨论与结论

有研究表明,堆肥浸提液中的拮抗微生物通过竞争、寄生、分泌抗生素等方式对病原菌起抑制作用^[7]。此外,浸提液中含有的酚类物质、挥发性脂肪酸以及氨等化合物也具有直接毒性,能够对病原菌产生不利影响^[19]。本试验设置堆肥原液和高温灭菌液 2 种处理,可以有效地区分是生物因素还是非生物因素起作用,以便更好地了解堆肥抑菌机理。Koné 等的研究也表明,由多种商业堆肥制成的提取液能显著抑制致病疫霉等多种病原菌的生长,经高温灭菌后则丧失了抑制效果,本研究结果与之一致,由此推断堆肥浸提液中含有的微生物是抑制病原菌的先决条件^[20]。结合扫描电镜结果可知,堆肥浸提液中的微生物对烟草黑胫病病原菌的抑制作用具体表现为造成病原菌菌丝变形、断裂,菌丝壁穿洞引起内含物质泄漏。

本试验结果显示,施用堆肥能够显著促进烟株的生长和发育,最大叶宽、最大叶长和最大叶面积等农艺指标均显著增加,说明堆肥对烟株的发育具

有很好的促生效果。任小利等关于堆肥对烟草、茄子、番茄等作物的促生增产效果研究也证实此结论:施用堆肥后,堆肥中本身含有的营养物质提高了作物产量形成的能力,且堆肥施用后影响了根际土壤微生物区系,减少了病原菌数量,增加了功能菌数量,从而进一步提高了肥料的利用效率^[21-23]。施用堆肥可以有效地防控烟草黑胫病,但不同堆肥的抑制效果存在差异,其中 A 和 AB 处理效果最好,CK0 次之,B 处理最差,可能是由于堆肥 B 处理中加入的生物炭对土壤微生物的生长产生了不利影响,比如在某些情况下会挥发苯等有毒物质^[24-25]。SOD、POD 活性与植物抗病性有关,MDA 含量反映细胞受损程度。本研究结果表明,施用堆肥后 SOD 和 POD 活性均显著低于 CK,说明施加堆肥显著抑制了土壤中病原菌的生长繁殖,使病原菌无法成为优势菌,很难迁移到烟株根系完成侵染,烟株没有受到病原菌损害,故防御酶活性较低;而 CK 处理的 MDA 含量最高恰好印证了这一解释。堆肥的抑病机理不仅体现在为植物生长提供充足的养分和影响微生物群落的构成,还体现在能够有效地改善植

物生长发育的环境条件和土壤的生态环境^[26]。本试验结果表明,堆肥中含有较高的氮、磷、钾及其他营养元素,能够明显提高土壤养分含量,促进烟株的生长,且提高了土壤的 pH 值,改善土壤酸化程度。施用堆肥后,土壤中酸性磷酸酶和脲酶活性提高,两者均由参与养分循环的细菌分泌,说明施肥后促进土壤细菌对肥料养分的转化,张建华等的研究也证明了此观点^[8,27]。本研究有效探讨了堆肥防控烟草黑胫病的机制,但添加堆肥对根际土壤微生物多样性和结构的影响有待进一步探索。

堆肥的施用对防控烟草黑胫病具有良好效果,其机理可以总结为以下几点:堆肥中含有的微生物严重抑制了烟草黑胫病病原菌的生长,使其难以侵染烟株;堆肥的施用改善了土壤理化性质,促进了烟株生长发育,提高了其抗逆境胁迫的能力;堆肥的施用提高了土壤酶活性,促进了肥料转化,有效提高了烟株的生长速率。在实际应用中,还应考虑堆肥原料复杂性以及病原菌多样性,从而对土传病害的绿色防控更有针对性和预见性。

参考文献:

- [1] 贾海江,冯俊喜,吴涛,等. 生物炭菌剂对烟草黑胫病及土壤微生物的影响[J]. 中国烟草科学,2022,43(6):68-75.
- [2] 曾舒泉,钮徐融,魏聪聪,等. 烟草黑胫病拮抗菌 HZ15 的发酵条件优化[J]. 江西农业学报,2021,33(12):14-20.
- [3] 李森. 植烟土壤有机改良防控烟草黑胫病的研究[D]. 昆明:云南大学,2020.
- [4] 林英,王纪章,赵青松,等. 堆肥对植物土传病害抑制作用研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):168-171.
- [5] 王宁,李蕙秀,李季,等. 堆肥调控作物根际微生物组抑制植物病害的研究进展[J]. 生物技术通报,2022,38(5):4-12.
- [6] Mehta C M, Palni U, Franke-Whittle I H, et al. Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases[J]. Waste Management, 2014, 34(3):607-622.
- [7] 李欣欣,王秀红,史向远,等. 堆肥提取液诱导草莓对黄萎病抗性及其抑菌机理研究[J]. 中国生物防治学报,2018,34(2):294-302.
- [8] 张建华,郭玉双,田光明,等. 三种堆肥对番茄生长及青枯病防治效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(5):1185-1192.
- [9] 谭兆赞,徐广美,刘可星,等. 不同堆肥对番茄青枯病的防病效果及土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 华南农业大学学报,2009,30(2):10-14.
- [10] 张广雨,胡志明,褚德朋,等. 生物炭对根际土壤微生态的调控及对烟草青枯病的防控作用[J]. 中国烟草学报,2020,26(6):81-88.
- [11] 宋化稳,高德良,徐娜娜,等. 5 种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对芦笋茎枯病菌的室内毒力及田间药效评价[J]. 农药,2019,58(7):532-534.
- [12] 董金皋,樊慕贞,韩建民. 芸薹链格孢菌毒素对白菜细胞膜透性、SOD 酶和 POD 酶活性的影响[J]. 植物病理学报,1999,29(2):138-141.
- [13] 赵娜,蔡昆争,汪国平,等. 家畜堆肥诱导番茄对青枯病的抗性及其生理机制[J]. 农业环境科学学报,2008,27(5):2058-2063.
- [14] 余斌,南运有,孔娜娜,等. 采后 UV-C 辐照对马铃薯干腐病的抑制效应及相关酶活性的影响[J]. 核农学报,2017,31(9):1730-1736.
- [15] 乔维川,罗杨,徐立杰,等. 不同钾水平对延胡索幼苗的生理特征和铬吸收影响[J]. 生态环境学报,2018,27(4):761-768.
- [16] Hou E Q, Chen C R, Wen D Z, et al. Phosphatase activity in relation to key litter and soil properties in mature subtropical forests in China[J]. Science of the Total Environment, 2015, 515/516: 83-91.
- [17] 李欣,陈小华,顾海蓉,等. 典型农田土壤酶活性分布特征及影响因素分析[J]. 生态环境学报,2021,30(8):1634-1641.
- [18] 董齐琪,王海燕,杜雪,等. 东北低山区典型林分类型土壤脲酶活性特征[J]. 应用与环境生物学报,2023,29(3):690-695.
- [19] Siddiqui Y, Meon S, Ismail M R, et al. Trichoderma-fortified compost extracts for the control of choanephora wet rot in okra production[J]. Crop Protection, 2008, 27(3/4/5):385-390.
- [20] Koné S B, Dionne A, Tweddell R J, et al. Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato[J]. Biological Control, 2010, 52(2):167-173.
- [21] 任小利,王丽萍,徐大兵,等. 菜粕堆肥与无机肥配施对烤烟产量和品质以及土壤微生物的影响[J]. 南京农业大学学报,2012,35(2):92-98.
- [22] 黄炎. 鸡粪生物有机肥的研制及其促生防病效果与机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2016.
- [23] 朵金玲. 蚯蚓堆肥菌渣过程中的微生物区系变化及蚓粪的促生和诱导抗病研究[D]. 昆明:云南大学,2019:45.
- [24] Zimmerman A R, Gao B, Ahn M Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(6):1169-1179.
- [25] Chen J H, Li S H, Liang C F, et al. Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: effect of particle size and addition rate[J]. Science of the Total Environment, 2017, 574:24-33.
- [26] Bonanomi G, Antignani V, Capodilupo M, et al. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(2):136-144.
- [27] 张晓花,王克勤,宋娅丽,等. 厨余垃圾堆肥对烤烟土壤酶活性和细菌群落结构的影响[J]. 土壤,2023,55(2):321-330.