

生防菌与有机肥联用防治马铃薯枯萎病及对土壤微生态的影响

刘智慧¹, 陈慧¹, 包美丽², 蒙美莲¹, 胡俊^{1*}, 陈雯廷^{1,3}, 王祺^{1,3}, 李云伟³

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古通辽市科尔沁区农业技术推广中心, 内蒙古 通辽 028000;
3. 内蒙古中加农业生物科技有限公司, 内蒙古 四子王旗 011800)

摘要: 马铃薯枯萎病是马铃薯种植区为害严重的土传病害之一。将生防菌与有机肥结合施用, 经田间试验, 明确了对马铃薯枯萎病的防治效果及对根际土壤微生物各类群数量与土壤酶活性的影响。结果表明, 生防菌与有机肥混合施用能够较好地控制枯萎病的发生; 土壤中真菌数量明显下降, 细菌与放线菌数量上升; 土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性得到不同程度的提升。说明生防菌与有机肥混合施用可以改善土壤微生物区系和马铃薯生长的土壤环境, 提高土壤酶活性, 抑制病原菌, 减轻枯萎病的发生。

关键词: 马铃薯; 枯萎病; 生物防治; 有机肥; 土壤微生物; 土壤酶活性

Control of *Fusarium* Wilt in Potato Using Biocontrol Agents Combined with Organic Fertilizer and Their Effects on Soil Micro Ecology

LIU Zhihui¹, CHEN Hui¹, BAO Meili², MENG Meilian¹, HU Jun^{1*}, CHEN Wenting^{1,3}, WANG Qi^{1,3}, LI Yunwei³

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China; 2. Horqin Agriculture Technical Extension Center, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China; 3. Inner Mongolia Zhongjia Agricultural Biological Technology Co., Ltd, Siziwangqi, Inner Mongolia 011800, China)

Abstract: *Fusarium* wilt in potato is one of the serious soil-borne diseases in potato growing areas. The control effects, influence on rhizosphere soil microbial populations and soil enzyme activity were studied by applying biocontrol agents combined with organic fertilizer in different ways in the field. The results showed that the disease severity was significantly reduced after applying the mixture of biocontrol agents and organic fertilizer. At the same time, the change of soil microbial community was found. The number of fungi decreased, while the number of bacteria and actinomycetes increased. The activities of soil urease, phosphatase, sucrose and catalase were increased to some extent. These results indicated that soil microbial flora and soil environment of potato growth were improved, soil enzyme activities were increased, pathogens were suppressed, and severity of *Fusarium* wilt in potato was reduced when biocontrol agents mixed with organic fertilizer were used in potato production.

Key Words: potato; *Fusarium* wilt; biological control; organic fertilizer; soil microorganism; soil enzyme activity

近年来, 随着马铃薯种植面积的不断扩大, 倒茬周期缩短以及频繁调种, 使马铃薯病害种类逐年增多且为害程度加重。其中, 马铃薯土传病害的问

题在北方马铃薯种植区日益凸显, 主要是大量使用农药化肥与马铃薯连年种植致使土壤微生态多样性遭到破坏, 土壤中有毒有害物质积累, 微生物种类

收稿日期: 2016-04-02

基金项目: 国家现代马铃薯产业技术体系建设岗位专家专项(nycyt-15-gwzj-20)。

作者简介: 刘智慧(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事马铃薯病害研究。

*通信作者(Corresponding author): 胡俊, 教授, 主要从事植物病害综合治理研究, E-mail: hujun6202@126.com。

与数量发生改变,有益菌种类逐渐减少,数量急剧降低^[1],病原菌种类与数量逐渐增加^[2]。由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)^[3]引起的马铃薯枯萎病是一种危害严重的土传病害,该病在内蒙古马铃薯种植区普遍发生,但目前无法有效防治^[4,5],严重影响马铃薯的产量和质量。对于土传病害的防治一直以来没有较好的解决办法,某些化学药剂虽然能控制一些土传病害的发生,但从操作的可行性、成本及效果考虑不适于马铃薯的规模化应用,而且长期使用污染环境。

随着人们对生态环保和粮食安全意识的提升,生物防治在农业生产中日益受到重视,在土传病害的防治中取得良好的效果。枯草芽孢杆菌在防治甜瓜^[6]、香蕉^[7]和西瓜^[8]等枯萎病的研究中具有较好的效果。庄敬华等^[9]利用木霉菌防治黄瓜枯萎病,效果显著。但生物防治也存在作用时间长,较化学药剂防效低,易受环境条件影响等缺陷^[10],这些缺点制约着生物防治在土传病害防治上的应用。本研究是将有机肥与生防菌结合施用,研究其对马铃薯枯萎病的防治效果,并分析土壤微生态的差异。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试病原菌

尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)由内蒙古农业大学植物病理实验室分离、鉴定、保存。

1.1.2 供试品种

马铃薯品种‘克新1号’。

1.1.3 供试生防菌剂

枯草芽孢杆菌剂(保定市科绿丰生化科技有限公司,有效成分含量:活体芽孢 ≥ 10 亿/g,可湿性粉剂)。

木霉菌剂(无锡几丁生物新材料科技发展有限公司,有效成分含量:活体孢子 ≥ 2 亿/g,粉剂)。

1.1.4 供试肥料

撒可富马铃薯专用复合肥(N:P:K = 12:19:16)。

有机肥:腐熟的羊粪。

1.2 试验设计与方法

试验于2015年5月21日在乌兰察布市四子王旗中加农业生物科技有限公司试验田进行。每小区

(30.6 m²)施撒可富马铃薯专用复合肥2.3 kg作基肥。试验采用随机区组设计,3次重复,小区宽3.6 m,长8.5 m,单行种植,行距90 cm,株距25 cm,常规田间管理。

采用土壤接种法,即将尖孢镰刀菌用麦麸培养基扩大培养(25℃,培养20 d)后晾干,孢子量为 5×10^7 个/g,均匀撒施接种5 g/m²,后混匀。

试验共设8个处理(以小区计量)。(1)对照处理(CK):播种时施撒可富马铃薯专用复合肥0.92 kg作为种肥;(2)有机肥处理(Y):播种时施入腐熟的羊粪100 kg;(3)木霉菌拌种处理(M):施撒可富马铃薯专用复合肥0.92 kg作为种肥并用10 g木霉菌粉剂兑水200 mL均匀喷施于种薯上晾干后播种;(4)枯草芽孢杆菌拌种处理(K):施撒可富马铃薯专用复合肥0.92 kg作为种肥并用10 g枯草芽孢杆菌可湿性粉剂兑水200 mL均匀喷施于种薯上晾干后播种;(5)木霉菌拌种+有机肥处理(M-Y):撒施100 kg腐熟羊粪并用10 g木霉菌粉剂兑水200 mL均匀喷施于种薯上晾干后播种;(6)枯草芽孢杆菌拌种+有机肥处理(K-Y):撒施100 kg腐熟羊粪并用10 g枯草芽孢杆菌粉剂兑水200 mL均匀喷施于种薯上晾干后播种;(7)木霉菌混合有机肥处理(M-H):均匀撒施50 g木霉菌粉剂与100 kg腐熟羊粪混合的生物有机肥;(8)枯草芽孢杆菌混合有机肥处理(K-H):均匀撒施50 g枯草芽孢杆菌粉剂与100 kg腐熟羊粪混合的生物有机肥。

1.3 取样与调查

每小区播种后第10 d开始每隔20 d采用5点法取土样,共取5次,前2次取母薯周围的土样,后3次取根际土样,取土深度约12 cm,分别进行土壤微生物各类群数量及土壤酶活性的测定。9月7日按病情分级标准进行病情及病株率的调查。9月22日每小区随机3点取样(每点长2 m,共5.4 m²)调查病薯率和产量。

1.4 测定项目与方法

马铃薯枯萎病病情分级标准^[11]:

1级(代表值0):植株生长正常,叶片没有明显的枯黄萎焉;

2级(代表值1):25%以下的叶片枯黄萎焉;

3级(代表值2): 26%~50%的叶片枯黄萎焉;
4级(代表值3): 51%~75%的叶片枯黄萎焉;
5级(代表值4): 75%以上叶片萎焉或整株枯死。

病株率(%) = 发病株数/调查总株数 × 100%

病情指数 = [Σ(各级病株数 × 代表值)/调查总株数 × 最高级代表值] × 100

病薯率(%) = 维管束变褐块茎数/调查总块茎数 × 100%

防效(%) = (对照的病情指数 - 处理的病情指数)/对照的病情指数 × 100%。

土壤微生物类群、数量测定: 稀释平板计数法^[12], 细菌用牛肉膏蛋白胨培养基; 真菌用PDA + 链霉素培养基; 放线菌用高氏1号培养基。

土壤酶活性测定: 参照关松荫^[13]土壤酶测定方法。本试验4种土壤酶活性测定的土样均为过80目筛的母薯周围与根际土样。脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶分别采用靛酚蓝比色法、土壤磷酸酶试剂盒、3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法、高锰酸钾滴定法测定。

1.5 统计分析

采用最小显著差数法进行平均数的多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯枯萎病的防治效果

由表1数据可知, 在8个处理中, 枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的病情指数最低, 为6.56, 显著低于对照处理, 防效最高, 达51.56%; 木霉菌混合有机肥处理的病情指数次之, 为7.84, 显著低于对照处理, 防效达42.10%; 枯草芽孢杆菌拌种并施有机肥处理的防效也较好, 病情指数为8.64, 防效为36.19%; 有机肥处理的病情指数显著低于对照处理, 病情指数为10.42, 防效23.04%; 对照处理的病情指数最高, 为13.54。

就病株率而言, 与病情指数较一致, 8个处理中, 枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的病株率最低, 为32.72%; 木霉菌混合有机肥处理的病株率次之, 为37.48%, 显著低于对照处理; 对照处理的病株率最高, 为59.58%, 显著高于其他处理; 木霉菌拌种、枯草芽孢杆菌拌种、木霉菌拌种 + 有机肥、枯草芽孢杆菌拌种 + 有机肥4个处理与有机肥处理的病株率之间差异不显著, 但都显著低于对照处理。

表1 各处理马铃薯植株病情

Table 1 Disease conditions of potato plants under different treatments

处理 Treatment	病株率(%) Diseased plant percentage	病情指数 Disease index	防效(%) Efficiency
CK	59.58 a	13.54 a	-
Y	48.76 b	10.42 bc	23.04
M	42.17 bc	13.36 a	1.33
K	49.03 b	12.25 ab	9.53
M-Y	49.07 b	11.76 ab	13.15
K-Y	53.43 b	8.64 cd	36.19
M-H	37.48 c	7.84 d	42.10
K-H	32.72 c	6.56 d	51.56

注: 同列平均数后不同小写字母表示0.05水平显著, 最小显著差数法测验。下同。

Note: Means in the same column followed by different small letters indicate significant difference at 0.05 level as tested using least significant difference procedure. The same below.

调查结果表明(表2), 枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的病薯率显著低于其他处理, 为13.40%, 小区实际收获面积平均产量最高, 达28.14 kg/5.4m², 折

合产量3 476 kg/667m², 较对照增产28.14%; 木霉菌混合有机肥处理的病薯率也较低, 为18.52%, 小区实际收获面积平均产量为27.67 kg/5.4m², 折合产

表2 收获期马铃薯块茎病情与产量

Table 2 Disease conditions and yield of tubers at harvest

处理 Treatment	病薯率(%) Diseased tuber percentage	小区产量(kg/5.4m ²) Plot yield	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	增产率(%) Increased
CK	38.53 a	21.96 d	2 712	—
Y	26.01 b	25.30 bc	3 125	15.21
M	25.85 b	21.79 d	2 691	-0.77
K	18.35 c	23.07 cd	2 850	5.05
M-Y	20.90 c	27.49 ab	3 396	25.18
K-Y	19.28 c	27.52 ab	3 399	25.31
M-H	18.52 c	27.67 ab	3 418	26.00
K-H	13.40 d	28.14 a	3 476	28.14

量 3 418 kg/667m², 增产 26.00%; 对照处理的病薯率最高, 为 38.53%, 显著高于其他处理, 小区实际收获面积平均产量较低, 仅为 21.96 kg/5.4m², 折合产量 2 712 kg/667m², 除木霉菌和枯草芽孢杆菌拌种处理外, 与其他处理差异显著。木霉菌拌种 + 有机肥处理与枯草芽孢杆菌拌种 + 有机肥处理的增产效果也较好, 分别增产 25.18% 和 25.31%。

2.2 不同处理对土壤微生物的影响

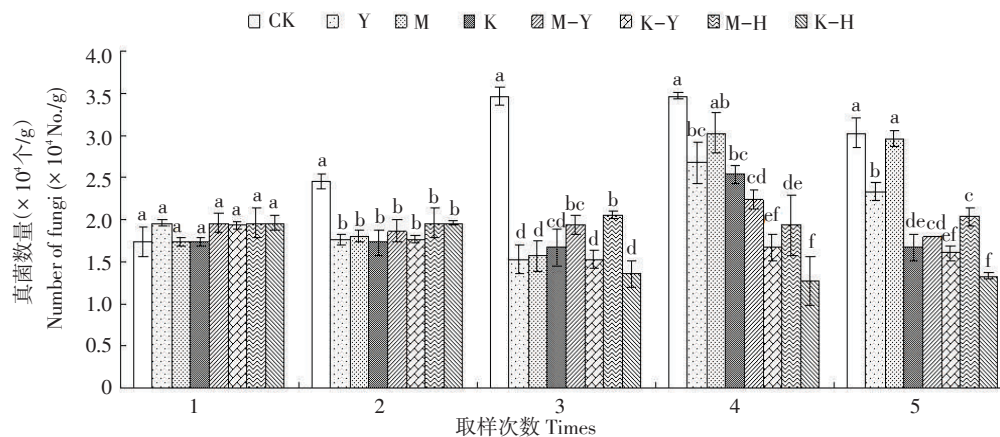
2.2.1 不同处理土壤中真菌数量的比较

由图1可知, 第1次取样, 不同处理土壤中真菌数量差异不显著, 随着时间的推移, 对照处理土壤中真菌数量逐渐增多, 与其他处理的差异越来越大。到第4次取样时, 枯草芽孢杆菌混合有机肥处理土壤中真

菌数量较低, 且显著低于对照处理; 木霉菌混合有机肥处理土壤中真菌数量也显著低于对照处理, 但高于枯草芽孢杆菌混合有机肥处理。总体而言, 对照处理与有机肥处理真菌数量较高, 2种木霉菌 + 有机肥处理真菌数量高于2种枯草芽孢杆菌 + 有机肥处理。

2.2.2 不同处理土壤中细菌数量的比较

由图2可知, 第1次取样, 各处理土壤中细菌数量差异不显著。随着马铃薯生长发育, 细菌数量呈现升高的趋势, 到第4次取样时, 枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的土壤细菌数量显著高于其他处理; 且有机肥处理的土壤细菌数量高于对照处理, 对照处理的土壤细菌数量最低。5种施有机肥的处理的土壤细菌数量高于3种施化肥的处理。



图柱上不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 最小显著差数法测验。误差线为样本标准偏差。下同。

Different small letters above the bar means significant difference at 0.05 level as tested using least significant difference procedure. The error bar is the standard deviation of the sample. The same below.

图1 不同处理土壤中真菌数量的比较

Figure 1 Comparison of number of fungi in soil of different treatments

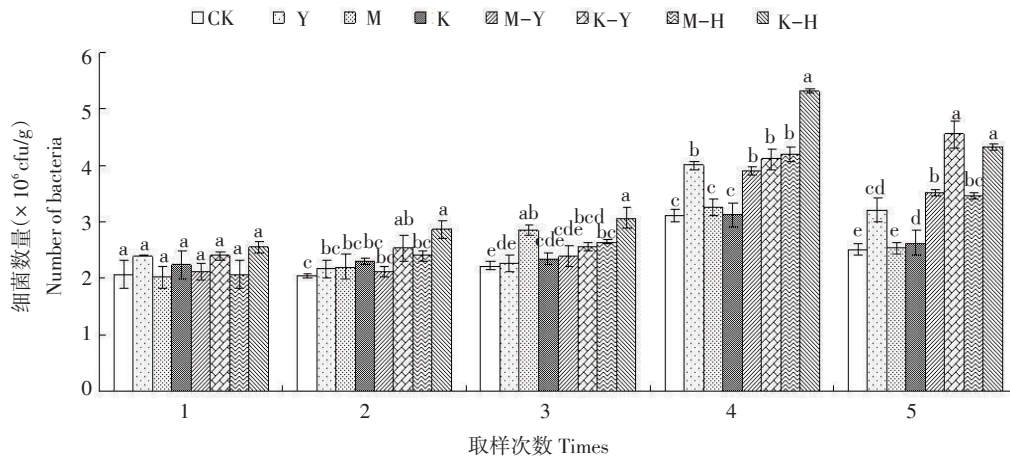


图2 不同处理土壤中细菌数量的比较

Figure 2 Comparison of number of bacteria in soil of different treatments

2.2.3 不同处理土壤中放线菌数量的比较

由图3可知,不同处理土壤中放线菌数量前期变化较平缓,后期差异增大。到第5次取样,2种生防菌拌种+有机肥处理与2种生防菌混合有机肥处理的放线菌数量均高于生防菌拌种处理,有机肥

处理高于对照处理,生防菌拌种处理土壤中放线菌数量与对照处理差异不显著。

2.3 不同处理对土壤酶活性的影响

2.3.1 不同处理土壤脲酶活性的比较

由图4可知,不同处理的土壤脲酶活性呈现先

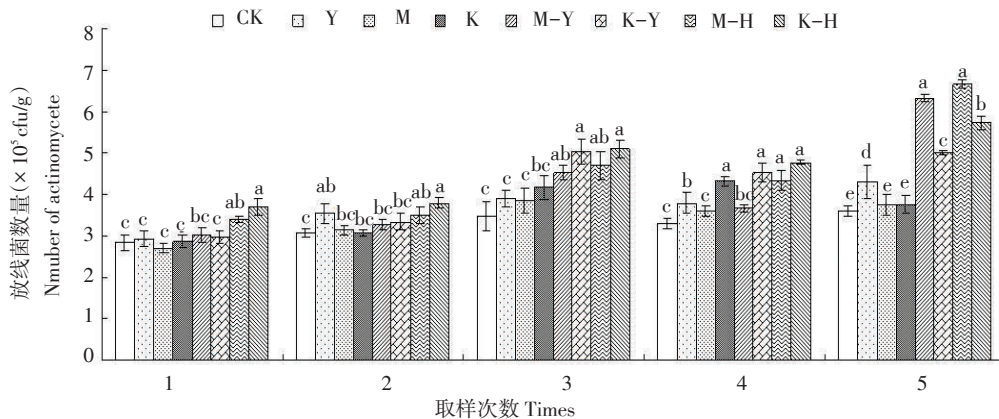


图3 不同处理土壤中放线菌数量的比较

Figure 3 Comparison of number of actinomycete in soil of different treatments

上升后逐渐下降的趋势。第1次取样时,5种有机肥处理的土壤脲酶活性高于2种生防菌拌种与对照处理。到第5次取样,对照处理脲酶活性最低,显著低于其他处理;木霉混合有机肥处理与枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的脲酶活性下降较慢,在后期仍能保持较高的活性,且显著高于其他处理;生防菌拌种处理与生防菌拌种+有机肥处理的土壤脲酶活

性显著高于对照处理而低于生防菌混合有机肥处理。

2.3.2 不同处理土壤磷酸酶活性的比较

由图5可知,第1次取样时,不同处理的土壤磷酸酶活性差异不显著。随着马铃薯植株的生长发育,土壤磷酸酶活性先升高后降低;第3次取样(播种后50 d),各处理土壤磷酸酶活性差异最大,枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的土壤磷酸酶活性最

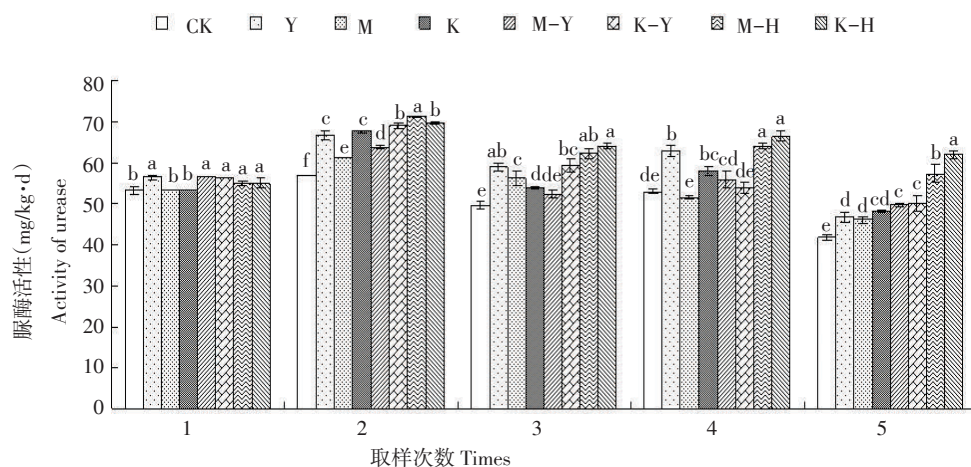


图4 不同处理对土壤脲酶活性的影响

Figure 4 Effect of different treatments on activity of urease in soil

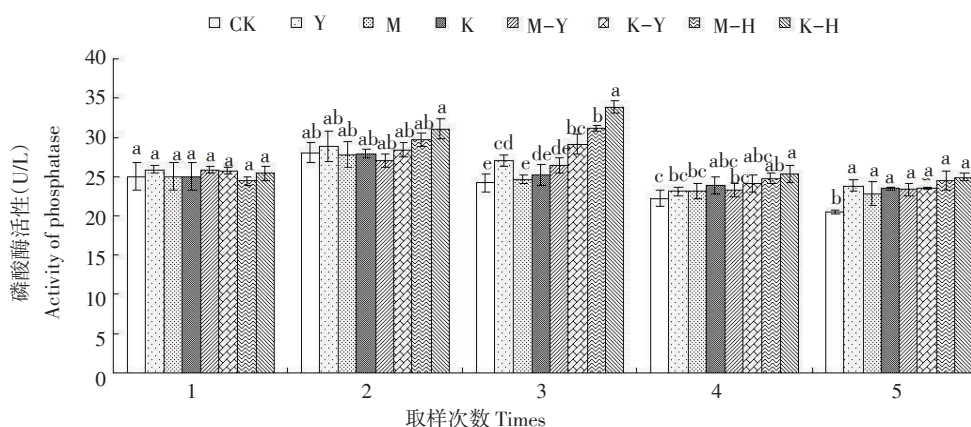


图5 不同处理对土壤磷酸酶活性的影响

Figure 5 Effect of different treatments on activity of phosphatase in soil

高, 显著高于其他处理; 木霉菌混合有机肥处理的土壤磷酸酶活性次之, 显著高于对照处理; 木霉菌拌种处理与枯草芽孢杆菌拌种处理的土壤磷酸酶活性较低, 与对照差异不显著。随着时间的推移, 土壤磷酸酶活性逐渐降低, 到第5次取样, 对照处理的土壤磷酸酶活性最低, 其他各处理的土壤磷酸酶活性差异不显著。

2.3.3 不同处理土壤蔗糖酶活性的比较

由图6可知, 第1次取样时, 不同处理土壤蔗糖酶活性前期差异不大, 随后整体呈现逐步上升的趋势, 到第4次取样(播种后70 d), 土壤蔗糖酶活性达最大值, 8个处理中, 木霉菌混合有机肥处

理、枯草芽孢杆菌混合有机肥处理与木霉菌拌种处理的土壤蔗糖酶活性较高, 显著高于对照; 其他处理的土壤蔗糖酶活性与对照无显著差异或显著降低; 到第5次取样, 各处理土壤蔗糖酶活性迅速下降, 5个施有机肥处理的土壤蔗糖酶活性显著高于3个施化肥的处理; 木霉菌拌种处理、枯草芽孢杆菌拌种处理与对照差异不显著。

2.3.4 不同处理土壤过氧化氢酶活性的比较

由图7可知, 第1次取样时, 对照处理与木霉菌拌种处理的土壤过氧化氢酶活性较低, 显著低于其他处理; 到第3次取样(播种后50 d), 木霉菌混合有机肥处理与枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的土壤过

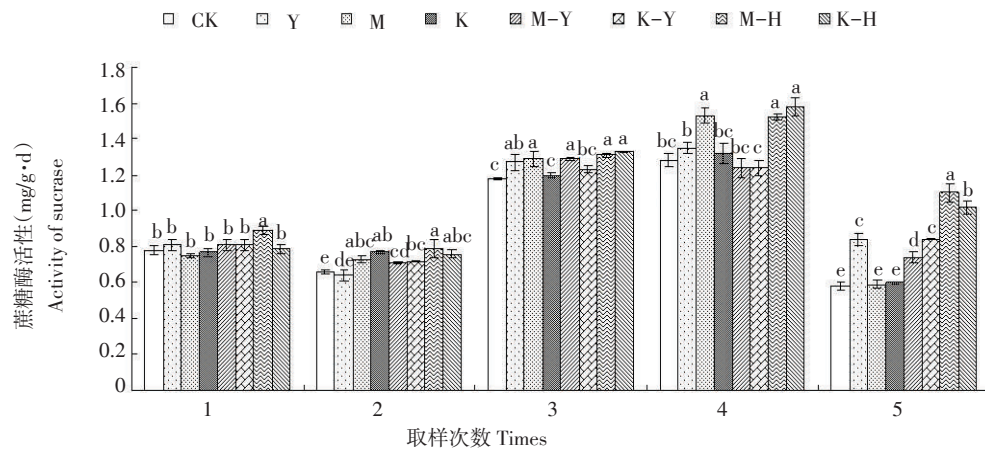


图6 不同处理对土壤蔗糖酶活性的影响

Figure 6 Effect of different treatments on activity of sucrase in soil

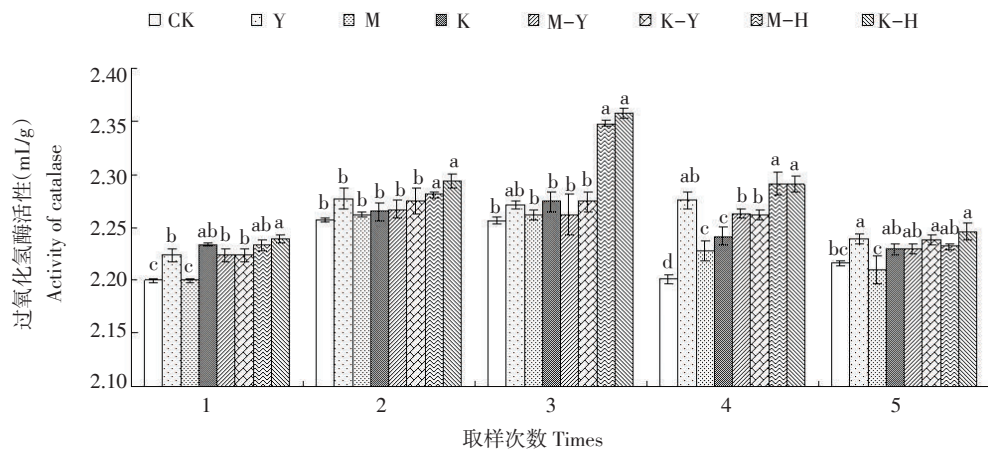


图7 不同处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

Figure 7 Effect of different treatments on activity of catalase in soil

氧化氢酶活性达最大值, 且显著高于对照处理; 其他处理土壤过氧化氢酶活性与对照差异不显著; 随后各处理的土壤过氧化氢酶活性逐渐降低, 到第4次取样, 对照处理的土壤过氧化氢酶活性显著低于其他处理; 木霉菌混合有机肥与枯草芽孢杆菌混合有机肥处理的酶活性下降速度较慢。

3 讨论

3.1 生防菌与有机肥联用能够提升根际土壤有益微生物数量

枯草芽孢杆菌混合有机肥与木霉菌混合有机肥

能够有效控制枯萎病的发生, 降低植株的发病率、病薯率, 并且具有很好的增产作用。相比生防菌拌种与生防菌拌种 + 有机肥处理, 生防菌混合有机肥处理能够更好发挥生防菌的防病作用。生防菌混合有机肥后, 能够显著降低根际土壤真菌数量, 细菌数量与放线菌数量得到显著提升, 其原因可能是, 有机肥给生防菌提供生长与繁殖的场所与养分, 使生防菌种群数量在马铃薯根际土壤快速增长, 从而使生防菌成为土壤中的优势菌群, 生防菌通过拮抗、竞争等作用, 抑制土壤中镰刀菌数量的增长, 其次, 有机肥中含有大量有益微生物, 对于降

低病原菌数量也起到不可忽视的作用^[14]。通过生防菌与有机肥联用形成“基质-菌群”生态系统, 改善马铃薯根际土壤微生态环境和理化特性, 从而起到防病、增产作用^[15]。

3.2 生防菌与有机肥联用能够提高根际土壤主要酶活性

土壤酶活性可以反映土壤中生化反应的类型和强弱, 土壤酶活性与土壤微生物数量、土壤微生物活性、有机质含量等密切相关^[16]。试验结果表明, 生防菌混合有机肥能够在不同程度上提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶及过氧化氢酶活性。其原因可能表现为2个方面: 一是生防菌与有机肥联用后, 土壤中有益菌数量快速增长; 二是施入有机肥后, 增加了土壤有机质含量, 改善了土壤的理化性质, 为酶活性的升高提供良好的原料与环境条件, 土壤微生物的活性得到了增强^[17,18]; 从而加速土壤养分分解、转化与释放^[19]。

综上所述, 生防菌与有机肥联用对马铃薯枯萎病具有较好的防治效果, 能显著降低马铃薯枯萎病的病株率、病薯率, 提高防病效果, 并有一定的增产作用。其原因是生防菌与有机肥联用显著提升了根际土壤有益菌数量, 降低病原菌的数量, 有益微生物抑制病原菌在土壤中存活、繁殖, 阻止病原菌侵入与扩展。同时生防菌与有机肥联用在不同程度上提高了土壤酶的活性, 从而加速养分转化, 使土壤养分更容易被马铃薯植株吸收利用, 进而提升马铃薯植株的长势, 增强植株的抗病性^[20], 增加产量。

[参 考 文 献]

- [1] Naseby D C, Pascual J A, Lynch J M. Effect of biocontrol strains of *Trichoderma* on plant growth, *Pythium ultimum* populations, soil microbial communities and soil enzyme activities [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2000, 88(1): 161-169.
- [2] Yao H, Bowman D, Shi W. Soil microbial community structure and diversity in a turfgrass chronosequence: Land-use change versus turfgrass management [J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 34: 209-218.
- [3] 陈慧. 马铃薯枯萎病病原菌鉴定及 *Fusarium oxysporum* 遗传多样性的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [4] 王晓丽, 蒙美莲, 胡俊, 等. 马铃薯枯萎病初侵染来源及栽培与发病的关系 [J]. *中国马铃薯*, 2012, 26(3): 169-173.
- [5] 薛玉凤, 蒙美莲, 胡俊, 等. 6 种杀菌剂对马铃薯枯萎病菌的室内毒力测定 [J]. *中国马铃薯*, 2012, 26(4): 228-230.
- [6] 庄敬华, 杨长成, 高曾贵, 等. 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) B6 对甜瓜枯萎病的生防作用 [J]. *果树学报*, 2008, 25(6): 891-895.
- [7] 殷晓敏, 郑服丛, 贺春萍, 等. 枯草芽孢杆菌 B215 生物学特性及对香蕉枯萎病的生防效果评价 [J]. *热带作物学报*, 2010, 31(8): 1416-1419.
- [8] 李晶, 闫本良, 张淑梅, 等. 枯草芽孢杆菌水剂对西瓜枯萎病的田间防效研究 [J]. *武夷科学*, 2006, 22(1): 65-67.
- [9] 庄敬华, 高增贵, 陈捷, 等. 绿色木霉菌 T23 对黄瓜枯萎病防治效果及其几种防御酶活性的影响 [J]. *植物病理学报*, 2003, 35(2): 179-183.
- [10] 李兴龙, 李彦忠. 土传病害生物防治研究进展 [J]. *草业学报*, 2015, 24(3): 204-212.
- [11] 曲延军, 蒙美莲, 张笑宇, 等. 马铃薯品种对枯萎病菌的抗性鉴定 [J]. *植物保护*, 2015, 41(3): 149-153.
- [12] 李卓棣, 胡正嘉. 微生物学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1959: 105-106.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 274-323.
- [14] 张志红, 李华兴, 韦翔恩, 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.
- [15] 蔡燕飞, 廖宗文, 章家恩, 等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 349-353.
- [16] 尹淑丽, 麻耀华, 张丽萍, 等. 不同生防菌对黄瓜根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响 [J]. *北方园艺*, 2012(1): 10-14.
- [17] Tu C M. Effect of four experimental insecticides on enzyme activities and levels of adenosine triphosphate in mineral and organic soils [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 1990, 25(6): 787-800.
- [18] 闫颖, 袁星, 樊宏娜, 等. 五种农药对土壤转化酶活性的影响 [J]. *中国环境科学*, 2005, 24(5): 588-591.
- [19] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 192-214.
- [20] 匡石滋, 李春雨, 田世尧, 等. 药肥两用生物有机肥对香蕉枯萎病的防治及其机理初探 [J]. *中国生物防治学报*, 2013, 29(3): 417-423.