植物营养与肥料学报 2013,19(6):1450-1458
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0620

不同浓度有机物料发酵液对连作苹果幼树生物量及土壤环境的影响

尹承苗,陈学森,沈 向,张兆波,孙海兵,毛志泉*
(山东农业大学园艺科学与工程学院,作物生物学国家重点实验室,山东泰安 271018)

摘要: 在老果园的更新中,连作障碍是制约果树持续发展的重要因素,施用获得国家专利的不同有机物料发酵液可有效缓解连作果树再植病。本试验以富士/八棱海棠二年生嫁接苗为试材,设计了六个不同有机物料发酵液灌溉浓度:(CK)、1%(T1)、3%(T2)、5%(T3)、7%(T4)、9%(T5),利用盆栽方法,在春、夏、秋季三个季节研究了重茬土上利用该技术制备的有机物料发酵液对连作土壤条件下苹果幼树生物量及土壤环境的影响。结果表明:1)春、夏、秋三个季节,浇灌不同浓度的有机物料发酵液均不同程度地提高连作土的有机质、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾含量,以添加9%的发酵液(T5)的土壤养分含量最高。2)浇灌有机物料发酵液对苹果幼树生长发育的作用表现为"低促高抑"的效应,浇灌浓度小于5%(T3),可促进苹果幼树的生长,且以浇灌浓度为3%(T2)增长最显著。浇灌浓度在7%(T4)和9%(T5)时,对苹果幼树的生长有抑制作用。3)浇灌不同浓度的有机物料发酵液均可提高连作土壤酶的活性,且以T2处理土壤过氧化氢酶活性、土壤脲酶、蔗糖酶和中性磷酸酶的活性最高。4)浇灌有机物料发酵液可增加土壤微生物的数量,以细菌数量增长最显著,放线菌次之,真菌最小。

关键词: 有机物料发酵液;苹果幼树;连作障碍;土壤环境
中图分类号: S147.22;S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)06-1450-09

Effect of different irrigating concentrations of fermented organic fluid on the young apple tree biomass and the soil properties in replant soil

YIN Cheng-miao, CHEN Xue-sen, SHEN Xiang, ZHANG Zhao-bo, SUN Hai-bing, MAO Zhi-quan*
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China*)

Abstract: In the replant of apple orchard, some diseases often break out in young apple trees. Applying organic ferment fluid with proper ratio of certain organic materials(Patent No. ZL 2009 1 001 5530.2) was proved effective to alleviate these diseases. Using pot experiment and the Fuji apple seedlings grafted on Malus robusta biennial as the test materials, six concentrations of the fermented organic fluid were designed to irrigate the seedlings: CK (distilled water), 1%(T1), 3%(T2), 5%(T3), 7%(T4) and 9%(T5). Each treatment had three replicates and each pot had three irrigations. The effect of different adding levels on the young apple tree biomass and soil properties in continuous apple cropping soil were studied. The results show that: 1) In spring, summer and autumn, all the five irrigation concentrations of fermented organic fluid could improve the soil organic matter, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, available phosphorus and potassium contents of the pot soils to some extent, and the maximum increase was with T5. 2) The fermented organic fluid has the effect of "promotion in low and inhibition in high concentration". When irrigating levels were lower than 3%(T3), there is positive effect but negative when the adding levels higher than 5%. The irrigating level of 3%(T2) gave the highest biomass and the most satisfactory disease alleviating effect. 3) Irrigating young apple trees with the five fermented organic fluid

收稿日期: 2013-03-20 **接受日期:** 2013-07-08
基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-28);山东省农业重大应用技术创新课题资助。
作者简介: 尹承苗(1986—),女,山东新泰人,博士研究生,主要从事果园土壤环境调控方面的研究。E-mail: yinchengmiao@163.com
* 通信作者 Tel: 0538-8241984, E-mail: mzhiquan@sdau.edu.cn

concentrations could increase the activities of soil urease, catalase, invertase and neutral phosphatase. The 3% treatment (T2) gave the highest activities. 4) Applying the fermented organic fluid could enhance the microorganisms quantity significantly. The increase was in order of bacteria higher than fungi and higher than actinobacteria.

Key words: fermented organic fluid; young apple tree; replant disease; soil property

苹果是我国栽培面积最大的果树之一,也是世界上栽培面积较大的果树树种,在水果消费中占据重要位置。在老果园的更新中,连作障碍是制约果树持续发展的重要因素[1],一般表现为植株产量降低、品质变劣、生长受限甚至树体死亡,造成严重的经济损失[2-3]。苹果连作障碍的致病因素多且复杂,一些可能的因素在不同地区甚至同一地区不同果园也会不同,给连作障碍的解决带来较大困难[3-5]。Wilson 等[6]报道,在移栽前,消毒土壤或添加有机物质均可有效地缓解苹果再植病。张江红[7]研究发现,有机物料可降低平邑甜茶幼树根系酚类物质的含量,影响连作土壤的理化性状和土壤酶活性,在一定程度上改善了幼树的连作症状。郭修武等[8]研究发现在连作土壤中施入稻草和玉米秸秆等有机物料后表现出细菌、真菌、放线菌数量显著增加。喻景权等[9]研究认为土壤中施入有机物料,影响土壤微生物活性和土壤酶活性,可以减轻土壤连作障碍程度。毛志泉等[10]研究表明,有机物料能增加土壤中营养元素的含量,也使土壤中生长素和细胞分裂素等激素的活性提高。Allan 等[11]对比了沼肥、生粪和化肥在供氮量相同的条件下对土壤肥力的影响,发现沼肥可明显增加土壤有效氮含量。本试验室前期研究比较了两种形态有机物料对连作平邑甜茶幼树生理特性及土壤环境的影响,结果表明与有机物料堆肥相比,有机物料发酵液能更好地减轻苹果连作障碍[12],但未针对有机物料发酵液防治连作障碍的最适浓度进行探讨。因此,本研究以二年生苹果嫁接苗为试材,探讨连作条件下施入不同浓度的有机物料发酵液对苹果幼树生物量和土壤相关指标的影响,以期为生产中采用适宜浓度的有机物料发酵液防治苹果连作障碍提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2010～2011 年在山东省泰安郊区红庙试验基地进行。供试材料为以富士/八棱海棠二年生嫁接苗,选择生长较为整齐一致的苗木栽植。连作土取自泰安红庙 20 年生红富士苹果园,收集距果树树干 1 m,深 5—40 cm 范围内的土壤,多点随机取样,混匀后装入外径 35 cm,内径 30 cm 的泥瓦盆中。每盆装土 10 kg,每盆一株,正常管理。

试验用有机物料鸡粪、羊粪、牛粪、秸秆按体积比 6∶1∶1∶2 混匀,该配比已获得国家专利(克服苹果连作障碍新方法:ZL 2009 1 001 5530.2),且经实验室前期研究该配比条件下的发酵液能更好地减轻苹果连作障碍[12,23]。各浓度发酵液所需有机物料配比重量见表 1,将配比好的有机物料分别装入 5 个白色塑料桶并注水至有机物料全部浸于水中,进行厌氧发酵。分三次施入,分别在 4 月 20 日、6 月 20 日、8 月 5 日配制发酵液,且于 6 月 20 日、8 月 5 日、9 月 20 日将发酵液施入盆中。试验共设置 6 个处理:重茬土(CK)、重茬土加 1% 有机物料发酵液(T1)、重茬土加 3% 有机物料发酵液(T2)、重茬土加 5% 有机物料发酵液(T3)、重茬土加 7% 有机物料发酵液(T4)、重茬土加 9% 有机物料发酵液(T5)。每盆栽植 1 株,每处理 30 盆。

1.2　试验取样

浇发酵液 20 天后进行取样,一次取样每个处理取 3 盆,去掉表层土和盆子周围的土,将 3 盆土混匀装入黑色塑料袋带回实验室,过筛取大约 500 g 土分装到两个封口袋,4℃ 冷藏备用。一份用于土壤酶、氮磷钾和 pH 的测定;一份用于土壤微生物的测定。

1.3　测定方法

1.3.1 生物量的测定　幼树株高和地径分别用直尺和游标卡尺进行测量,测鲜重时先用自来水洗净地上部茎叶和地下部根系,晾干后用天平测鲜重,然后 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘至恒重后测干重。

1.3.2 土壤酶测定　参照关松荫[13]的方法,对土壤酶进行测定。

1.3.3 土壤养分的测定　参照鲍士旦[14]的方法,对土壤氮、磷、钾和有机质进行测定。速效磷(P_2O_5)采用钼蓝比色法;速效钾(K_2O)采用火焰光度法;铵态氮和硝态氮(NH_4^+ 和 NO_3^-)采用流动分析仪法;有机质采用重铬酸钾容量法(外加热法)测定;pH 值测定采用电位法。

表1 五种不同浓度有机物料发酵液养分含量

Table 1 Available nutrient contents of five different irrigation concentrations of fermented organic fluid

发酵液灌溉浓度 Irrigating concentration of organic fluid	发酵液养分含量 Nutrient content in irrigating fluid(mg/kg)			
	铵态氮 NH_4^+	硝态氮 NO_3^-	速效磷 Available P	速效钾 Available K
1%	1.17	495.54	51.34	1719.00
3%	1.62	743.30	68.69	2292.00
5%	2.17	991.37	91.56	3048.00
7%	3.24	1512.33	135.48	4659.00
9%	4.37	1989.72	190.75	6349.00

注(Note):发酵液由鸡粪、羊粪、牛粪和秸秆按6:1:1:2混配,不同灌溉浓度分别发酵 The fermented organic fluid were made of chicken manure, sheep manure, cow dung and straw in the ratio of 6:1:1:2(v/v), and each concentration fermented individually.

1.3.4 土壤微生物测定 细菌、真菌、放线菌均用平板涂抹法测定[15],测定前计算水分系数。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用马丁氏培养基,放线菌采用高氏一号培养基。

1.4 数据统计分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 19.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对连作条件下苹果幼树干鲜重和植株长势的影响

由表2可以看出,在春、夏、秋季,不同处理对连作条件下苹果幼树生物量的影响差异很大,T1、T2、T3的有机物料发酵液对苹果幼树生长有促进作用,其中T2效果最显著,在春季地上部鲜重、地下部鲜重、总鲜重和总干重与同期对照相比增长率分别为45.6%、50%、47.3%和45.6%,且地上部鲜重、地下部鲜重、总鲜重和总干重随季节变化呈递增趋势,在秋季T2处理的苹果幼树生物量达到最大,地上部鲜重、地下部鲜重、总鲜重和总干重与同期对照相比增长率分别为110.4%、80.9%、99.3%和100.6%。T4、T5的有机物料发酵液对苹果幼树生长有抑制作用,且T4和T5对苹果幼树有强烈的抑制作用,春季第一次浇有机物料发酵液有烧苗现象发生,且在春、夏和秋季T4和T5的地上部鲜重、地下部鲜重、总鲜重和总干重均低于同期对照。

本实验测定不同处理对苹果幼树植株长势的影响时,测量了苹果的株高和地径。从表3可得,选择的试验材料初始株高50 cm左右,地径1 cm左右。春、夏和秋三个季节的测量结果中得各个处理中株高和地径的生长量表现为:T2 > T1 > T3 > CK > T4 > T5(夏季T3处理中,地径变化略有浮动,此处忽略不计)。在春季T1、T2、T3处理,苹果幼树植株生长量与对照相比呈明显递增趋势,T2增加幅度又显著高于T1和T3,株高、地径与对照相比增长率分别为35.2%、17.7%。夏季和秋季各处理的连作苹果幼树在株高、地径与其同期的对照相比均有了明显的增加,且各处理间达显著性差异。因而可以得出,不同浓度的有机物料发酵液对苹果幼树植株长势的影响有很大差异,在T2浓度时表现出最佳的促进效果。

2.2 不同处理对连作条件下土壤酶活性的影响

脲酶是对尿素转化起关键作用的酶,因此脲酶的活性与土壤供氮能力有密切的关系,对施入土壤尿素利用率的影响很大。由图1可知,施用有机物料发酵液后,连作土壤脲酶活性随季节变化呈现逐渐递增趋势,CK的脲酶活性先上升而后期变化不大。春季和秋季均表现为T1、T2、T3、T4和T5各处理脲酶活性均显著高于CK,夏季T1、T2处理脲酶活性显著高于CK,分别为CK处理的1.24倍和1.3倍,T3、T4和T5各处理脲酶活性与CK无显著性差异。T2处理在春、夏和秋季的土壤脲酶活性均为最高,分别为CK的1.75倍、1.30倍和1.30倍。

土壤蔗糖酶又叫转化酶,是土壤中参与碳循环的一种重要酶,可促进蔗糖水解成葡萄糖和果糖,提高土壤的生物活性。在测定期内各处理和对照土壤蔗糖酶活性随时间变化趋势相同,从春季到夏季蔗糖酶活性整体呈现增高趋势,从夏季到秋季蔗糖酶活性变化不大(图1)。春、夏和秋季T1、T2、T3、T4和T5各处理土壤蔗糖酶活性均显著

表 2　不同发酵液灌溉对连作土壤条件下苹果幼树干鲜重的影响

Table 2　Effect of different irrigating concentrations on the biomass of young apple tree under replant conditions

季节 Season	处理 Treatment	地上部鲜重(g) Aboveground fresh biomass weight	根鲜重(g) Fresh root weight	总鲜重(g) Total fresh weight	总干重(g) Total dry weight
春 Spring	CK	34.79 ±0.048 d	23.77 ±0.088 d	58.55 ±0.006 d	35.24 ±0.009 d
	T1	38.17 ±0.059 b	30.07 ±0.029 b	68.22 ±0.006 b	39.76 ±0.009 b
	T2	50.67 ±0.103 a	35.66 ±0.012 a	86.23 ±0.009 a	51.32 ±0.006 a
	T3	35.68 ±0.050 c	24.63 ±0.009 c	60.25 ±0.006 c	36.02 ±0.006 c
	T4	34.77 ±0.164 d	23.67 ±0.007 d	58.56 ±0.029 d	33.52 ±0.006 e
	T5	29.74 ±0.074 e	22.83 ±0.009 e	52.56 ±0.026 e	30.13 ±0.033 f
夏 Summer	CK	46.46 ±0.003 c	29.15 ±0.006 c	75.62 ±0.006 c	44.82 ±0.162 b
	T1	47.12 ±0.006 b	33.79 ±0.006 b	80.92 ±0.006 b	41.85 ±0.006 c
	T2	66.63 ±0.012 a	41.16 ±0.006 a	107.8 ±0.006 a	61.43 ±0.006 a
	T3	37.67 ±0.006 d	27.80 ±0.058 d	65.35 ±0.006 d	36.32 ±0.006 f
	T4	37.12 ±0.006 e	26.32 ±0.006 e	63.75 ±0.328 e	37.53 ±0.007 e
	T5	36.31 ±0.003 f	24.31 ±0.009 f	60.63 ±0.006 f	39.19 ±0.012 d
秋 Autumn	CK	57.38 ±0.009 e	34.75 ±0.006 e	92.12 ±0.009 e	53.95 ±0.022 e
	T1	83.74 ±0.006 b	50.49 ±0.003 b	134.3 ±0.115 b	83.25 ±0.009 b
	T2	120.7 ±0.012 a	62.85 ±0.012 a	183.6 ±0.022 a	108.2 ±0.015 a
	T3	72.65 ±0.009 c	43.44 ±0.006 c	116.1 ±0.043 c	69.28 ±0.009 c
	T4	69.25 ±0.015 d	37.87 ±0.062 d	107.3 ±0.038 d	61.55 ±0.012 d
	T5	37.89 ±0.009 f	34.14 ±0.0.015 f	72.07 ±0.033 f	40.29 ±0.009 f

注(Note): 同列数据后不同字母表示 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters mean significant at the 5% level in a column.

表 3　不同发酵液浇灌浓度对苹果幼树植株生长的影响

Table 3　Effect of different treatments on the growth of young apple tree in replant soil

处理 Treatment	初始值 Initial value		春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn	
	株高(cm) Height	地径(cm) Diameter	株高(cm) Height	地径(cm) Diameter	株高(cm) Height	地径(cm) Diameter	株高(cm) Height	地径(cm) Diameter
CK	50.13 a	1.111 a	4.720 d	0.093 e	17.43 d	0.155 d	46.60 d	0.243 c
T1	50.11 a	1.012 d	9.527 b	0.145 c	24.73 b	0.274 b	55.50 b	0.363 a
T2	50.08 a	1.060 b	17.600 a	0.197 a	25.30 a	0.292 a	68.97 a	0.364 a
T3	50.09 a	1.022 c	5.533 c	0.162 b	21.80 c	0.182 c	49.17 c	0.293 b
T4	50.08 a	0.950 e	1.517 e	0.085 e	14.43 e	0.113 e	37.60 e	0.222 d
T5	50.04 a	1.021 c	1.323 f	0.133 d	2.33 f	0.105 f	14.77 f	0.190 e

注(Note): Diameter was the basal diameter. 同列数据后不同字母表示 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters mean significant at the 5% level in a column.

高于 CK。测定期内各个季节土壤蔗糖酶活性 T2 一直最高,分别为同期对照的 1.2、1.2 和 1.1 倍。

土壤中的磷,很大部分是以有机磷化合物的形式存在。中性磷酸酶能酶促有机磷化合物的水解,土壤的磷酸酶活性很大程度上取决于土壤的腐殖质含量,活性磷量,可以作为表征土壤的肥力(磷)状

况。由图1可以看出,从春季到秋季中性磷酸酶活性整体呈现增高趋势。不同测定期有机物料发酵液的各个处理与对照相比均显著提高了中性磷酸酶活性,其中春、夏、秋三季的T2处理增长最为明显,分别为同期对照的1.4、1.1和1.2倍。

过氧化氢酶是广泛存在于土壤和生物体内的酶,能有效地防止土壤及其生物体在新陈代谢过程中产生的过氧化氢对生物体的毒害。春、夏和秋季T1和T2两个处理均显著提高了过氧化氢酶活性,T2处理尤为显著,分别为同期CK的1.11、1.12倍、和1.08倍,而T3、T4和T5三个处理的过氧化氢酶活性在春、夏和秋季均低于同期对照,且达显著性差异(图1)。

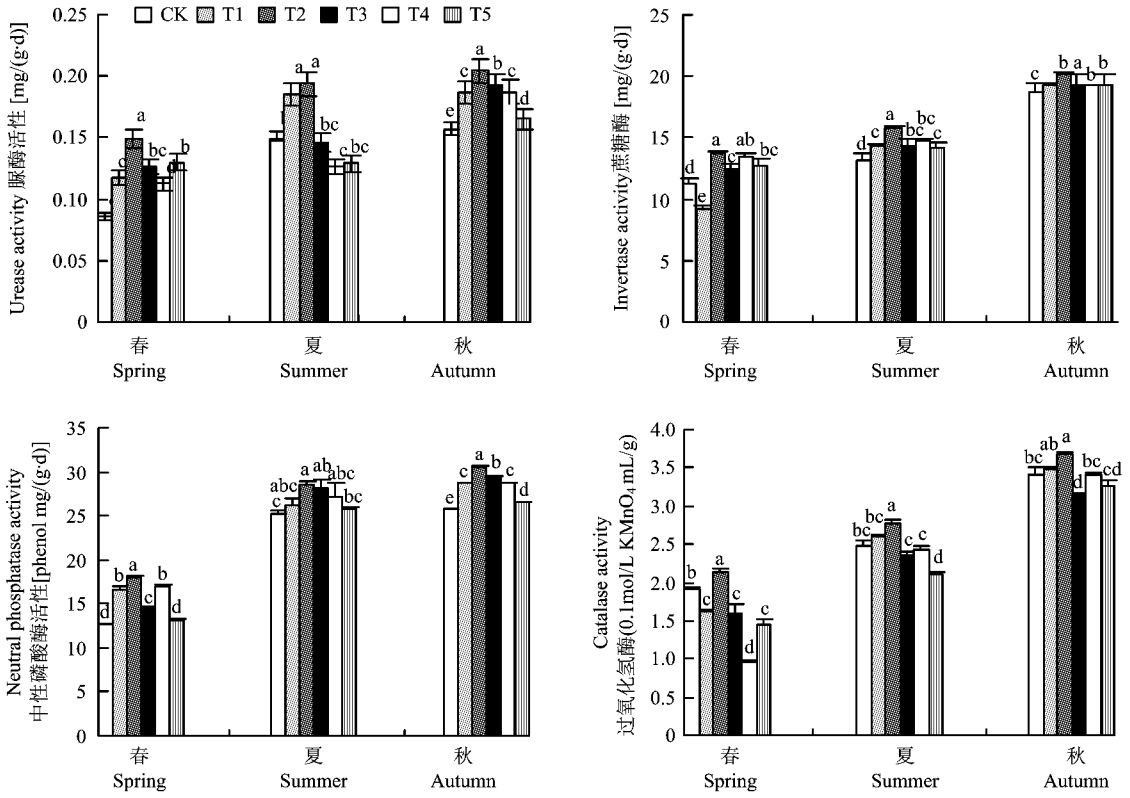

图1 不同处理对连作条件下脲酶、蔗糖酶、中性磷酸酶和过氧化氢酶活性的影响

Fig.1 The activity of soil urease, invertase, neutral phosphatase and catalase irrigated with different concentrations of fermented fluid in replant soil

[注(Note):图中的不同字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the same season at the 5% level.]

2.3 不同处理对连作条件下土壤养分的影响

由表4可以看出,从春季到秋季,连作土壤有机质的含量呈现递增的趋势,以T5处理尤为显著,分别为同期CK的1.17倍、1.25倍和1.28倍,三个季节有机质含量排序从高到低均为T5>T4>T3>T2>T1>CK,且存在一定的差异性。铵态氮含量在春季以T4最高,夏季和秋季以T5最高,分别为同期CK的1.41倍、1.55倍和1.30倍。硝态氮含量在春季和秋季以T5最高,夏季以T3和T4最高,分别为同期CK的1.73倍、1.38倍、1.61倍和1.55倍。速效磷含量在夏、秋季均表现为T5>T4>CK>T3>T1>T2,春季表现为T5>T4>CK>T2>T3>T1,各个季节均以T5处理土壤养分含量最高,分别为同期CK的1.12倍、1.83倍和2.27倍,速效磷含量随季节变化呈递增趋势。速效钾含量在春季以T4最高,夏、秋两季以T5最高,分别为同期CK的1.51倍、1.67倍和3.71倍。土壤pH随季节变化呈现升高趋势土壤pH在春、夏和秋季均以T1最高,分别为同期CK的1.05倍、1.00倍和1.03倍,T3、T4和T5处理均低于CK, 且达显著性差异,T2

表 4　不同处理对连作条件下土壤养分的影响

Table 4　Effect of different treatments on the soil rapid available nutrient contents in replant soil

季节 Season	处理 Treatment	有机质(g/kg) OM	铵态氮(mg/kg) NH_4^+	硝态氮(mg/kg) NO_3^-	速效磷(mg/kg) P_2O_5	速效钾(mg/kg) K_2O	pH
春 Spring	CK	6.36 ±0.25 b	0.27 ±0.002 c	1.28 ±0.11 c	26 ±0.65 ab	108 ±2.5 bc	6.84 ±0.07 b
	T1	6.40 ±0.13 b	0.33 ±0.003 b	1.57 ±0.11 bc	20 ±0.61 c	81 ±6.4 d	7.18 ±0.03 a
	T2	6.88 ±0.06 ab	0.22 ±0.010 d	1.54 ±0.17 bc	25 ±2.95 abc	96 ±6.2 cd	7.13 ±0.14 a
	T3	7.16 ±0.17 ab	0.27 ±0.006 c	1.73 ±0.07 b	22 ±1.34 bc	99 ±2.9 c	6.99 ±0.07 ab
	T4	7.47 ±0.91 ab	0.38 ±0.018 a	1.77 ±0.06 b	27 ±0.85 a	163 ±5.1 a	6.50 ±0.04 c
	T5	7.77 ±0.09 a	0.31 ±0.013 b	2.21 ±0.09 a	29 ±0.66 a	124 ±3.8 b	6.82 ±0.03 b
夏 Summer	CK	6.95 ±0.15 b	0.44 ±0.102 b	1.22 ±0.09 c	29 ±0.91 c	84 ±0.06 bc	7.14 ±0.01 ab
	T1	7.31 ±0.24 ab	0.29 ±0.017 b	1.52 ±0.19 abc	27 ±3.10 cd	63 ±0.03 c	7.18 ±0.01 a
	T2	7.82 ±0.91 ab	0.27 ±0.015 b	1.36 ±0.17 bc	22 ±1.10 d	82 ±0.12 bc	7.15 ±0.03 ab
	T3	8.15 ±0.29 ab	0.42 ±0.030 b	1.96 ±0.20 a	29 ±0.45 c	122 ±0.06 a	7.11 ±0.03 b
	T4	8.47 ±0.22 a	0.42 ±0.019 b	1.89 ±0.04 a	40 ±0.86 b	88 ±0.03 b	7.16 ±0.02 ab
	T5	8.71 ±0.24 a	0.68 ±0.089 a	1.71 ±0.06 ab	53 ±2.58 a	140 ±0.03 a	7.04 ±0.02 c
秋 Autumn	CK	7.06 ±0.52 c	0.30 ±0.022 ab	1.01 ±0.05 ab	22 ±1.20 b	56 ±2.20 c	7.83 ±0.01 b
	T1	7.34 ±0.19 bc	0.24 ±0.024 bc	1.03 ±0.12 ab	18 ±1.96 b	56 ±1.70 c	8.09 ±0.04 a
	T2	8.44 ±0.02 abc	0.28 ±0.010 bc	1.03 ±0.12 ab	17 ±2.96 b	95 ±15.00 bc	7.57 ±0.03 c
	T3	8.62 ±0.20 ab	0.31 ±0.027 ab	1.07 ±0.02 ab	20 ±0.42 b	106 ±16.00 b	7.08 ±0.04 e
	T4	8.35 ±0.97 abc	0.19 ±0.005 c	0.938 ±0.03 b	44 ±1.03 a	119 ±1.20 b	7.50 ±0.06 cd
	T5	9.07 ±0.44 a	0.39 ±0.048 a	1.39 ±0.28 a	50 ±4.31 a	208 ±23.00 a	7.41 ±0.00 e

注(Note): 同列数据后不同字母表示 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters mean significant at the 5% level in a column.

处理在春、夏两季高于 CK,秋季低于 CK,分别为 CK 的 1.04 倍、1.00 倍和 0.97 倍。

2.4　不同处理对连作条件下土壤微生物的影响

由图 2 可以看出,连作土壤中施入有机物料发酵液后促进了土壤细菌繁殖,各处理间土壤中细菌数量差异显著,在春、夏、秋季均表现为: T2 处理的细菌数量增加最显著,分别为同期对照的 1.7、3.2 和 2.4 倍,其他处理细菌数量高于 CK 低于 T2,说明有机物料发酵液用量存在最大临界范围,超出此范围尤其不利于细菌生长,并通过改变养分的有效性而直接影响其他微生物群落。

图 2 显示不同处理均能增加土壤真菌的数量,而有机物料发酵液过多或不足土壤真菌数量变化起伏较大。在春、夏和秋季,以 T2 处理的效果最明显,分别为同期对照的 1.3、1.7 和 1.6 倍,这可能是因为有机物料发酵液不仅营养成分丰富,适于作物、微生物生长,而且有机物料发酵液本身所含的微生物在施入土壤后迅速增加,并增加土壤养分转化的能力,释放许多植物不能直接利用的养分,为微生物提供了新的能源,使微生物在种群数量上发生较大改变。

由图 2 可以看出,连作土壤中施入有机物料发酵液后促进了土壤放线菌的繁殖,各处理间土壤中放线菌数量差异显著,在春、夏、秋季均表现为: T2 处理的放线菌数量增加最显著,分别为同期对照的 1.6、1.8 和 1.8 倍,其他处理放线菌数量高于 CK 低于 T2,说明适量追施有机物料发酵液能够增加土壤中放线菌的数量,有效改善土壤环境。

3　讨论

土壤中直接施入有机物料,可以减轻土壤连作障碍程度[16-17],且与有机物料堆肥相比,有机物料发酵液能更好地减轻苹果连作障碍[12],发酵液是禽畜粪便等有机物料经厌氧发酵后的产物,是一种优

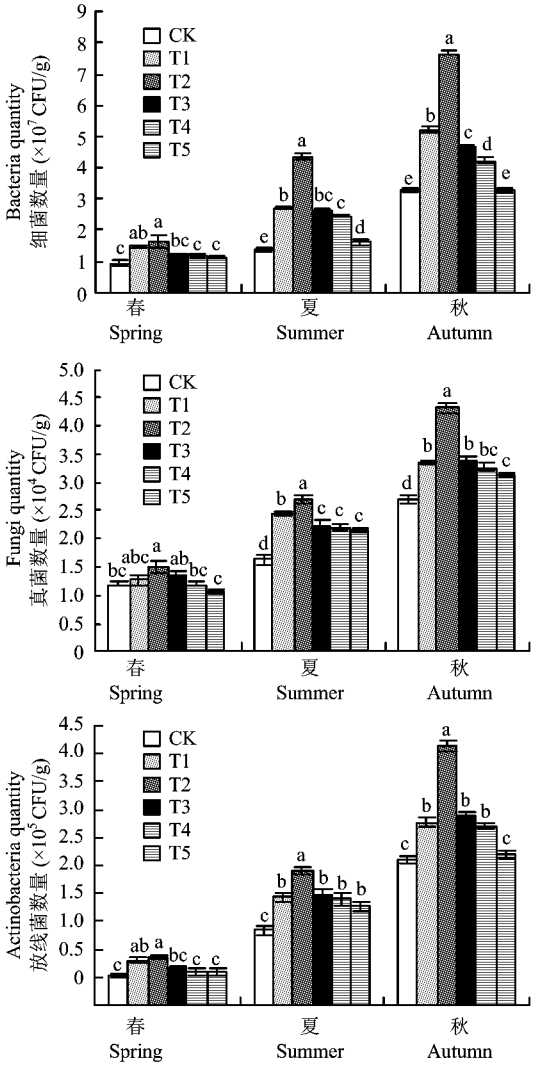

图2 不同处理对连作土壤细菌、真菌和放线菌数量的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on bacteria, fungi and actinobacteria quantity of the soil

[注(Note):图中的不同字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

质的有机肥料[18],含丰富的腐殖酸和氮、磷、钾、铁、铜、锰等多种植物营养元素,还含有对植物生长有调控作用的氨基酸、生长素、B族维生素、有机酸等生物活性物质[19-23],对果树生长发育具有重要的调控作用,并且参与了果树生长发育的全过程。在本试验条件下,施用不同浓度的有机物料发酵液均不同程度地提高了连作土的有机质、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾的含量,以T5的土壤养分含量最高,但有机物料发酵液对苹果幼树生长发育的作用表现为"低促高抑"的效应。从苹果幼树的株高、径粗和地上地下干鲜重的结果来看,T1、T2、T3处理浇灌的苹果幼树生物量均高于同期对照,且以T2增长最显著。T4、T5处理浇灌的苹果幼树生物量均低于同期对照。这可能是因为过量施入有机物料发酵液引起土壤中氮、磷和有机物质的过量积累,以及硝酸盐等盐分的过量积累,对苹果幼树根系产生了毒害作用,进而抑制了苹果幼树生长发育。

土壤酶参与土壤中许多重要的生物化学过程和物质循环,包括凋落物的分解、腐殖质及各种有机化合物的分解与合成、土壤养分的固定与释放,其活性可反映土壤中各种生物化学过程的强度和方向,是土壤生物活性较为稳定和灵敏的一个指标,在一定程度上反映了土壤养分转化的动态情况,也是土壤肥力评价的重要指标之一[24]。连作条件下,土壤脲酶、中性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶(转化酶)等活性下降[25-27],这可能是在连作条件下土壤环境恶化的其中一个表现。在本试验条件下,除夏季的个别处理土壤脲酶活性低于同期对照外,在春、夏和秋季施用不同浓度的有机物料发酵液均能提高各处理的土壤脲酶、蔗糖酶和中性磷酸酶活性,且均以T2的土壤脲酶、蔗糖酶和中性磷酸酶的活性最高。在三个季节里,T1、T2处理的土壤过氧化氢酶活性高于同期对照,T3、T4、T5处理的土壤过氧化氢酶活性低于同期对照。原因可能是施用有机物料的发酵液后,改善了土壤中微生物增殖所需碳源、氮源及代谢环境,使主要由土壤微生物产生的土壤酶数量和活性增加,连作条件下施用有机物料可以改善土壤酶系统,这可能是有机物料减轻连作土生长抑制的一方面原因。张无敌等[28]研究也指出,施用有机物料发酵液后土壤酶活性增加,可能是由于发酵液中含有丰富的营养成分,包括大量的氨基酸、维生素、核酸、激素及抗生素等物质[29],一方面提供了供土壤酶分解的大量的有机物质,另一方面为微生物正常繁殖代谢提供了丰富的营养,使微生物群落迅速发生变化,微生物数量迅速增加,而土壤酶主要由土壤微生物代谢产生,微生物变化间接促使土壤酶活性增加。

有机物料富含各种养分和生理活性物质,能够改善土壤养分状态,并且含有微生物活动所必需的碳源和氮源,影响土壤微生物活性。有机物料发酵液本身也带有大量活的微生物,在某种程度上起到了"接种"的作用,使土壤微生物数量短期内迅速增加,加速了土壤养分的分解、转化和释放,从而大大改善了土壤理化环境和微生物区系,有利于土壤微

生物生长繁殖[30-32]。本试验结果显示，有机物料发酵液施入连作土壤后激发了各类微生物数量增长，在微生物分类群中，以细菌数量增长最显著，放线菌次之，真菌较小。真菌数量有增加的趋势，与一些研究结果不太一致[33]，但张无敌等[28]研究也指出，在施用有机物料发酵液后，土壤中真菌数量迅速增加，连作土壤中施入有机物料后微生物数量发生较大变化，但是否能从根本上改善连作土壤中微生物群落结构变化，使连作土壤中有益微生物增多，有害微生物减少还需要进一步探究。

4 结论

适宜浓度的有机物料发酵液可通过提高连作土壤中主要酶活性，大量增加土壤细菌、放线菌数量等减轻苹果连作障碍现象，其中，以施入连作土重量3%的有机物料发酵液效果最好。

参 考 文 献：

[1] Narwal S S. Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture[J]. Allelopathy J., 2010, 25(1): 51-72.

[2] Laurent A S, Merwin I A, Thies J E. Long-term orchard groundcover management systems affect soil microbial communities and apple replant disease severity[J]. Plant Soil, 2008, 304(1/2): 209-225.

[3] Mai W F, Abawi G S. Controlling replant disease of poem and stone fruits in northeastern United States by preplant fumigation [J]. Plant Dis., 1981, 65: 859-864.

[4] Couey R P, Benson N R, Haglund W A. Effect of soil fumigation on apple replant disease in Washington [J]. Phytopathology, 1979, 69: 684-686.

[5] Traquair J A. Etiology and control of orchard replant problem: a review[J]. Can. J. Plant Pathol., 2002, 6: 55-62.

[6] Wilson S, Andrews P, Nair T S. Non-fumigant management of apple replant disease[J]. Sci. Hortic., 2004, 102(2): 221-231.

[7] 张江红. 酚类物质对苹果的化感作用及重茬障碍影响机理的研究[D]. 山东：山东农业大学博士学位论文，2005.
Zhang J H. Allelopathic effect of phenolics and its role on apple replant disease mechanism[D]. Shandong: PhD dissertation in Shandong Agricultural University, 2005.

[8] 郭修武，张立恒，李坤，等. 施入有机物料对葡萄连作土壤速效养分及微生物的影响[J]. 中国农学通报，2009，25(19)：147-151.
Guo X W, Zhang L H, Li K *et al*. Effect of organic materials on available nutrients and microbial numbers of grape replant soil [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2009, 25(19): 147-151.

[9] 喻景权，杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题[J]. 沈阳农业大学学报，2000，31(1)：124-126.
Yu J Q, Du Y S. Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables[J]. J. Shenyang Agric. Univ., 2000, 31(1): 124-126.

[10] 毛志泉，张继祥，胡艳丽，等. 有机物料对平邑甜茶根系^{32}P吸收动力学参数的影响[J]. 中国农业科学，2005，38(11)：2365-2371.
Mao Z Q, Zhang J X, Hu Y L *et al*. The effects of organic materials on absorption dynamic parameter of^{32} P of M. hupehensis Rehd. Root system[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(11): 2365-2371.

[11] Allan D, Katovich E, Nelson C. Fertilizer value and weed seed destruction potential of digested manure[R]. Raleigh, North Carolina: Anaerobic digester technology applications in animal agriculture: A national summit, 2003, June 2-4.

[12] Zhang Z B, Chen Q, Yin C M *et al*. The effects of organic matter on the physiological features of *Malus hupehensis* seedlings and soil properties under replant conditions[J]. Sci. Hortic., 2012, 146: 52-58.

[13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京：农业出版社，1986，274-340.
Guan S Y. Soil enzymes and their research[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986, 274-340.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京：中国农业出版社，2000，33-105.
Bao S D. Soil chemical analysis(Third edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000, 33-105.

[15] 程丽娟，薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 西安：世界图书出版公司，2000.
Chen L J, Xuan Q H. Microbiology Laboratory Technology[M]. Xian: World Publishing Corporation, 2000.

[16] Qin W, Egolfopoulos F N. Fundamental and environmental aspects of land fill gas utilization for power generation[J]. Chem. Eng. J., 2001, 82(2): 157-172.

[17] 吕卫光，张春兰，袁飞，等. 有机肥减轻连作对黄瓜自毒作用的机制[J]. 上海农业学报，2002，18(2)：52-56.
Lü W G, Zhang C L, Yuan F *et al*. Mechanism of organic manure relieving the autotoxicity to continuous cropping cucumber [J]. Acta Agric. Shanghai, 2002, 18(2): 52-56.

[18] 管涛，冯伟，王化岑，等. 追施沼液对冬小麦根际土壤生物活性的影响[J]. 麦类作物学报，2010，30(4)：721-726.
Guan T, Feng W, Wang H C *et al*. Effect of Topdressing Amount of Biogas Slurry on Soil Microorganisms and Enzyme Activities in Winter Wheat[J]. J. Triticeae Crops, 2010, 30(4): 721-726.

[19] 王慧霞，张坐省. 沼液中的化学物质及在农业生产上的应用[J]. 陕西农业科学，2006，(3)：89-91.
Wang H X, Zhang Z S. Chemicals and utilizing in agricultural production of biogas fluid[J]. Shaanxi J. Agric. Sci., 2006, (3): 89-91.

[20] 郭强，柴晓利，程海静，等. 沼液的综合利用[J]. 再生资源研究，2005，(6)：37-41.
Guo Q, Chai X L, Cheng H J *et al*. Comprehensive utilizing of biogas fluid residue[J]. Recycl. Res., 2005, (6): 37-41.

[21] 陈顺友. 追施不同浓度发酵液对辣椒产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(3) : 53-54.
Chen S Y. Effect of applying methane pit fluid for top dressing on yield of hot pepper[J]. Guizhou Agric. Sci., 2005, 33(3): 53-54.

[22] 王远远, 刘荣厚. 沼液综合利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1089-1091.
Wang Y Y, Liu R H. Progress of comprehensive utilization of biogas slurry[J]. J. Anhui Agric. Sci., 2007, 35(4): 1089-1091.

[23] 孙海兵, 胡艳丽, 陈学森, 等. 发酵时间对有机物料发酵液成分含量变化及对连作苹果生物量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, (06): 1466-1474.
Sun H B, Hu Y L, Chen X S *et al*. Effects of fermentation time on contents of organic matter fermentation fluid ingredients and apple biomass[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, (06): 1466-1474.

[24] 周智彬, 徐新文. 塔里木沙漠公路防护林土壤酶分布特征及其与有机质的关系[J]. 水土保持学报, 2004, 15(5): 10-15.
Zhou Z B, Xu X W. Distribution characteristics of soil enzymes of talimu desert highway shelter-forest and their relations with soil organic matter[J]. J. Soil Water Conserv., 2004, 15(5): 10-15.

[25] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 554-558.
Wu F Z, Meng L J, Wang X Z. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under Shed Protection[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(4): 554-558.

[26] 杨凤娟, 吴焕涛, 魏珉, 等. 轮作与休闲对日光温室黄瓜连作土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2983-2988.
Yang F J, Wu H T, Wei M *et al*. Effects of rotation and fallowing on the microbial communities and enzyme activities in a solar greenhouse soil under continuous cucumber cropping[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2009, 20(12): 2983-2988.

[27] 肖宏, 于明革. 不同连作苹果园土壤酶活性及微生物状况的调查研究[J]. 山西果树, 2006, 112(4): 5-6.
Xiao H, Yu M G. Investigation of soil enzymatic activity and soil microorganism in different replant apple orchards[J]. Shanxi Fruits, 2006, 112(4): 5-6.

[28] 张无敌, 尹芳, 徐锐, 等. 沼液对土壤生物学性质的影响[J]. 湖北农业大学, 2009, 48(10): 2403-2407.
Zhang W D, Yin F, Xu R *et al*. Effect of biogas fluid on biological properties of soil[J]. Hubei Agric. Sci., 2009, 48(10): 2403-2407.

[29] 郭双连, 张无敌, 谢建, 等. 沼液作为猪饲料添加剂的研究与应用[J]. 云南农业科技, 2003, (4): 14-16.
Guo S L, Zhang W D, Xie J *et al*. The application of biogas fluid as pigfeed additive[J]. Yunnan Agric. Sci. Tech., 2003, (4): 14-16.

[30] Schoor L, Denman S, Cook NC. Characterisation of apple replant disease under South African conditions and potential biological management strategies[J]. Sci. Hortic., 2009, 119(2): 153-162.

[31] Mazzola M, Mullinix K. Comparative field efficacy of management strategies containing *Brassicanapus* seed meal or green manure for the control of apple replant disease[J]. Plant Dis., 2005, 89(11): 1207-1213.

[32] Albiach R, Canet R, Pomanes F *et al*. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil[J]. Bio Resour. Technol., 2000, 75: 43-48.

[33] Marcote I, Hernández T, Garcíndez T *et al*. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activities of a soil under barley cultivation[J]. Bio Resour. Technol., 2001, 79: 147-154.

[34] de Caire G Z, de Cano M S, Palma R M *et al*. Changes in soil enzyme activities following additions of cyanobacteria biomass and exopolysaccharide[J]. Soil Biol. Biochem., 2000, 32: 1985-1987.

[35] 韦翔华, 李华兴, 冯宏, 等. 不同肥料对后茬土壤微生物及玉米生长的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 138-142.
Wei X H, Li H X, Feng H *et al*. Effect of post-harvest soil after applying different fertilizer on soil microorganism and maize growth[J]. J. Soil Water Conser., 2009, 23(2): 138-142.