

不同配比的木醋肥对香樟林土壤性状的影响^①

胡妍玢¹, 陈杰², 杨学军², 李辉信^{1*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 同济大学现代农业科技与工程研究院, 上海 200092)

摘要: 将不同配比的木醋肥施用于香樟林地中, 通过测定施肥后林地土壤微生物数量、酶活性、土壤部分化学性质以及植物黄化相关指标的变化情况, 旨在选择效果明显的配比应用于城市绿地绿化植物的养护中。试验结果表明, 6 种试验配方均能不同程度地改善香樟林土壤性状, 主要表现在: 微生物数量增加、酶活性提高、化学性质得到改良, 同时香樟黄化也得到有效控制。低浓度木醋液中加入低量有机肥, 对土壤微生物有一定的抑制作用, 并且化学性质和黄化改良效果不如其他处理明显; 从生产应用、使用价值等综合效果来看, 中低浓度木醋液中加入木炭粉(木醋液: 木炭粉比例为 1: 5(V: M))和中高量有机肥的处理改良效果最好。

关键词: 木醋肥; 土壤性状; 植物黄化

中图分类号: S147

城市化进程使得城市生态环境质量日益受到广泛关注^[1-2]。香樟是一种城市绿化建设中常见的树木, 对于美化环境、净化空气起到了很好的效用, 近年来已成为上海栽种面积最多的绿化树木之一。但由于在生长发育过程中遭受有害生物侵染或不良空气、土壤退化以及管理不善等影响, 黄化病发生程度有越来越重的趋势。

木醋肥是一种倍受关注的新型有机肥料, 能够改良土壤, 提高林木和蔬菜种子的发芽率, 提高植物机体免疫能力, 防治病虫害, 减少农药使用, 促进植物新陈代谢, 增强植物对营养的吸收, 提高产品品质, 可作为肥料添加剂以及用于堆肥除臭^[3]。木醋液应用在国内农业、林业、畜牧业甚至在食品行业中都有了大量应用, 而木醋肥作为一种新型混合型肥料虽在日本的应用比较广泛, 但在国内还处在起步阶段^[4]。本文主要研究不同配比的木醋肥对香樟林地土壤性状的改良效果和对香樟黄化的控制情况, 旨在为林地土壤活化和调控提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

研究地点位于上海市外环华夏公园的香樟林, 属公园绿地, 气候属亚热带湿润季风气候, 平均年降水量 1 289.4 mm, 香樟林树龄为 10 年, 郁闭度为 0.5。供试林地土壤 0 ~ 20 cm 土层, 体积质量 1.50 g/cm³,

pH 为 8.36, 有机质 5.30 g/kg, 全氮 1.30 g/kg, 全磷为 0.46 g/kg, 碱解氮为 86.58 mg/kg, 速效磷为 45.69 mg/kg, 速效钾为 170.60 mg/kg, EC 为 0.10 mS/cm, CEC 为 11.68 cmol/kg。

1.2 试验设置和采样

1.2.1 试验方案 试验用的有机肥为镇江市兴农土壤改良剂厂生产的复合有机肥(总氮磷钾含量 4 g/kg, 有机质 30 g/kg, 水分 30%, pH = 6 ~ 6.8)。木醋液原液和木炭粉由上海绿宜新能源科技有限公司提供。根据正交实验设计, 将不同稀释倍数的木醋液与木炭粉、复合有机肥料设计成木醋肥的 6 个处理, 每个处理 3 次重复(表 1), 以不施木醋肥作为对照, 各处理木醋肥的具体养分含量见表 2。

1.2.2 木醋肥的施用和采样方法 木醋肥于 2009 年 11 月 8 日施入土壤中, 当天温度 18 ~ 20。施肥时沿距离树干 50 cm 处绕树干挖一条宽 20 cm × 深 15 cm 的圆环状的沟, 并将配好的不同配比的木醋肥均匀地撒进沟内, 并立即用土复埋(以一棵树为单元施肥)。采样时间为 2009 年 1 月 10 日, 当天温度 2 ~ 5。取样点设置在以树干为中心 0 ~ 20 cm 土层 75 cm 处均匀取 5 个土样(重量=5 kg), 均匀混合, 利用四分法取 1/4, 过 2 mm 筛, 分成 2 份: 1 份土样保存在 4℃ 冰箱中用于分析微生物指标; 1 份在室温下风干, 研磨后用于其他土壤性状分析。

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题项目(2008BAJ10B05)资助。

* 通讯作者 (huixinli@njau.edu.cn)

作者简介: 胡妍玢(1986—), 女, 新疆库尔勒人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: hyb2010wvwy@sina.com

表 1 正交试验设计
Table 1 Orthogonal experimental design

处理	木醋液稀释倍数	木醋液加入量 (L/棵)	木炭粉用量 (kg/棵)	有机肥用量 (kg/棵)
M1B1F1	原液稀释 10 倍	0.6	3.0(1 : 5)	0.375
M1B2F2	原液稀释 10 倍	0.3	3.0(1 : 10)	0.75
M2B2F1	原液稀释 50 倍	0.3	3.0(1 : 10)	0.375
M2B1F3	原液稀释 50 倍	0.6	3.0(1 : 5)	1.5
M3B1F2	原液稀释 100 倍	0.6	3.0(1 : 5)	0.75
M3B3F1	原液稀释 100 倍	0.15	3.0(1 : 20)	0.375

注：M1、M2、M3 分别代表木醋液的浓度为高、中、低；B1、B2、B3 分别代表稀释后木醋液:木炭粉比例为 1 : 5、1 : 10、1 : 20；F1、F2、F3 分别代表复合有机肥加入量为低肥、中肥、高肥；括号中数据指木醋液：木炭粉(V : M)。

表 2 各处理木醋肥养分含量
Table 2 Nutrient contents of designed wood vinegar fertilizers

处理	全氮(g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾(g/kg)	有机质(g/kg)	总养分(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)(以干基计)(g/kg)
M1B1F1	2.19	1.45	0.55	33.47	4.19
M1B2F2	2.29	1.38	0.47	36.33	4.14
M2B2F1	5.42	1.89	0.36	35.39	7.67
M2B1F3	6.06	1.89	0.33	38.17	8.28
M3B1F2	5.86	1.93	0.43	37.81	8.22
M3B3F1	1.99	1.33	0.33	32.76	3.65

1.2.3 测定项目及分析方法 土壤微生物数量采用稀释涂布平板法^[5]测定,采用梯度稀释法制备土壤悬液,细菌、真菌和放线菌分别采用牛肉膏蛋白胨、马丁氏和高氏 2 号培养基进行培养,微生物数量以每克干土中的菌落数(cfu/g dry soil)表示。全氮量用开氏定氮法测定;全磷量用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮,钼蓝比色法测定;有机质用 K₂CrO₇-H₂SO₄ 消煮,FeSO₄ 容量法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用碳酸氢钠法测定;有效钾用中性 NH₄Ac 浸提,火焰光度计法测定;pH、EC 值采用土:水=1:5 浸提,pH 计和电导仪测定;CEC 采用乙酸法测定^[6]。碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定,酶活性表示:酚 mg/g 土(40 , 1 h);蔗糖酶采用二硝基水杨酸比色法测定,酶活性表示:葡萄糖 mg/g 土(37 , 1 h);蛋白酶采用茚三酮比色法测定,酶活性表示:甘氨酸

mg/g 土(30 , 1 h);脲酶采用苯酚-次氯酸比色法测定,酶活性表示:氮 mg/g 土(37 , 1 h)^[7-8]。

香樟黄化主要采用黄化病情指数计算法,病情指数=Σ(各级病株数×病级级数)/(调查总株数×最高级数),防治效果=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数。

1.2.4 数据统计分析 用 SPSS 16.0 统计软件进行方差分析,所测指标均重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 木醋肥对香樟林土壤微生物数量的影响

土壤细菌、真菌和放线菌是土壤微生物的主要组成成分,在土壤占有极其重要的地位,是土壤中各种生物化学过程的主要调节者^[9-10]。从木醋肥对土壤三大类微生物类群数量的影响可以看出(表 3),与对

表 3 木醋肥对土壤微生物数量变化的影响
Table 3 Effects of wooden vinegar fertilizer on soil microbial colony counts

处理	细菌(×10 ⁵ cfu/g)	真菌(×10 ³ cfu/g)	放线菌(×10 ⁴ cfu/g)	细菌/真菌
CK	8.87 d	1.20 d	8.93 d	740 c
M1B1F1	8.74 d	1.18 d	8.24 d	739 c
M1B2F2	10.12 c	1.29 c	10.18 c	784 c
M2B2F1	10.18 c	1.36 bc	12.98 a	750 c
M2B1F3	16.55 a	1.48 a	11.59 b	1118 a
M3B1F2	13.58 b	1.4 ab	10.22 c	972 b
M3B3F1	10.18 c	1.32 bc	9.85 c	771 c

注:同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 P < 0.05 显著水平,下同。

照相比,除 M1B1F1 以外,各处理土壤的细菌、真菌和放线菌均显著提高,差异均达显著水平。这说明木醋肥中的有机质、矿质养分以及木醋液为微生物生长提供了养分,改变了土壤的理化环境,有利于原有土壤微生物的生长。

就细菌数量而言,M1B1F1 处理降低了 7.9%,其他处理均有增加,以 M2B1F3 处理最大,其次为 M3B1F2 处理,较对照分别增加了 86.6% 和 53.1%。真菌数量以处理 M2B1F3 最大,增幅为 23.4%,其次为 M3B1F2,增幅为 16.8%,但是 M1B1F1 处理真菌数量较对照降低了 1.7%。M2B2F1 和 M2B1F3 处理放线菌数量较对照增幅较高,分别为 45.4% 和 29.8%。细菌/真菌反映了土壤细菌、真菌数量的相对比率,与对照相比,M2B1F3 处理增值最大,其次是 M3B1F2 处理,差异均达显著水平,增值分别为 51.1%、31.4%,但是 M1B1F1 处理与对照相比呈现减小趋势,与对照无显著性差异。这说明各处理细菌/真菌值的变化主要是由于木醋肥对细菌数量影响较大,而真菌变化绝对值并不大,所以细菌数量的变化直接决定了细菌/真菌值的大小。

总体而言,6 种处理中,M1B1F1 处理细菌、真菌、放线菌都受到抑制,原因可能是由于含高浓度木醋液的木醋肥,会抑制微生物数量,从而不利于植物生长,而 M1B2F2 处理虽然含高浓度木醋液,但是加入量少且有机肥含量较高,所以并没有对土壤微生物起到抑制效果,这是在生产实践中必须加以注意的。从表 3 可以看出,M2B2F1、M3B1F2 两个处理与 CK 相比,三大菌数量均有明显增加,这说明高、中有机肥中加入中、低浓度木醋液对微生物的影响最显著。

2.2 木醋肥对香樟林土壤化学性质的影响

2.2.1 木醋肥对香樟林土壤氮、磷、钾养分和有机质

含量的影响 施肥后香樟林土壤各项化学指标见表 4。与对照相比,碱解氮增幅为 8.6%~49.2%,其中以 M2B1F3 和 M3B1F2 增幅最大,分别为 49.2% 和 39.9%;全氮增幅为 12.7%~76.8%,M2B1F3 处理效果最好,增值为 76.8%,M1B2F2 处理增值达到 66.0%。不同处理方式均增加了土壤全磷和速效磷的含量,各个处理的全磷含量较对照增幅分别为 28.3%、47.8%、45.7%、117.4%、84.8%、47.8%,差异均达显著水平;对于速效磷而言,各个处理均有提高,其中 M2B1F3 和 M3B1F2 处理较对照分别增加了 48.7%和 42.1%;速效钾增幅为 5.8%~32.9%,其中 M3B1F2 处理增值最大,差异并不显著。施入木醋肥后土壤有机质含量均有提高,其中 M2B1F3 和 M3B1F2 处理较对照提高最明显,增值分别达到 78.7% 和 59.6%,差异均达显著水平。

上述结果表明,木醋肥的 6 种处理均能不同程度地提高土壤中的有机质和速效养分的含量,对于保持土壤养分基本平衡、提高养分有效性有显著的作用。速效养分含量的增加,部分原因可能是木醋肥的加入降低了土壤对养分的固定,增加了有效养分的转化,也可能是木醋液中的有机酸类物质促进土壤有机养料的分解转化,进而改善土壤速效养分的供应水平^[11]。综合来看,各处理中以 M2B1F3、M3B1F2 处理效果最好,由此可以看出木醋肥对土壤的改良效果可能与木醋液的浓度或者有机肥加入量有关,也可能是几种物质共同作用的结果。

2.2.2 施肥后香樟林土壤 CEC、EC 和 pH 的变化

试验结果发现,与对照相比,各处理均显著提高了土壤 CEC,其中 M2B1F3 处理增幅为 119.0%,其次是 M3B1F2 处理增幅为 101.7%。CEC 变化显著,这说明木醋肥中各物质的混合施用增加了土壤保肥能力和缓冲性能,增加了土壤的可变负电荷数量^[12]。

表 4 木醋肥对土壤化学性质的影响
Table 4 Effects of wooden vinegar fertilizer on chemical properties of soil

处理	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	电导率 (mS/cm)	pH
CK	1.30 f	0.46 e	5.30 g	86.58 d	45.69 d	170.60 b	11.68 e	0.20 a	8.36 a
M1B1F1	1.46 ef	0.59 d	5.75 f	93.98 cd	51.47 c	193.91 ab	14.95 d	0.20 a	8.21 c
M1B2F2	2.15ab	0.68 c	7.54 c	104.38 bc	56.79 b	201.78 ab	17.33 c	0.15 b	8.28 b
M2B2F1	1.8 cd	0.67 c	6.82 d	96.64 bcd	55.65 bc	180.48 b	16.82 cd	0.16 b	8.24 c
M2B1F3	2.29 a	1.00 a	9.47 a	129.13 a	67.94 a	206.7 ab	25.58 a	0.13 b	8.11 d
M3B1F2	1.97bc	0.85 b	8.46 b	121.11 a	64.91 a	226.7 a	21.85 b	0.11 c	8.14 d
M3B3F1	1.65de	0.68 c	6.21 e	105.72 b	52.74 bc	191.62 ab	15.78 cd	0.16 b	8.22 c

施入木醋肥的土壤 EC 值均低于对照,各处理降低了 1.5%~50.0%,差异均达显著水平,说明土壤进一步腐熟时,土壤微生物可能吸取土壤溶液中的氮素,并暂时加以固定,从而降低了土壤溶液的盐分浓度和渗透压,缓解土壤盐害^[13],使得 EC 降低。各处理均显著降低了香樟土壤的 pH,其中 M2B1F3、M3B1F2 两个处理效果最好,分别降低了 0.25 和 0.22,说明碱性的木醋肥施用能防止土壤盐碱化。有研究表明 CEC 受黏粒含量、有机质含量以及 pH 状况等因素影响,土壤 pH 降低,会改变根表的电荷性质,从而影响根系对养分的吸收^[14]。从表 4 可以看出,pH 降低的同时 CEC 增加,这与其他研究结果相同。

2.3 木醋肥对香樟林土壤酶活性的影响

土壤中的磷酸酶有酸性、中性和碱性之分,在不同酸碱性土壤中 3 种磷酸酶的比例是不同的,本试验地的土壤为碱性,因而只对碱性磷酸酶活性做了测定。试验结果由图 1 可知,各处理均能促进香樟土壤磷酸酶的提高,其中 M2B1F3、M3B1F2 处理磷酸酶的活性显著高于对照,增幅都达到了 81.5%。蔗糖酶活性和蛋白酶活性的变化特征表现出一定的相似性,M2B1F3 和 M3B1F2 两个处理酶活性相对高于其余 4 个处理,其中 M3B1F2 处理蔗糖酶活性较对照增长幅度最高,增幅为 56.9%;M2B1F3 处理蛋白酶活性

增幅最大,增长了 61.6%;M1B1F1 处理蔗糖酶活性和蛋白酶活性较对照增幅最小,分别增长了 4.6%和 9.8%。所有处理脲酶活性均显著高于对照,其中以 M2B1F3 和 M3B1F2 处理效果最好。

综合各处理对酶活性的影响效果来看,木醋肥各处理均能增加土壤中磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶的活性,但是不同处理存在明显差异,总体表现为 M2B1F3 和 M3B1F2 处理效果最优。其原因可能是木醋肥一方面能显著提高各类微生物的数量,为微生物提供了新的能源;另一方面木醋肥中本身也带有大量活的微生物,而土壤酶主要来自微生物与植物根系的分泌作用。

2.4 施用木醋肥后香樟林土壤酶活性和养分的相关关系

大量研究表明,森林土壤酶活性与土壤肥力因素有良好的相关性^[15-17]。经过对香樟林土壤酶活性和土壤主要肥力性状指标进行相关分析,结果表明(表 5),土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶与土壤全氮、碱解氮、速效磷和有机质、pH 均呈极显著正相关性($P < 0.01$),与速效钾呈显著正相关性($P < 0.05$)。这说明磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶对全氮、有机质、碱解氮、速效磷转化的关系最密切,可以用它们的活性值表征土壤肥力的高低。

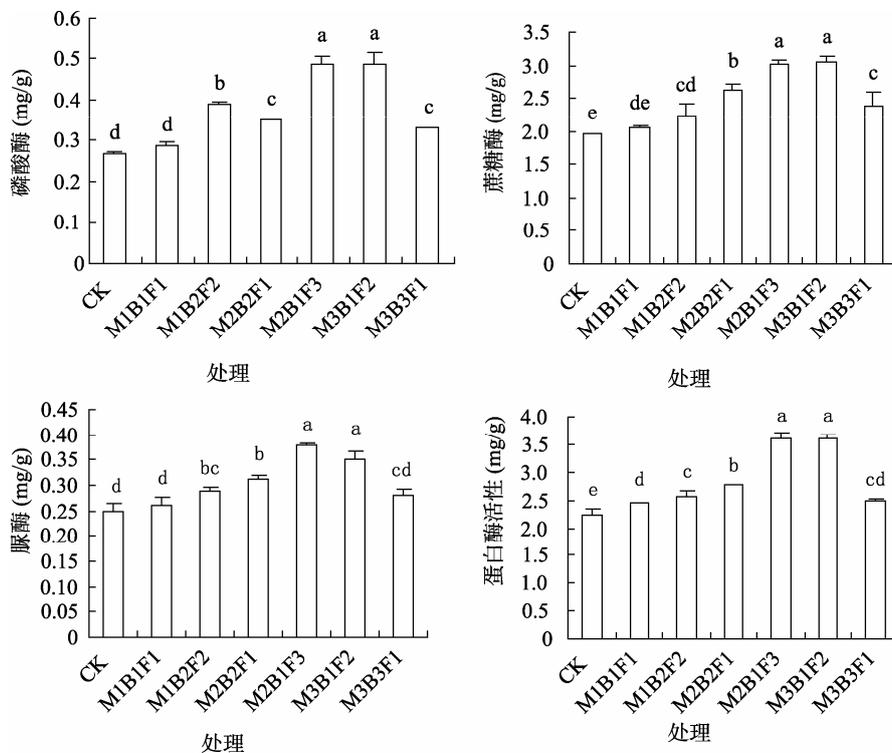


图 1 木醋肥对土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effects of wooden vinegar fertilizer on soil enzyme activities

表 5 土壤酶活性与土壤肥力的相关性
Table 5 Correlation between soil enzyme activities and fertility factors

项目	全氮 (g/kg)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
磷酸酶	0.822**	0.951**	0.909**	0.945**	0.541*	-0.769**
蔗糖酶	0.66**	0.834**	0.834**	0.902**	0.44*	-0.815**
脲酶	0.784**	0.919**	0.878**	0.917**	0.38	-0.764**
蛋白酶	0.709**	0.908**	0.876**	0.917**	0.5*	-0.83**

注: ** 表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平, * 表示相关性达到 $P<0.05$ 显著水平, 下同。

土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶活性与 pH 呈显著负相关性($P<0.01$), 这可能是由于土壤 pH 的碱性降低使得土壤周围环境得到改善, 酶活性提高。有机质与 4 种酶呈极显著正相关关系($P<0.01$), 说明土壤有机质不但是其他养分的重要来源和储藏场所, 同时也是土壤酶的来源和储藏基地。磷酸酶与土壤速效磷呈极显著相关, 相关系数达 0.945($P<0.01$), 表明磷酸酶活性的高低直接影响到林地土壤磷素的含量。此外, 磷酸酶与碱解氮、有机质和全氮呈极显著相关, 与速效钾呈显著相关。

2.5 施用木醋肥后香樟林土壤酶活性和土壤微生物数量相关关系

研究表明土壤酶绝大多数来自微生物, 因此土壤微生物数量与酶活性应有较好的相关关系^[18]。对施用木醋肥后香樟林地土壤微生物数量与酶活性进行典型相关分析, 由表 6 可知, 细菌与磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性呈极显著正相关性($P<0.01$), 其中与蛋白酶活性相关系数最大, 为 0.922($P<0.01$), 说明细菌与磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性的关系比较密切; 真菌与磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性呈极显著正相关性($P<0.01$), 相关系数分别为 0.841、0.841、0.881 和 0.819; 放线菌与磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性呈显著正相关性($P<0.05$), 其中与蔗糖酶活性相关性系数最大, 其次是脲酶活性, 相关系数分别为 0.581 和 0.553; 细菌/真菌与磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性呈极显著正相关性($P<0.01$), 相关系数分别为 0.864、0.796、0.848、0.890。这说明土壤微生物代谢作用释放分泌的酶类与土壤微生物数量密切相关, 土壤微生物数量增加时, 土壤

酶活性增强, 有助于提高土壤有效肥力^[19-21]。

表 6 土壤微生物数量与酶活性的相关系数
Table 6 Correlation coefficients between soil enzyme activities and soil microbial colony counts

项目	细菌	真菌	放线菌	细菌/真菌
磷酸酶	0.907**	0.841**	0.446*	0.864**
蔗糖酶	0.855**	0.841**	0.581*	0.796**
脲酶	0.913**	0.881**	0.553*	0.848**
蛋白酶	0.922**	0.819**	0.440*	0.890**

2.6 木醋肥对香樟黄化的影响

香樟的黄化主要是由于病虫害或根际土壤 pH 过高造成的^[22]。在自然状态下, 上海外环地区的土壤 pH 在 8.0 以上, 但由于城市土壤遭受碱性的建筑或其他垃圾的污染, 多数樟树生长地段的 pH 均在 8.1 ~ 8.9, 呈显著的碱性反应。在这样的土壤环境下, 土壤中的铁元素被固定而不能正常地被植物吸收利用, 使植物叶片处于缺铁状态而呈现黄化症状。由表 4 中 pH 的变化以及表 7 香樟黄化的防治效果可以看出, 土壤 pH 降低使得香樟黄化得到有效修复, 其中防治效果最好的是 M2B2F1 和 M2B1F3 处理。

母军等^[23]在木醋液对果类蔬菜生长调节效果研究中表明不同稀释倍数的木醋液对作物的生长有促进作用也有抑制作用, 由表 7 可以看出 6 种处理中 M2B1F3 处理对香樟黄化的防治效果最好, M1B1F1 和 M3B3F1 两个处理基本没有防治效果, 这说明黄化的改良效果跟木醋液的稀释倍数有关, 中浓度木醋液的处理效果比高浓度木醋液和低浓度木醋液的处理效果明显, 这主要是由于高浓度木醋液施入土壤中杀死土壤中的有害物质的同时对有益微生物也起到

表 7 施肥前后香樟黄化指标变化
Table 7 Etiolation index changes of Camphor trees

黄化情况	CK	M1B1F1	M1B2F2	M2B2F1	M2B1F3	M3B1F2	M3B3F1
病情指数	施肥前	0.83	0.67	1	1	0.67	0.83
	施肥后	0.83	0.67	0.83	0.67	0.33	0.67
防治效果	0	0	0.17	0.33	0.51	0.19	0

了抑制作用,木醋液浓度过低时对有害物质又起不到很好的抑制作用,这在木醋肥应用于林业发展中需要特别注意。

3 结论

(1) 由不同稀释倍数木醋液、木炭粉、复合有机肥按照不同比例组成的木醋肥能够改善林地土壤性状,全氮、有机质和速效养分含量显著增加,微生物三大菌数量增加,促进酶活性,并降低土壤 pH,有效改良了香樟黄化。

(2) 6 种不同配比的处理方式中有两种处理效果最突出,一种是由稀释 50 倍的木醋液 0.6 L、3 kg 木炭粉以及 1.5 kg/穴复合有机肥组成,另一种是由稀释 100 倍的木醋液 0.6 L、3 kg 木炭粉以及 0.75 kg/穴复合有机肥组成,从经济效用出发,后者更适合运用于生产实践中。

(3) 含高浓度木醋液的木醋肥对土壤微生物数量会起到一定的抑制作用,这在以后的生产实践中需要特别注意。

参考文献:

- [1] De Kimple CR, Jean-Louis M. Urban soil management: A growing concern[J]. *Soil Science*, 2000, 65(1): 31-40
- [2] 张甘霖, 龚子同. 城市土壤与环境保护[J]. *科学新闻周刊*, 2000(37): 7
- [3] 潘永亮, 杜金芳, 孙鑫河. 木醋液在农业生产上的应用与发展[J]. *现代化农业*, 1999(2): 8-9
- [4] 郭亚芬, 张忠学, 栾非时. 炭醋肥对蔬菜产量与品质的影响[J]. *北方园艺*, 1999(5): 1-2
- [5] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [7] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988
- [8] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1983
- [9] 柳云龙, 吕军, 王人潮. 低丘红壤复垦后土壤微生物研究[J]. *水土保持学报*, 2010, 15(20): 64-67
- [10] 白青云. 土壤微生物群落结构的化学估价方法[J]. *农业环境保护*, 1997, 16(6): 252-256
- [11] 庞荣丽, 介晓磊, 方金豹, 谭金芳, 李有田. 有机酸对石灰性潮土有机磷组分的影响[J]. *土壤*, 2008, 40(4): 566-570
- [12] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001
- [13] Tamm CO. Nitrogen in Terrestrial Ecosystems: Questions of Productivity, Vegetational Changes, and Ecosystem Stability[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1991
- [14] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005
- [15] 关松荫, 沈桂琴, 孟昭鹏, 姚造华, 闵九康. 我国主要土壤剖面酶活性状况[J]. *土壤学报*, 1984, 21(4): 368-381
- [16] 黄世伟. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. *土壤通报*, 1981(4): 37-39
- [17] Perucci P, Scarponi L, Businelli M. Enzyme activities in clay-loam soil amended with various crop residues[J]. *Plant and Soil*, 1984, 81(3): 345-351
- [18] 徐秋芳, 姜培坤. 有机肥对毛竹林间及根区土壤生物化学性质的影响[J]. *浙江林学院学报*, 2000, 17(4): 364-368
- [19] 龙健, 黄昌勇, 滕应, 姚槐应. 重金属污染矿区复垦土壤微生物生物量及酶活性的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2004, 12(3): 146-148
- [20] 王海英, 宫渊波, 陈林武. 嘉陵江上游不同植被恢复模式土壤微生物及土壤酶活性的研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(3): 172-177
- [21] 王艳超, 李玉灵, 王辉, 郭江, 王颖, 张丽丽, 袁玉欣. 不同植被恢复模式对铁尾矿微生物和酶活性的影响[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(10): 1 826-1 829
- [22] 陈超燕. 樟树黄化病发生原因及其致病机理研究(硕士学位论文)[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2005
- [23] 母军, 于志明, 李黎, 吴文强, 周文瑞. 木酢液对果类蔬菜生长调节效果研究[J]. *现代农业科技*, 2008(16): 14-15

Effects of Different Ratio of Wood Vinegar Fertilizer on Camphor Forest Soil

HU Yan-bin¹, CHEN Jie², YANG Xue-jun², LI Hui-xin^{1*}

(1 *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*

2 *College of Modern Agricultural Technology and Engineering Research, Tongji University, Shanghai 200092, China)*

Abstract: By using different ratios of wood vinegar fertilizer in camphor forest, the changes of relevant indexes of soil microbial number, chemical properties, soil enzyme activity and chlorosis index was studied. The results showed that all the six different ratios of wood vinegar fertilizer could improve chemical properties of soil, increase soil microbial quantity, enhance soil enzyme activity and control etiolation of camphora trees. Compared with contrast, the ratio with low concentration of wood vinegar and low organic fertilizer treatment was not as good as other treatments in inhibiting soil microorganism, improving chemical properties and controlling etiolation. Based on an overall consideration of various factors, the ratios with middle or low concentration of wood vinegar added charcoal powder (wood vinegar: charcoal powder ratio = 1 : 5 (V / M) and middle or high organic fertilizer were better in use of urban afforesting and greening.

Key words: Wood vinegar fertilizer, Soil properties, Chlorosis of camphor tree