

网络出版时间:2017-05-10 13:37

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.06.011

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170510.1337.022.html

# 灌施木醋液对土壤团聚体和侧柏生长的影响

王 富,康永祥,侯姣姣,王 梦,刘欣蕊

(西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探究木醋液对土壤团聚体和侧柏生长的影响,为木醋液在黄帝陵古柏群保护区的推广应用提供理论依据。【方法】以木醋液为研究材料,采用土壤培养和盆栽试验相结合的方法,对灌施不同稀释倍数(0:1, 1:0, 1:1, 1:5, 1:10, 1:25, 1:50, 1:100, 1:500, 即木醋液与水的体积比)木醋液后土壤有机质含量、土壤团聚体分布、团聚体分散度、不稳定团聚体指数和侧柏生长指标(苗高、生物量)进行测定。【结果】灌施一定量的木醋液,能降低土壤 pH 值,提高土壤有机质含量;稀释倍数小于 10 倍时,灌施木醋液有利于增加  $>0.25$  mm 土壤团聚体质量分数,降低土壤团聚体分散度和不稳定指数;稀释倍数大于 10 倍时,对  $>0.25$  mm 土壤团聚体质量分数、土壤团聚体分散度和不稳定指数的影响不显著。在盆栽试验中,施用稀释 25 倍以下木醋液对侧柏产生毒害作用,稀释倍数在 25~500 倍时可促进侧柏生长,其中稀释倍数为 50 倍时侧柏苗高和生物量达到最大。【结论】灌施木醋液对土壤团聚体和侧柏生长均有影响。

【关键词】 木醋液;有机质;土壤团聚体;侧柏

【中图分类号】 S158.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)06-0075-08

## Effect of wood vinegar on soil aggregates and growth of *Platycladus orientalis*

WANG Fu, KANG Yongxiang, HOU Jiaojiao, WANG Meng, LIU Xinrui

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** 【Objective】 The influence of wood vinegar on soil aggregates and *Platycladus orientalis* growth was investigated to provide theoretical basis for application of wood vinegar in the Yellow Emperor Mausoleum. 【Method】 Using soil incubation and pot experiment methods, content of soil organic matter, distribution, dispersion, and instability index of soil aggregates, and growth indexes of *Platycladus orientalis* were measured after irrigation of wood vinegar with different dilution times (0:1, 1:0, 1:1, 1:5, 1:10, 1:25, 1:50, 1:100, and 1:500, volume ratio of wood vinegar and water). 【Result】 Application of wood vinegar reduced soil pH and increased soil organic matter. When the dilution ratio was less than 10, wood vinegar increased the content of  $>0.25$  mm soil aggregates, while reduced dispersion and instability index of soil aggregates. When dilution ratio was larger than 10, the effect on content of  $>0.25$  mm soil aggregates, dispersion and instability index was not significant. In biological experiments, wood vinegar diluted by less than 25 times had toxic effects, while those diluted by 25—500 times promoted the growth of *P. orientalis* with the maximum seedling height and biomass at 50 times. 【Conclusion】 Wood vinegar had influence on soil aggregates and growth of *P. orientalis*.

【收稿日期】 2016-03-25

【基金项目】 国家林业公益性行业科研专项(201404302);西北农林科技大学校重点科研专项(Z109021310)

【作者简介】 王 富(1988—),男,甘肃靖远人,硕士,主要从事古树名木保护相关研究。E-mail:jinganyuzhou@163.com

【通信作者】 康永祥(1963—),男,陕西乾县人,教授,博士生导师,主要从事树木学及古树名木保护技术研究。

E-mail:yxkang@nwsuaf.edu.cn

**Key words:** wood vinegar; organic matter; soil aggregates; *Platycladus orientalis*

木醋液是指将木材及木材碳化或干馏过程中经冷凝回收分离后获得的有机混合物<sup>[1]</sup>。木醋液的主要成分是水,其次是有机酸、酚类、醇类和酮类等物质<sup>[2]</sup>,具有消毒、防腐、促生长<sup>[3]</sup>、防病虫害<sup>[4]</sup>、除臭和减少农药用量等作用<sup>[5-7]</sup>。20 世纪 40 年代,木醋液在美国、日本和韩国等国家最先得到重视,我国对于木醋液的研究起步较晚,主要研究领域为成分分析、精制提纯与农业应用<sup>[8]</sup>,但对土壤的改良报道相对较少<sup>[9-10]</sup>。张亚兰等<sup>[9]</sup>研究表明,适宜的木醋液可以脱去土壤中的盐分并降低 pH;胡妍玢等<sup>[11]</sup>研究表明,木醋肥能使土壤微生物数量增加、酶活性提高、化学性质得到改良;申健等<sup>[12]</sup>研究表明,木醋及松针满足越橘对土壤酸性和高有机质含量的特殊需求,改良了栽培土壤;李忠徽等<sup>[10]</sup>研究表明,灌施木醋液(稀释倍数小于 5 倍)能够显著提高土壤有机碳的含量,可增加 $\geq 2$  mm 和 0.25~2 mm 级别土壤团聚体的数量,有利于大团聚体的形成。但以上研究主要集中在农作物和蔬菜上,有关灌施木醋液对土壤酸碱性、盐分溶解性以及其中的有机化合物对土壤结构等影响的研究较少。

黄帝陵又称“桥陵”,现存古侧柏 8 万余株,其中树龄千年以上的达 3 万余株,是我国现存古柏数量最多、保存最为完整且最古老的古柏林,具有极高的历史价值和科学研究价值<sup>[13]</sup>,但由于旅游业的发展,人为因素对古侧柏立地环境的影响逐渐严重,导致园区许多地方土壤板结,加之人为清除侧柏生长环境下的枯枝落叶,土壤养分得不到补充,导致土壤立地环境越来越差。木醋液作为一种天然绿色的新型改良剂,由植物分解所得,易降解,土体容易接受,具有极大的发展潜力,因此,施用木醋液可能是改良土壤的有效途径。为此,本试验研究了灌施不同浓度木醋液对土壤有机质以及土壤结构的影响,并通过试验研究了不同浓度木醋液对侧柏幼苗生长的影响,以期在木醋液在黄帝陵土壤中的合理使用提供技术支撑,这对黄帝陵土壤的改良也具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为黄帝陵古柏群保护区的褐土,黄帝陵古柏群保护区位于陕西省黄陵县西北的桥山,地理位置东经 109°15′,北纬 35°34′,海拔高度 800 m 左右。该土壤常年生长侧柏,pH 为 8.2,土壤 EC

值为 0.72 mS/cm,有机质含量 6.19 g/kg,全氮 1.72 g/kg,全磷 1.38 g/kg,全钾 25.61 g/kg,碱解氮 89.5 mg/kg,速效磷 3.2 mg/kg,速效钾 168.3 mg/kg。

供试木醋液由陕西亿鑫生物能源科技开发有限公司提供,以苹果枝为原料,采用干馏法收集苹果枝木醋液,干馏温度为 310~550 ℃。木醋液的基本性质为棕黄色,pH 3.1,EC 3.37 mS/cm,有机碳含量 33.59 g/L,在有机化合物中各成分的相对含量为酚类 34.66%、有机酸 28.37%、酮类 12.49%、呋喃类 6.93%。

供试苗木为 1 年生长势良好、大小均匀的实生侧柏苗,平均苗高 29.4 cm,平均地径 1.01 cm。

1.2 试验设计

1.2.1 土壤培养试验及土样采集 采用土壤培养试验,每盆装土 2 kg,每次浇灌不同稀释倍数木醋液溶液 400 mL,共 9 个处理,3 次重复,每次待土壤干燥后进行下一次浇灌,连续灌施 3 次,试验木醋液与水的配比处理见表 1。

表 1 土壤和侧柏盆栽试验中所用的木醋液配比

Table 1 Wood vinegar dilution treatments for *Platycladus orientalis*

| 处理编号<br>Treatment | V(木醋液):V(水)<br>V(Wood vinegar):<br>V(Water) | 处理编号<br>Treatment | V(木醋液):V(水)<br>V(Wood vinegar):<br>V(Water) |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|
| CK                | 0:1                                         | T5                | 1:25                                        |
| T1                | 1:0                                         | T6                | 1:50                                        |
| T2                | 1:1                                         | T7                | 1:100                                       |
| T3                | 1:5                                         | T8                | 1:500                                       |
| T4                | 1:10                                        |                   |                                             |

采集试验盆中的全部土壤,每处理 3 次重复,原状土样达到土壤塑限后沿土壤结构的自然剖面将土块掰成直径约 1 cm 的小团块,自然风干后剔除有机残体和石块,分别过孔径 5,2,1,0.5,0.25 mm 筛,将土样分为 $>5$  mm, $>2\sim\leq 5$  mm, $>1\sim\leq 2$  mm, $>0.5\sim\leq 1$  mm, $>0.25\sim\leq 0.5$  mm, $<0.25$  mm 6 个级别,然后按照 6 个土样级别在原状土中所占的比例分别取土样 200 g,用于测定土壤各径级机械稳定性和水稳定性团聚体的质量分数;混合土样自然风干后剔除有机残体和石块,磨细后过孔径 1 mm 筛,用于土壤有机质和 pH 测定。

1.2.2 侧柏盆栽试验 试验于 2015 年 3—9 月在西北农林科技大学试验基地进行。采用盆栽,盆规格为上口直径 16 cm,下口直径 11 cm,高 16 cm。侧柏苗于 2015-04-20 定植,每个处理 5 次重复。每盆装土 2 kg,栽植侧柏苗 1 株,浇水 400 mL。当侧

柏成活并稳定生长后,开始浇灌不同稀释倍数的木醋液,各处理每隔 1 个月均灌施 1 次,每次 40 mL,3 次浇灌木醋液期间视具体情况浇水,试验设置同表 1。试验期间观察侧柏长势,收获时测定侧柏苗高和生物量指标。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤化学性质的测定 土壤各项指标均采用常规方法测定,其中土壤 pH 值采用水土质量比 2.5 : 1 浸提-酸度计法测定,有机质含量采用硫酸-重铬酸钾外加热法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷含量采用氢氧化钠熔融法-钼锑抗比色法测定,全钾含量采用氢氧化钠熔融法-火焰光度计法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,速效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用 1 mol/L NH<sub>4</sub>OAC 浸提-火焰光度计法测定。

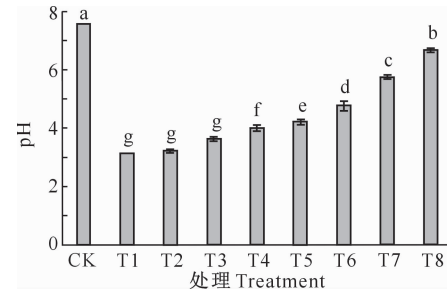
1.3.2 土壤团聚体质量分数的测定 土壤机械稳定性团聚体质量分数采用干筛法<sup>[14]</sup>测定,水稳定性团聚体质量分数采用湿筛法<sup>[14]</sup>测定。

1.3.3 苗木生长指标的测定 苗高用卷尺测量;生物量用烘干法测量,即将整株苗挖出洗净泥土,置于 90 ℃烘箱杀青 1 h,然后于 65~70 ℃烘干至恒质量。

1.3.4 相关指标的计算 土壤团聚体分散度(PAD)和不稳定团聚体指数(E<sub>LT</sub>)计算公式为:

$$PAD = (DR_{0.25} - WR_{0.25}) / DR_{0.25} \times 100\%$$

$$E_{LT} = (W_T - W_{0.25}) / W_T \times 100\%$$



图柱上标不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下图同  
The different lowercase letters indicate significant difference (P<0.05), the same below

图 1 不同稀释倍数木醋液的 pH 值

Fig. 1 pH values of wood vinegar under different dilution times

2.1.2 土壤有机质含量 由图 3 可以看出,T1~T8 处理均提高了土壤的有机质含量,随着木醋液稀释倍数的增加,土壤有机质含量呈逐渐降低趋势。T1~T4 处理土壤有机质含量显著高于 CK,分别较 CK 提高 284.63%,110.05%,84.26%和 61.74%,

式中:DR<sub>0.25</sub>和 WR<sub>0.25</sub>分别为>0.25 mm 机械稳定性和水稳定性团聚体的质量分数,W<sub>T</sub>为供试土壤总质量,W<sub>0.25</sub>为粒径>0.25 mm 水稳定性团聚体质量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析,采用 Duncan's 法进行差异显著性检验,显著性水平设为 α=0.05。

2 结果与分析

2.1 灌施木醋液对土壤性质的影响

2.1.1 不同稀释倍数木醋液 pH 和土壤 pH 木醋液由于含有多种有机酸化合物,由图 1 可以看出,T1 处理的 pH 值为 3.1,当稀释倍数在 1 : 1(T2)~1 : 5(T3)时,木醋液的 pH 较 T1 升高 0.1~0.54,彼此之间差异不显著。随着稀释倍数的增加,酸度逐渐降低,pH 值不断增大,当稀释倍数为 1 : 500(T8)时,pH 为 6.7,与蒸馏水 pH 接近。

木醋液本身具有较强的酸性(pH 为 3.1),因此向土壤中灌施不同浓度木醋液后,土壤的 pH 也会发生一定改变。由图 2 可以看出,经过稀释,T1 和 T2 处理的土壤 pH 低于 CK,分别较之降低了 13.51%和 9.22%,存在显著差异;T3~T8 处理的土壤 pH 与 CK 相比差异不显著,pH 在 8.20~8.27,彼此之间无显著性差异。可见,灌施木醋液能改善土壤 pH,随着木醋液稀释倍数的增加,土壤 pH 与 CK 逐渐接近,且差异不显著。

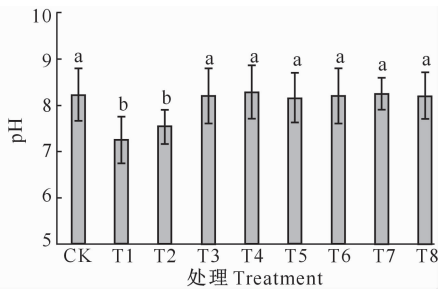


图 2 灌施不同稀释倍数木醋液后土壤的 pH 值

Fig. 2 pH of soils after irrigation with wood vinegar solution

且彼此之间差异显著;T5~T7 处理显著高于 CK,分别较 CK 提高 37.67%,31.60%和 24.34%,但彼此之间无显著差异;T8 处理与 CK 无显著性差异。可见,灌施低稀释倍数的木醋液能显著改善土壤有机质含量,提高土壤质量,进而提高土地生产力。

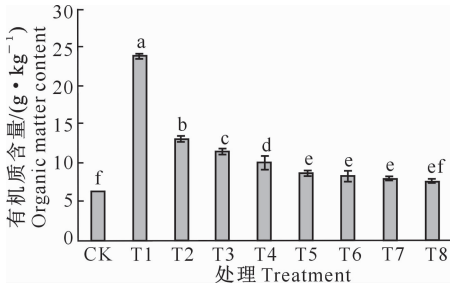


图 3 灌施不同稀释倍数木醋液对土壤有机质含量的影响  
Fig. 3 Effects of wood vinegar solution on soil organic matter contents

2.1.3 土壤机械稳定性团聚体的组成 由表 2 可以看出,经过干筛后,各处理土壤中>0.25 mm 的机械稳定性团聚体的质量分数均在 70% 以上,最高达到 86.56%,表明各处理机械稳定性团聚体均以>0.25 mm 的土壤大团聚体为主。其中以>2 mm 的土壤机械稳定性团聚体的质量分数最高,变化区间为 51.69%~56.76%;>0.25~≤0.5 mm 土壤机械

稳定性团聚体的质量分数最低。土壤团聚体质量分数总体上呈现随着粒径的减小先降低后增加的趋势。

由表 2 可见,各处理土壤中>0.25 mm 团聚体质量分数均高于 CK,>0.25 mm 团聚体的质量分数随着木醋液稀释倍数的增加总体逐渐降低,主要源于>5 mm 大团聚体质量分数随稀释倍数的增加而降低,其中 T1 处理下>0.25~≤0.5 mm,>0.5~≤1 mm,>1~≤2 mm 和>5 mm 径级的土壤机械稳定性团聚体质量分数均高于 CK,T2~T8 处理下>0.25~≤0.5 mm,>0.5~≤1 mm,>1~≤2 mm,>2~≤5 mm 和>5 mm 径级的土壤机械稳定性团聚体质量分数与 CK 相比无显著变化。T1~T8 处理中>0.25 mm 团聚体质量分数以 T1 处理最高,T8 处理最低,其中 T1 处理大团聚体质量分数较 CK 处理提高 15.72%;>5 mm 团聚体质量分数以 T1 处理最高,T8 处理最低,其中 T1 处理较 CK 提高 110.59%。

表 2 不同稀释倍数木醋液处理下土壤机械稳定性团聚体的组成

| Table 2 Composition of mechanical-stable aggregates after irrigation of wood vinegar solution |                                                                               |                |               |               |               |               |                    | % |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|---|
| 处理<br>Treatment                                                                               | 各粒径机械稳定性团聚体含量 Content of mechanical stability aggregates with different sizes |                |               |               |               |               |                    |   |
|                                                                                               | >5 mm                                                                         | >2~≤5 mm       | >1~≤2 mm      | >0.5~≤1 mm    | >0.25~≤0.5 mm | ≤0.25 mm      | DR <sub>0.25</sub> |   |
| CK                                                                                            | 15.68±3.43 b                                                                  | 36.01±1.00 a   | 10.74±0.05 b  | 7.90±0.16 b   | 4.47±0.33 ab  | 25.20±2.87 a  | 74.80±2.87 b       |   |
| T1                                                                                            | 33.02±1.56 a                                                                  | 20.65±0.60 c   | 15.09±0.93 a  | 12.27±0.81 a  | 5.54±0.30 ab  | 13.44±1.06 b  | 86.56±1.06 a       |   |
| T2                                                                                            | 28.10±3.06 ab                                                                 | 24.91±4.53 bc  | 12.58±1.80 ab | 10.49±1.39 ab | 5.25±0.70 ab  | 18.68±2.44 ab | 81.33±2.44 ab      |   |
| T3                                                                                            | 22.15±7.59 ab                                                                 | 33.04±6.35 abc | 11.24±1.39 b  | 10.05±1.29 ab | 6.42±1.50 a   | 17.10±5.42 ab | 82.90±5.42 ab      |   |
| T4                                                                                            | 24.67±0.12 ab                                                                 | 31.31±0.33 abc | 10.76±0.08 b  | 9.24±0.27 b   | 5.41±0.56 ab  | 18.61±0.46 ab | 81.39±0.46 ab      |   |
| T5                                                                                            | 27.18±7.82 ab                                                                 | 29.58±5.68 abc | 10.28±1.23 b  | 8.43±0.76 b   | 4.41±0.37 b   | 20.13±4.50 ab | 79.87±4.50 ab      |   |
| T6                                                                                            | 27.10±6.54 ab                                                                 | 27.29±4.22 abc | 10.96±1.05 b  | 8.91±0.98 b   | 4.39±0.39 b   | 21.36±4.74 ab | 78.64±4.74 ab      |   |
| T7                                                                                            | 27.44±1.38 ab                                                                 | 27.51±0.21 abc | 11.48±0.21 b  | 8.49±0.28 b   | 3.90±0.14 b   | 21.18±0.53 ab | 78.82±0.53 ab      |   |
| T8                                                                                            | 18.66±2.98 ab                                                                 | 35.15±0.86 ab  | 10.70±0.04 b  | 8.04±0.14 b   | 4.76±0.29 ab  | 22.71±2.49 ab | 77.29±2.49 ab      |   |

注:同列数据后标不同小写字母表示各处理之间差异显著( $P<0.05$ ),下表同。  
Note: Different lowercase letters in the column indicate significant difference ( $P<0.05$ ), the same below.

对各处理土壤有机质含量与>0.25 mm 机械稳定性团聚体质量分数间的关系进行拟合,结果见图 4。

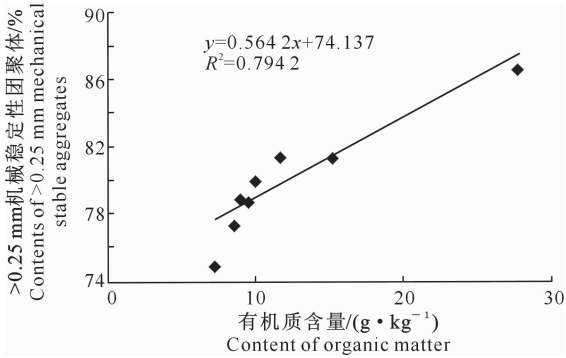


图 4 施用不同稀释倍数木醋液后土壤有机质含量与>0.25 mm 机械稳定性团聚体质量分数( $DR_{0.25}$ )关系的拟合  
Fig. 4 Relationship between soil organic matter content and mass fraction of >0.25 mm mechanical stable aggregates ( $DR_{0.25}$ ) with different dilution times

由图 4 可以看出,两者之间呈显著线性正相关( $R^2=0.794\ 2, n=9, P<0.05$ )。

2.1.4 土壤水稳定性团聚体的组成 由表 3 可以看出,经过湿筛后,各处理土壤中>0.25 mm 水稳定性团聚体质量分数较机械稳定性团聚体减少 1.11%~66.63%,变化区间为 24.96%~85.60%,其中>5 mm 团聚体减少的幅度最大,变化区间由机械稳定性团聚体的 18.66%~33.02% 下降到 0.03%~14.30%。除 T1 处理外,各处理均以≤0.25 mm 团聚体质量分数最高,>5 mm 团聚体质量分数最低。T1~T3 处理>0.25 mm 水稳定性团聚体质量分数显著高于 CK,分别较之提高 166.25%,109.74%和 85.16%,而 T4~T8 处理与 CK 相比差异不显著。可见,灌施木醋液有利于土壤>0.25 mm 水稳定性团聚体质量分数的增加,但

稀释倍数不同,效果也不同。

表 3 不同稀释倍数木醋液处理下土壤水稳定性团聚体的组成

Table 3 Composition of soil water-stable aggregates after irrigation of wood vinegar solution %

| 处理<br>Treatment | 各粒径水稳定性团聚体含量 Contents of water-stable aggregates with different sizes |              |              |              |               |               | WR <sub>0.25</sub> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|
|                 | >5 mm                                                                 | >2~≤5 mm     | >1~≤2 mm     | >0.5~≤1 mm   | >0.25~≤0.5 mm | ≤0.25 mm      |                    |
| CK              | 0.51±0.04 c                                                           | 4.31±0.13 d  | 3.87±0.05 d  | 9.06±0.24 c  | 14.40±0.27 b  | 67.86±0.01 ab | 32.15±0.01 cd      |
| T1              | 14.30±1.51 a                                                          | 18.09±1.29 a | 21.91±1.82 a | 20.83±0.42 a | 10.48±0.61 c  | 14.40±2.00 d  | 85.60±2.00 a       |
| T2              | 6.20±2.20 b                                                           | 11.16±1.88 b | 14.90±2.94 b | 20.10±0.10 a | 15.07±1.73 b  | 32.57±5.39 c  | 67.43±5.39 b       |
| T3              | 1.00±0.03 c                                                           | 7.62±1.77 c  | 9.87±2.34 c  | 20.35±1.09 a | 20.69±0.70 a  | 40.47±5.93 c  | 59.53±5.93 b       |
| T4              | 0.52±0.02 c                                                           | 5.24±1.16 cd | 6.65±1.58 cd | 13.53±1.14 b | 17.25±1.39 ab | 56.82±5.29 b  | 43.18±5.29 c       |
| T5              | 0.03±0.01 c                                                           | 2.86±0.55 d  | 3.43±0.83 d  | 6.70±1.19 de | 13.81±2.07 bc | 73.17±4.65 a  | 26.83±4.65 d       |
| T6              | 0.23±0.05 c                                                           | 2.56±0.35 d  | 2.47±0.36 d  | 5.91±0.49 e  | 13.85±1.00 bc | 74.98±2.25 a  | 25.02±2.25 d       |
| T7              | 0.63±0.18 c                                                           | 2.23±0.08 d  | 2.79±0.02 d  | 5.81±0.10 e  | 13.51±0.76 bc | 75.04±0.73 a  | 24.96±0.73 d       |
| T8              | 0.55±0.04 c                                                           | 4.20±0.12 d  | 3.92±0.04 d  | 8.85±0.21 cd | 14.63±0.24 b  | 67.86±0.01 ab | 32.14±0.01 cd      |

对各处理土壤有机质含量与>0.25 mm 水稳定性团聚体质量分数关系进行拟合,结果见图 5。

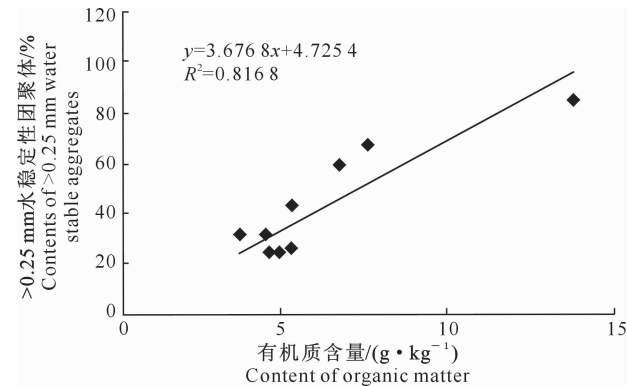


图 5 施用不同稀释倍数木醋液后土壤有机质含量与 >0.25 mm 水稳定性团聚体质量分数(WR<sub>0.25</sub>)关系的拟合  
Fig. 5 Relationship between soil organic matter content and mass fraction of >0.25 mm water stable aggregates (WR<sub>0.25</sub>) with different dilution times

由图 5 可见,两者之间也呈显著线性正相关关系( $R^2=0.8168, n=9, P<0.05$ )。说明土壤有机质含量高,是土壤>0.25mm机械稳定性和水稳定

性团聚体质量分数升高的主要原因之一。

2.1.5 土壤团聚体的稳定性 团聚体分散度和不稳定团聚体指数是反映土壤团聚体稳定性的重要指标。团聚体分散度和不稳定团聚体指数随土壤退化程度的增加而增大,可以较好地反映土壤结构的稳定性。由图 6 可知,与 CK 相比,T1、T2、T3、T4 处理的土壤团聚体分散度分别降低了 98.02%,70.45%,49.88%和 17.37%,且 T1、T2、T3 处理与 CK 达到显著差异水平。由图 7 可知,与 CK 相比,T1、T2、T3、T4 处理的土壤不稳定团聚体指数分别降低 78.78%,52.00%,40.36%和 16.26%,且 T1、T2、T3 处理与 CK 达到显著差异水平。表明木醋液稀释倍数小于 10 倍时,对土壤团聚体的分布和稳定性有促进作用;当木醋液稀释倍数大于 10 倍时,各处理的土壤团聚体分散度和不稳定团聚体指数不同程度升高,但与 CK 间的差异未达到显著水平( $P>0.05$ )。表明随着稀释倍数的增加,木醋液对土壤团聚体的影响变小。因此,受不同稀释倍数的影响,土壤团聚体的稳定性对木醋液的响应也有所不同。

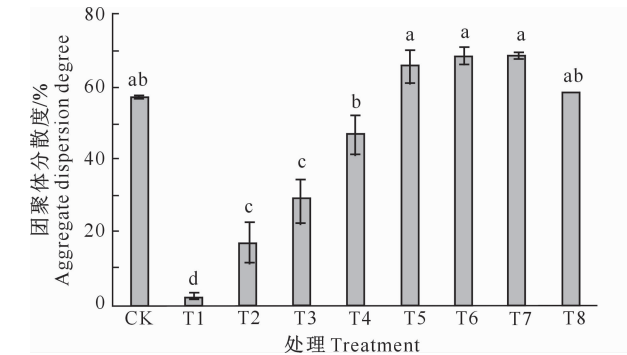


图 6 不同稀释倍数木醋液处理下土壤团聚体的分散度

Fig. 6 Soil aggregates dispersion degree after irrigation of wood vinegar solution

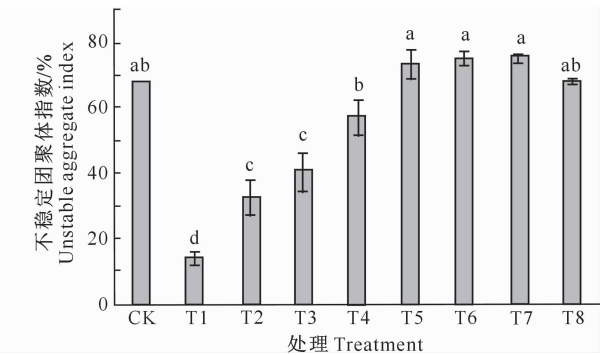


图 7 不同稀释倍数木醋液处理下土壤的不稳定团聚体指数

Fig. 7 Soil unstable aggregate index after irrigation of wood vinegar solution

2.2 灌施木醋液对侧柏生长的影响

由表 4 可以看出,移栽的侧柏在近 90 d 的生长过程中分 3 次浇灌不同稀释倍数的木醋液后,T1 和 T2 处理的侧柏全部死亡,T3 处理的侧柏生长状况衰弱,其他处理均生长良好。在灌施稀释倍数为 1 : 5 以下的木醋液(T1~T3 处理)后,侧柏总体叶片发黄,甚至出现下部叶片脱落现象。稀释倍数较大(1 : 25~1 : 100)的木醋液(T5~T7 处理)对侧

柏的生长有促进作用,但是当稀释倍数过高(1 : 100 以上)时(T8 处理)对侧柏生长的促进作用有所降低。CK 处理侧柏苗高为 40. 50 cm,当稀释倍数上升至 1 : 50(T6 处理)时,侧柏平均苗高比 CK 高出 8. 02%,该稀释倍数对生物量的促进作用也达到最大,侧柏生物量高达 12. 08 g,比 CK 增加 49. 32%,差异达到显著水平,随着木醋液稀释倍数的进一步增大,促进作用则不断减弱。

表 4 灌施不同稀释倍数木醋液对侧柏生长的影响  
Table 4 Effects of irrigation of wood vinegar on growth of *Platycladus orientalis*

| 处理<br>Treatment | 苗高/cm<br>Height  | 生物量/g<br>Biomass | 生长状况<br>Growth condition                            |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------------------------------------------|
| CK              | 40. 50±0. 71 cd  | 8. 09±0. 30 cd   | 正常生长 Normal                                         |
| T1              | 37. 88±0. 69 d   | 3. 76±1. 05 f    | 极度伤害,枯萎,死亡 Extremely severe damage, withered, death |
| T2              | 40. 67±0. 96 bcd | 5. 35±0. 34 e    | 极度伤害,枯萎,死亡 Extremely severe damage, withered, death |
| T3              | 40. 88±1. 30 bc  | 6. 97±0. 23 d    | 中度伤害,叶子发黄 Moderately injury, yellow leaves          |
| T4              | 41. 63±1. 08 ab  | 7. 80±1. 09 d    | 生长好,促进作用微弱 Well-grown, slight promotion of growth   |
| T5              | 42. 53±1. 42 ab  | 8. 13±0. 52 cd   | 生长茂盛,促进作用大 Lush growth, great promotion of growth   |
| T6              | 43. 75±1. 07 a   | 12. 08±1. 57 a   | 生长茂盛,促进作用大 Lush growth, great promotion of growth   |
| T7              | 40. 83±0. 17 bc  | 9. 58±0. 04 b    | 生长茂盛,促进作用大 Lush growth, great promotion of growth   |
| T8              | 40. 55±0. 85 bcd | 9. 40±0. 14 bc   | 生长好,促进作用微弱 Well-grown, slight promotion of growth   |

3 讨 论

3.1 灌施木醋液对土壤性质的影响

木醋液含有多多种有机酸和酚类成分,木醋液的 pH 值随着稀释倍数的增加而增大<sup>[15]</sup>。灌施木醋液于土壤中,首先会影响到土壤酸碱性,进而诱导碳酸盐等溶解而影响土壤的电导率。本研究土壤 pH 为 8. 2,灌施木醋液后,pH 最低能降到 7. 2,这是因为木醋液中含有酸性成分,降低了土壤 pH 值,且低稀释倍数能显著降低土壤 pH,这与于志民等<sup>[16]</sup>的研究结果一致,但降幅相对较小。从植物生长考虑,木醋液的适宜稀释倍数应为 5 倍以上。

保持土壤肥力和结构的物质基础是有机质和团聚体,二者缺一不可。团聚体是有机质存在的场所,有机质是团聚体存在的胶结物质<sup>[17]</sup>,其含量显著影响土壤团聚体数量<sup>[18]</sup>。李霄云等<sup>[19]</sup>研究发现,有机污染水灌溉能明显降低土壤中大于 10 mm 大团聚体和小于 0. 25 mm 微团聚体的含量。崔荣美等<sup>[20]</sup>、刘中良等<sup>[21]</sup>、刘恩科等<sup>[22]</sup>研究表明,有机培肥均可显著提高粒径>0. 25 mm 团聚体以及有机质含量。刘广深等<sup>[23]</sup>研究发现,酸沉降导致土壤团聚作用降低而黏粒含量增加,土壤可蚀性增大。本研究表明,灌施木醋液对土壤有机质和土壤结构产生了影响,除 T8 处理外,其余各处理有机质含量均显著高于 CK,由于木醋液的有机化合物含量较低,随着稀释倍数增加,木醋液有机质含量逐渐降低,土

壤有机质含量亦降低,这与李忠徽等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。随着稀释倍数的增加,各处理>0. 25 mm 机械稳定性团聚体质量分数逐渐减少,各处理>5 mm 和>0. 25 mm 团聚体质量分数与 CK 相比均有不同程度增加,说明灌施木醋液对土壤机械稳定性团聚体结构的影响作用明显。粒径>0. 25 mm 土壤水稳定性团聚体质量分数的高低能反映土壤保持和供应养分的能力,水稳定性团聚体的组成对探讨土壤肥力和结构变化具有重要的理论和实践意义,本研究中 T1~T4 处理粒径>0. 25 mm 水稳定性团聚体的质量分数高于对照,T5~T8 处理低于对照,说明木醋液中有有机化合物对土壤结构的胶结作用,抵消了由于酸溶解钙而导致的土壤结构破坏,且因用量不同而作用程度不同,这与李霄云等<sup>[19]</sup>和刘广深等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。崔荣美等<sup>[20]</sup>研究发现,施用有机肥后土壤团聚体分散度和不稳定团聚体指数明显降低,这有助于提高土壤结构稳定性,防止土壤退化。

3.2 灌施木醋液对侧柏生长的影响

木醋液对植物生长的影响因其浓度不同而产生促进或抑制作用,但对不同植物产生抑制的浓度不同<sup>[24]</sup>。本研究结果显示,木醋液的稀释倍数小于 5 倍时,会导致侧柏毒害甚至死亡,这与李忠徽等<sup>[10]</sup>的研究结果一致;但本试验中侧柏的木醋液总灌施量较大,随着稀释倍数的递增,侧柏生物量先增大然后逐渐减小,在稀释倍数为 50 倍时,侧柏苗高和生



物量均达到最大。

## 4 结 论

灌施一定量的木醋液,可降低土壤 pH 值,提高土壤有机质含量。当稀释倍数小于 10 倍时,灌施木醋液有利于增加>0.25 mm 土壤机械稳定性和水稳定性团聚体质量分数;稀释倍数大于 10 倍时,对>0.25 mm 土壤机械稳定性和水稳定性团聚体质量分数的影响不显著。木醋液稀释倍数小于 10 倍时,灌施木醋液能降低土壤团聚体分散度和土壤团聚体不稳定指数;稀释倍数大于 10 倍时,对土壤团聚体分散度和团聚体不稳定指数的影响不显著。

当灌施木醋液稀释倍数小于 25 倍时,侧柏生长受到抑制,严重时导致死亡;稀释倍数在 25~500 倍时,可促进侧柏生长,其中稀释 50 倍时侧柏苗高和生物量达到最大。

综合各指标分析,在本试验条件下,灌施稀释倍数小于 10 倍木醋液有利于增加>0.25 mm 土壤机械稳定性和水稳定性团聚体质量分数,降低土壤团聚体分散度和不稳定团聚体指数;稀释倍数在 25~500 倍时,可促进侧柏幼苗生长,其中稀释 50 倍时侧柏苗高和生物量达到最大。

## [参考文献]

[1] 柏美娟,孔祥峰,印遇龙. 木醋液研究进展 [J]. 饲料工业, 2008,29(16):63-64.  
Bai M J,Kong X F,Yin Y L. Research progress of wood vinegar [J]. Feed Industry,2008,29(16):63-64.

[2] 胡春花,达布希拉图. 木醋液和炭醋肥对设施蔬菜土壤肥力及蔬菜产量的影响 [J]. 中国农学通报,2011(10):218-223.  
Hu C H,Da B X L T. Effect of pyroigneous acid and the mixture with charcoal on soil fertility and crop yields under protected cultivation [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2011 (10):218-223.

[3] 钱慧娟. 木醋液的制造及其应用 [J]. 世界林业研究,1994(2): 59-63.  
Qian H J. A preliminary discussion on the lignoacetic liquid;its development and utilization [J]. World Forestry Research, 1994(2):59-63.

[4] 马旭明,洪 卫,阎蒙钢. 天然、绿色环保产品:竹醋液 [J]. 化学教学,2006(9):35-36.  
Ma X M,Hong W,Yan M G. The bamboo vinegar, a natural, green and environmeral product [J]. Education in Chemistry, 2006(9):35-36.

[5] 史咏竹,杜相革. 木醋液在农业生产上的研究新进展 [J]. 中国农学通报,2003(3):108-109.  
Shi Y Z,Du X G. Research progress of wood vinegar on agricultural production [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,

2003(3):108-109.

[6] Mun S P,Chang S K. Pyrolysis GC-MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars [J]. Journal of Wood Science,2010,56(1):47-52.

[7] Yatagai M,Nishimoto M,Hori K,et al. Termiticidal activity of wood vinegar,its components and their homologues [J]. Journal of Wood Science,2002,48(4):338-342.

[8] 刘长风,李 敏,高品一,等. 木醋液的来源、成分及其应用研究进展 [J]. 中国农学通报,2016(1):28-32.  
Liu C F,Li M,Gao P Y,et al. Research progress of wood vinegar on agricultural production [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2016(1):28-32.

[9] 张亚兰,孙金龙,秦翠兰,等. 南疆阿拉尔棉田盐碱化分析和木醋液改良效果 [J]. 中国棉花,2014(3):30-32.  
Zhang Y L,Sun J L,Qin C L,et al. Salinity analysis of cotton fields of alar in south Xinjiang and the amelioration effect of wood vinegar [J]. China Cotton,2014(3):30-32.

[10] 李忠徽,王旭东. 灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2014(2):510-516.  
Li Z H,Wang X D. Effect of wood vinegar on soil properties and plant growth [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2014(2):510-516.

[11] 胡妍妍,陈 杰,杨学军,等. 不同配比的木醋肥对香樟林土壤性状的影响 [J]. 土壤,2013(3):437-443.  
Hu Y F,Chen J,Yang X J,et al. Effects of different ratio of wood vinegar fertilizer on camphor forest soil [J]. Soils,2013 (3):437-443.

[12] 申 健,杨国亭,刘德江. 木醋及松针对越橘栽培土壤改良的影响 [J]. 土壤,2014(2):325-329.  
Shen J,Yang G T,Liu D J. Influence of wood vinegar and pine needle on soil improvement of *Vaccinium uliginosum* L. [J]. Soils,2014(2):325-329.

[13] 杨 玲,康永祥,李小军,等. 黄帝陵古柏群林下天然更新研究 [J]. 西北林学院学报,2015(1):82-86.  
Yang L,Kang Y X,Li X J,et al. Natural regeneration of the ancient *Platycladus orientalis* in the mausoleum of the Yellow Emperor [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015(1):82-86.

[14] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法 [M]. 北京:科学出版社,1978.  
Soil Physics Laboratory,Nanjing Institute of Soil Science,Chinese Academy of Sciences. Measurement of soil physical properties [M]. Beijing:Science Press,1978.

[15] 王海英,杨国亭. 三种木醋液基本参数和组分分析 [J]. 国土与自然资源研究,2005(4):91-92.  
Wang H Y,Yang G T. The fundamental parameters and component analysis of three kinds of wood vinegar [J]. Territory&Natural Resource Study,2005(4):91-92.

[16] 于志民,吕 品,周 琳. 木醋营养基质在盆栽蓝莓中的应用研究 [J]. 国土与自然资源研究,2012(5):82-84.  
Yu Z M,Lü P,Zhou L. Study on application of wood vinegar nutrition medium on potted blueberry cultivation [J]. Territo-

ry & Natural Resource Study,2012(5):82-84.

[17] 文 倩,关 欣.土壤团聚体形成的研究进展 [J]. 干旱区研究,2004(4):434-438.  
Wen Q,Guan X. Research progress on formation of soil aggregates [J]. Arid Zone Research,2004(4):434-438.

[18] Jacobs A,Helfrich M,Hanisch S,et al. Effect of conventional and minimum tillage on physical and biochemical stabilization of soil organic matter [J]. Biology & Fertility of Soils,2010,46(7):671-680.

[19] 李霄云,王益权,孙慧敏,等. 有机污染型灌溉水对土壤团聚体的影响 [J]. 土壤学报,2011(6):1125-1132.  
Li X Y,Wang Y Q,Sun H M,et al. Effects of irrigation water polluted with organic contaminants on soil aggregates [J]. Acta Pedologica Sinica,2011(6):1125-1132.

[20] 崔荣美,李 儒,韩清芳,等. 不同有机肥培肥对旱作农田土壤团聚体的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(11):124-132.  
Cui R M,Li R,Han Q F,et al. Effects of different organic manure with fertilization on soil aggregates in dry farmland [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition),2011,39(11):124-132.

[21] 刘中良,宇万太,周 桦,等. 长期施肥对土壤团聚体分布和养分含量的影响 [J]. 土壤,2011(5):720-728.  
Liu Z L,Yu W T,Zhou H,et al. Effects of long-term fertilization on aggregate size distribution and nutrient content [J]. Soils,2011(5):720-728.

[22] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣,等. 不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响 [J]. 生态学报,2010(4):1035-1041.  
Liu E K,Zhao B Q,Mei X Y,et al. Distribution of water-stable aggregates and organic carbon of arable soils affected by different fertilizer application [J]. Acta Ecologica Sinica,2010(4):1035-1041.

[23] 刘广深,许中坚,徐冬梅. 酸沉降对土壤团聚体及土壤可蚀性的影响 [J]. 水土保持通报,2001(4):70-74.  
Liu G S,Xu Z J,Xu D M. Effects of acid deposition on soil aggregate and soil erodibility [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2001(4):70-74.

[24] 张 琳,董 琳,王甲辰,等. 木醋液作为叶面施用对西红柿长势及品质的影响 [J]. 北京农业,2010(30):58-62.  
Zhang L,Dong L,Wang J C,et al. Influence of wood vinegar as leaves fertilizer on growth and quality of tomato [J]. Beijing Agriculture,2010(30):58-62.

(上接第 74 页)

[16] 庄世宏,李孟楼. 花椒籽油的成分分析 [J]. 西北农业学报,2002,11(2):43-45.  
Zhuang S H,Li M L. Ingredient analysis of prickly ash seed oil [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2002,11(2):43-45.

[17] 陈悦蕾. 大豆含油率分析测定方法的改进 [J]. 理化检验(化学分册),2004(2):107.  
Chen Y L. Soybean oil content analysis method of improvement [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis),2004(2):107.

[18] 张庆勇. 山西榆次花椒油的成分分析 [J]. 香料香精化妆品,1996(2):11-13.  
Zhang Q Y. Shanxi quality of *Zanthoxylum* oil composition analysis [J]. Flavour Fragrance Cosmetics,1996(2):11-13.

[19] 张庆勇. 两种四川花椒油的成分分析 [J]. 香料香精化妆品,1996(3):20-22.  
Zhang Q Y. Two kinds of Sichuan *Zanthoxylum* oil composition analysis [J]. Flavour Fragrance Cosmetics,1996(3):20-22.

[20] 李桂化,薛开发. 花椒籽化学成分分析研究 [J]. 郑州粮食学院学报,1994,15(4):17-19.  
Li G H,Xue K F. The chemical composition analysis of *Zanthoxylum* seed [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology,1994,15(4):17-19.

[21] 刘莉玫,郭振德,张锐澄,等. 八角超临界 CO<sub>2</sub> 流体萃取产物化学成分的研究 [J]. 分析测试学报,1997,16(4):24.  
Liu L M,Guo Z D,Zhang R C,et al. Chemical compositions of the volatile oil extracted from *Illicium verum* by CO<sub>2</sub> supercritical fluid extraction [J]. Journal of Instrumental Analysis,1997,16(4):24.

[22] 王炎平,李亚南,马建伟. 山桃中主要营养成分的研究 [J]. 食品科学,1998,19(4):44-46.  
Wang Y P,Li Y N,Ma J W. Study on main nutrient compositions of *Prunusda vidiana* [J]. Food Science,1998,19(4):44-46.