农 业 资 源 与 环 境 学 报
2019年5月·第36卷·第3期:322-328

Journal of Agricultural Resources and Environment
May 2019·Vol.36·No.3:322-328

常 青, 王永亮, 杨治平, 等. 木醋液对土壤pH、EC与茄子叶片光合特性及根系发育的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(3): 322-328.
CHANG Qing, WANG Yong-liang, YANG Zhi-ping, et al. Effects of wood vinegar on soil pH, EC, and the photosynthetic characteristics of eggplant leaves and root development[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(3): 322-328.

木醋液对土壤pH、EC与茄子叶片光合特性及根系发育的影响

常 青[1,2], 王永亮[2], 杨治平[2*], 黄高鉴[2], 郭彩霞[2]

(1.山西大学生物工程学院, 太原 030006; 2.山西省农业科学院农业环境与资源研究所, 太原 030031)

摘 要:为探究木醋液对土壤性质和植物生长发育的影响,以玉米、小麦秸秆和杂木在制备生物炭过程中产生的木醋液为研究材料,通过盆栽试验,研究了灌施不同稀释倍数的木醋液对土壤pH、EC(电导率)和茄子生长发育的影响。结果表明,与灌施清水相比,土壤pH值随着木醋液稀释倍数的增大而增大,当稀释倍数增大到1∶300时pH值与灌施清水处理无明显差异。灌施木醋液后土壤EC值随着木醋液稀释倍数的增大而减小,当稀释倍数增大到1∶300时EC值与灌施清水处理差异不显著。生物试验表明,灌施稀释倍数小于10倍的木醋液会对茄子产生毒害作用,灌施1∶50以上的木醋液可以增强茄子叶片净光合作用,增加叶绿素含量,促进茄子的生长发育和根系生长。木醋液对作物的促进作用随着灌施木醋液稀释倍数的增加逐渐减弱,灌施稀释倍数1∶300的木醋液与灌施清水处理差异不显著。研究表明,浇灌适宜稀释倍数的木醋液可以调节土壤pH和EC值,促进茄子生长,这为木醋液在蔬菜种植中的应用推广提供了参考。

关键词:木醋液;土壤pH;土壤EC;光合参数;生物量;根系特征参数
中图分类号:Q945.1 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2019)03-0322-07 **doi**: 10.13254/j.jare.2019.0057

Effects of wood vinegar on soil pH, EC, and the photosynthetic characteristics of eggplant leaves and root development

CHANG Qing[1,2], WANG Yong-liang[2], YANG Zhi-ping[2*], HUANG Gao-jian[2], GUO Cai-xia[2]

(1.School of Biological Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2.Institute of Agricultural Environment and Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In this paper, we used wood vinegar produced during the process of preparing biochar from corn, wheat straw, and miscellaneous wood as the research material. We studied the effects of different dilutions of wood vinegar on the pH and EC of soil and on eggplant growth using a pot experiment. The results showed that, compared with clear water, the soil pH of the wood vinegar treatments increased with an increasing dilution ratio. When the ratio increased to 1∶300, there was no significant difference between wood vinegar and clear water. Soil EC decreased with an increasing dilution ratio of wood vinegar. As with pH, there was no significant difference between a 1∶300 dilution ratio of wood vinegar and clear water. Moreover, biological tests showed that wood vinegar with a dilution ratio less than 1∶10 was toxic to eggplants, while a dilution ratio more than 1∶50 could increase the net photosynthesis and chlorophyll content, and promote the growth of the eggplant. The growth-promotion effect of wood vinegar gradually decreased with an increase of the dilution ratio, there was no significant difference between water and wood vinegar when the ratio increased to 1∶300. In conclusion, an appropriate dilution ratio of wood vinegar could promote eggplant growth and adjust soil pH and EC. This would provide a scientific reference for the application and promotion of wood vinegar in vegetable planting.

Keywords: wood vinegar; soil pH; soil EC; photosynthetic parameters; biomass; root characteristic parameters

收稿日期:2019-01-28 **录用日期**:2019-03-18
作者简介:常 青(1994—),女,山西临汾人,硕士研究生,研究方向为养分资源管理。E-mail:273791770@qq.com
***通信作者**:杨治平 E-mail:yzpsx0208@163.com
基金项目:山西省重点研发计划重点项目(201603D2110-5)
Project supported: The Key Research and Development Project of Shanxi Province(201603D2110-5)

木醋液是木材及木材加工剩余物在其热解炭化过程中产生的气体经冷凝回收分离得到的有机液体组分[1]。木醋液主要成分是水（含量为80%~90%）[2]，其余成分组成复杂，主要以酸类、酚类、酮类和醛类为主，还有醇类、酯类、胺类、吡啶以及K、Ca、Mg、Zn、Ge、Mn、Fe等微量元素[3]。其中，有机酸物质往往占有机成分的50%以上，有机酸中乙酸含量最多[4]。由于木醋液制作工艺、精制方法以及存储的时间不同，其成分种类以及含量存在很大的差异[5]。西方国家对木醋液的研究较早（起源于17世纪欧洲的木材干馏工业），我国对木醋液开发和应用研究起步较晚，始于20世纪80年代末期[6]。试验（细胞毒性试验、遗传毒性试验）证实木醋液在农业生产上使用安全[7]。木醋液在农业生产上可作为植物生长促进剂、土壤改良剂、抗菌剂、杀虫剂、驱避剂、消臭剂、饲料添加剂、有机肥发酵剂等[8-9]，但是受木醋液浓度和成分组成的影响，其具有促进和抑制双重功效[10]。从木醋液对植物生长的作用机理上来讲，它主要通过调节植物激素比例关系发挥作用。木醋液抑制脱落酸及乙烯的合成，促进生长素、赤霉素和细胞分裂素的合成。同时有研究表明木醋液含有的戊酸甲酯、甲酸甲酯、乙酸甲酯等物质具有促进植物生长的作用[6]。

农作物生产中会产生大量作物秸秆，这是重要的可再生能源，开发先进高效的秸秆利用技术，有助于缓解能源危机，增加废弃物资源的二次利用，降低环境污染[11]。我国对木醋液的应用研究主要集中在对农作物和蔬菜的研究上，一定浓度的木醋液灌施或喷施后能增加植物营养吸收，促进植物生长，提高植物的抗病性等[12]，但灌施后木醋液对土壤性质、植物地上部生长及根系生长等的影响研究报道很少。本研究分析了灌施不同稀释倍数的木醋液对土壤pH、EC的影响，并通过生物试验研究了不同稀释倍数木醋液对茄子生长的影响，旨在促进木醋液资源利用率，减少环境污染。

1　材料与方法

1.1 试验土壤

供试土壤取自山西省晋中市榆次区山西省农业科学院东阳试验基地，土壤属于石灰型潮土，质地为砂壤土[13]，pH为8.45，呈弱碱性，土壤EC（电导率）值为156.6 μS·cm^{-1}。土壤基本理化性质：有机质6.60 g·kg^{-1}、全氮0.64 g·kg^{-1}、有效磷8.34 mg·kg^{-1}、速效钾115 mg·kg^{-1}，平均土壤容重1.34 g·cm^{-3}。

1.2 试验材料

试验所用木醋液是由玉米、小麦秸秆和一些杂木在制备生物质炭过程中冷凝产生，最高温度约为550 ℃。期间经过干燥阶段、预炭化阶段、炭化阶段及煅烧阶段[14]。木醋液的基本性质：外观为黄褐色，水分占80%以上，pH为4.36，EC为18 mS·cm^{-1}。在有机化合物中各成分醋酸占50%以上，还测出含量较少、种类繁多的其他有机化合物，如多种醇、酚、酮及其衍生物。

木醋液经过萃取和旋转蒸发后用GC-MS分析其有机成分[15-16]。前处理：用分液漏斗将100 mL正己烷和100 mL木醋液原液（静置6个月以上分离得到的木醋液原液）萃取两次，合并正己烷有机溶剂于磨口三角瓶中，在旋转蒸发仪上挥发浓缩至2 mL左右，浓缩液过0.45 μm的微孔滤膜后上机分析。气相色谱条件：DB-5MS毛细管色谱柱，30 m×0.25 mm×0.25 μm；进样口温度280 ℃，载气为氦气，程序升温50~280 ℃（保持30 min），检测器FID。质谱条件：EI源，电子能量70 eV，加速电压0.9 kV，源温230 ℃，经*m/z*为50~650离子流扫描，木醋液中有机成分包括酸类、酚类、酮类和醛类，还有醇类、酯类、胺类、吡啶等。

1.3 试验设计

1.3.1 茄子盆栽实验

供试作物品种选定为黑丽圆茄，属于圆茄类，株型矮小、生长势强、叶片中等，此品种抗性强、长势强。试验地为山西省农业科学院农作物品种资源研究所日光温室内。试验设计：花盆装土3 kg，不施用任何肥料，浇透水至墒情适宜时，于2017年10月24日每盆移植长势相同的茄子苗一株。当茄子成活并稳定生长后，开始浇灌不同稀释倍数的木醋液，试验设置见表1。2017年11月1日，第一次浇灌木醋液量为150 mL·盆$^{-1}$，10 d后进行第二次浇灌，浇灌量为200

表1 作物盆栽试验中采用的木醋液稀释倍数

Table 1 Dilution folds of wood vinegar used in pot experiments

No.	木醋液：水 Wood vinegar：water（*V*/*V*）
1	清水 Water
2	木醋液原液 Undiluted wood vinegar solution
3	1∶5
4	1∶10
5	1∶50
6	1∶100
7	1∶200
8	1∶300

mL·盆$^{-1}$，20 d后进行第三次浇灌，浇灌量为200 mL·盆$^{-1}$，30 d后进行第四次浇灌，浇灌量为200 mL·盆$^{-1}$。每次浇灌木醋液期间视具体情况浇等量的清水，每个处理重复3次。茄子收获时间为2017年12月10日。

1.3.2 指标测定

木醋液的pH和EC用pH仪和EC仪测定。盆栽实验结束后（2017年12月10日），将花盆土壤倒出充分混匀后，每盆取两次重复；土壤pH用电位法（水土比2.5∶1）测定，土壤EC值用电位法（水土比5∶1）测定。

定植后第37 d（2017年12月1日初花期），测定茄子叶片的光合指标、株高、茎粗。

叶片光合指标用LI-6400XT光合仪测定；每张叶片先活化30 min，每盆测定3次（茄子从上到下第2、3、4片完全展开叶）。测定的光合参数包括净光合速率（Pn，μmol·m^{-2}·s^{-1}）、蒸腾速率（Tr，mmol·m^{-2}s^{-1}）和气孔导度（Gs，mol·m^{-2}·s^{-1}）；

植株株高用卷尺测量；植株茎粗用游标卡尺测量；植株生物量测定时期为盆栽收获后，测定地上部和根系鲜质量，放入烘箱105 ℃杀青后75 ℃烘干至恒质量，称干质量；观察茄子长势，对生长势进行文字描述；用叶绿素仪测定叶绿素含量。

2017年12月10日收获后，洗根，用WinRHIZO根系分析系统测定茄子根系特征参数；根系特征参数包括根系长度、直径、面积、体积、鲜质量和密度。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2016软件对数据进行统计分析，采用SAS软件对数据进行差异显著性分析（LSD法，α=0.05）。

2 结果与分析

2.1 灌施木醋液对土壤的影响

2.1.1 不同稀释倍数木醋液pH和EC的变化

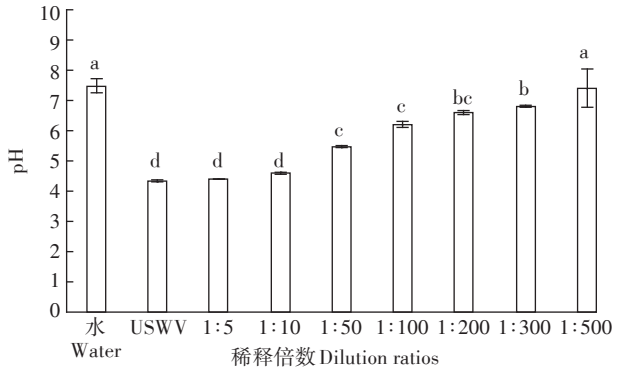
木醋液中含有多种有机酸化合物，其酸度较高（pH=4.36）。对不同稀释倍数的木醋液进行pH测定，结果见图1，与木醋液原液相比，稀释倍数为1∶5和1∶10的木醋液pH值没有显著差异，仅分别升高0.06和0.21。当稀释到50倍时，与木醋液原液相比，pH值显著增加（P<0.05），达到5.49，增加25.8%；当稀释到100倍时，pH达到6.2，增加42.5%；随着稀释倍数的增加，pH值增加，当稀释到500倍时，木醋液pH达到7.41，与清水的pH不存在显著性差异。

对木醋液EC的测定结果进行分析（图2），木醋液原液EC值最大，为18 mS·cm^{-1}，显著高于其他处理组，随着稀释倍数的加大，EC值逐渐降低。当稀释倍数为1∶5和1∶10时，EC值较木醋液原液显著降低，分别降低至5.96和2.78，当稀释到50倍以上时，EC值显著降低，接近于清水的EC值。

2.1.2 不同稀释倍数木醋液灌施对土壤pH和EC的影响

向土壤中浇灌不同稀释倍数的木醋液对土壤pH值的影响如图3所示，与灌水处理（pH=8.49）相比，灌施木醋液原液后土壤pH下降1.5个单位，降至6.99；浇灌稀释倍数为5倍的木醋液时，土壤pH值显著下降至7.13。稀释倍数从50倍处理开始，随稀释倍数增加，土壤pH逐渐接近于灌水处理。

灌施木醋液对土壤EC值的影响如图4所示，与灌水处理（EC值为0.16 mS·cm^{-1}）相比，浇灌木醋液原液后土壤的EC值显著上升，达到0.61 mS·cm^{-1}。此后随木醋液的稀释，土壤的EC值逐渐下降，稀释倍数大于50倍以后，土壤EC值与灌水处理差异不显著。



USWV-木醋液原液；不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下同
USWV-Undiluted solution wood vingegar; 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

Figure 1 pH values of wood vinegar under different dilution ratios

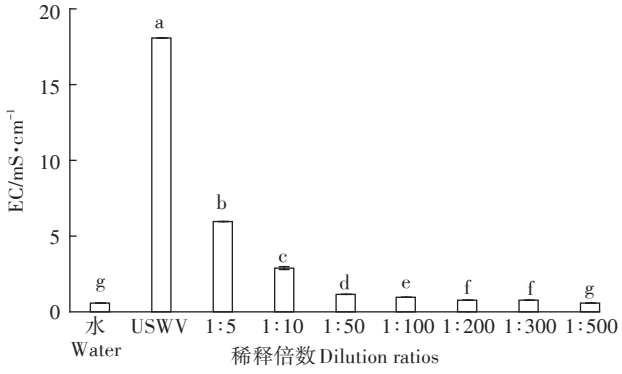


图2 不同稀释倍数木醋液的EC值

Figure 2 EC values of wood vinegar under different dilution ratios

2.2 灌施木醋液对茄子生长发育的影响

2.2.1 灌施木醋液对植株叶片光合特性及叶绿素含量的影响

在茄子生长过程中分4次浇灌木醋液。浇灌木醋液原液和稀释5倍木醋液的两组处理，茄子生长的前5 d之内全部死亡，因此，本试验没有检测到这两个处理的相关指标数据。其他处理的试验结果见表2。从表2看出，与灌水处理相比，灌施10倍木醋液茄子叶片光合速率、气孔导度和蒸腾速率显著降低，说明浇灌10倍木醋液对茄子的生长有明显的抑制作用。当稀释倍数增大到50倍和100倍时，则显著提高植株净光合速率，比灌水处理高出48.1%和49.4%。稀释倍数继续增大到200倍和300倍时，植株的净光合速率虽然高于灌水处理，但差异不显著，气孔导度和蒸腾速率也表现出了相同的趋势。

由叶片叶绿素含量分析结果（图5）可知，浇灌稀释倍数为10倍的木醋液处理叶绿素含量显著高于灌水处理。随着木醋液稀释倍数的增大，叶片叶绿素含量逐渐下降。当灌施木醋液稀释倍数为50、100倍时，叶片叶绿素含量较稀释倍数为10倍处理下降了13.0%和12.7%，但比灌水处理的叶绿素含量分别高12.0%和13.1%。当灌施木醋液倍数增大至200、300倍时，与灌水处理相比，植株叶片叶绿素含量没有显著差异。

2.2.2 灌施木醋液对茄子生长的影响

从表3可知，当灌施木醋液原液和稀释5倍的木醋液时，茄子植株受极重度伤害，叶片枯萎，植株死亡。当灌施稀释10倍的木醋液时，茄子植株受重度伤害，叶片小，颜色墨绿。当灌施稀释倍数为50、100倍的木醋液时，木醋液对茄子的生长有明显的促进作用，茄子生长健壮，与灌水处理相比，株高增加5.2、6.2 cm，茎粗增加0.6、0.7 cm，生物量增加29.5%、20.6%。但是当稀释倍数过高（200倍和300倍）时，木

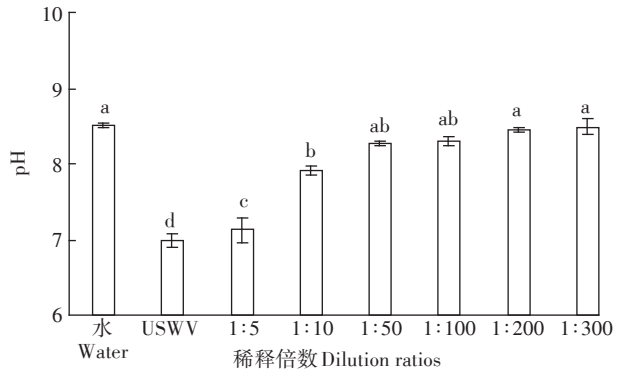


图3 灌施不同稀释倍数木醋液土壤的pH值

Figure 3 pH values of soils irrigated different dilution ratios of wood vinegar

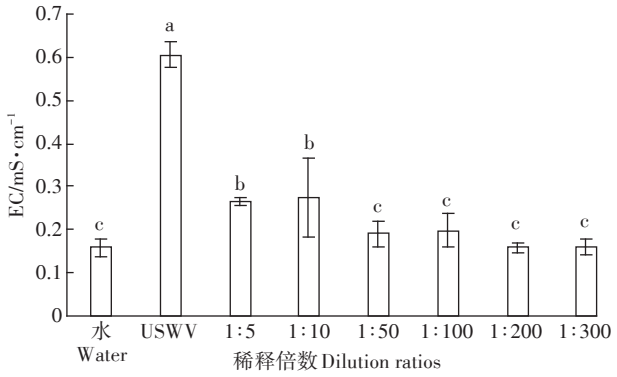


图4 灌施不同稀释倍数木醋液土壤的EC值

Figure 4 EC values of soils irrigated different dilution ratios of wood vinegar

表2 灌施不同木醋液对茄子叶片（开花前期）光合特性的影响

Table 2 Effect of wood vinegar on photosynthetic characteristics of eggplant leaves

处理 Treatments	净光合速率Pn/ μmol·m⁻²·s⁻¹	气孔导度Gs/ mol·m⁻²·s⁻¹	蒸腾速率Tr/ mmol·m⁻²·s⁻¹
水 Water	7.9±1.1b	0.2±0.1a	2.0±0.4a
木醋液原液USWV	—	—	—
1:5	—	—	—
1:10	5.8±1.1c	0.1±0.0b	1.4±0.3b
1:50	11.7±0.5a	0.3±0.1a	2.3±0.6a
1:100	11.8±0.9a	0.2±0.2a	1.9±0.2a
1:200	9.2±1.0b	0.2±0.2a	1.9±0.3a
1:300	9.1±3.4b	0.2±0.1a	2.0±0.9a

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$，LSD检验）。下同。

Note: Different lowcase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level (LSD). The same below.

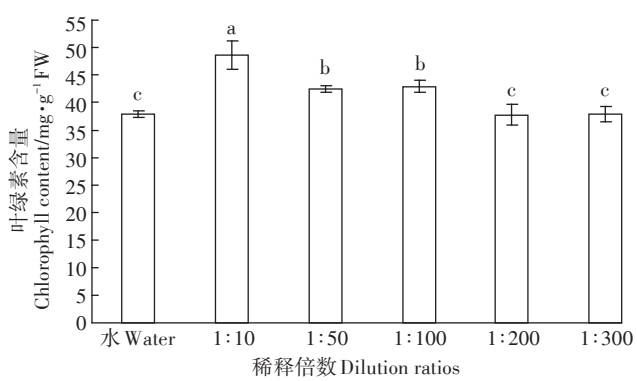


图5 灌施不同稀释倍数木醋液茄子叶片叶绿素含量

Figure 5 Effect of different dilution ratios of wood vinegar on the chlorophyll content in leaves of eggplant

醋液对茄子生长的促进作用减弱，与灌水处理相比差异不显著。

2.2.3 灌施不同稀释倍数的木醋液对茄子根系特征参数的影响

盆栽收获后，采用根系扫描仪测定了茄子根系特征参数。由表4可知，灌施稀释50倍以上木醋液时，主根长、主根直径、总根系鲜质量、总根表面积、总根体积和总根密度等指标均高于灌水处理，其中灌施稀释100倍的木醋液处理效果最好，主根长、主根直径、总根系鲜质量、总根表面积、总根体积、总根密度分别比灌水处理增加26%、25%、38%、22%、43%和34%，差异显著。当稀释倍数到200、300倍时，主根直径、总根表面积和总根体积虽高于灌水处理，但差异不显著。

3 讨论

木醋液本身呈酸性，本试验土壤为石灰性土壤，灌施木醋液降低土壤pH值。李忠徽等[17]研究表明当木醋液进入土壤后会使碳酸盐的溶解性增强，从而增加土壤的电导率。灌施木醋液原液和稀释5、10倍的木醋液，使土壤pH值显著降低，但土壤内部性质不均匀，不适宜作物根系的生长；当稀释倍数高于50倍时土壤pH值与灌水处理差异不显著，为根系提供稳定的环境。王海英等[18]的研究结果表明，灌施液体中木醋液的含量越高，土壤pH值越低，与本试验研究结果相同。石灰性的土壤pH值偏高，灌施木醋液可以降低土壤pH值，从而可以为植物生长提供良好的土壤环境，本试验得出灌施木醋液的最佳稀释倍数为50~100倍。但由于木醋液的灌施量增大，使得土壤的EC值增大，李宇虹等[19]研究结果表明日光温室越冬长茬果菜类蔬菜作物易出现盐害问题。

木醋液是一种混合物，含有酸、醇、酚、酮、醛等500多种有机成分，其中大多是微量成分[2]。因其成分的不同，对植物的生长表现为促进或抑制双重功效[20]。大部分醇类、酯类物质对作物有促进作用，如木醋液中戊酸甲酯、甲酸甲酯、乙酸乙酯等物质有促进植物生长作用[6]；木醋液中酚类物质对植物生长发育有一定的调节作用，特别是二元酚或多元酚对植物

表3 灌施不同稀释倍数木醋液对茄子生长的影响

Table 3 Effect of different dilution ratios of wood vinegar on eggplant growth

处理Treatments	株高Plant height/cm	茎粗Stem diameter/cm	生物量Biomass/g	生长状况Growth status
水Water	20.8±4.4ab	5.1±0.1ab	34.9±4.8ab	正常生长
木醋液原液USWV	—	—	—	极重度伤害，快速枯萎、死亡
1∶5	—	—	—	极重度伤害，逐渐枯萎、死亡
1∶10	16.4±4.6b	4.6±0.4b	21.7±9.2b	重度伤害，叶片小、墨绿
1∶50	26.0±2.5a	5.7±0.2ab	45.2±1.1a	灌后生长健壮，促进生长作用明显
1∶100	27.0±0.8a	5.8±0.7a	42.1±7.7a	灌后生长健壮，促进生长作用明显
1∶200	22.2±0.6ab	5.0±0.3ab	35.5±7.6ab	灌后生长良好，有一定的促进作用
1∶300	21.0±0.3ab	4.9±0.5ab	34.5±7.7ab	灌后生长良好，有微弱的促进作用

表4 灌施不同稀释倍数木醋液对茄子根系特征参数的影响

Figure 4 Effects of different dilution ratios of wood vinegar on root characteristics of eggplant

处理 Treatments	主根长 Main root length/cm	主根直径 Main root diameter/mm	总根系鲜质量 Total root fresh weight/g	总根表面积 Total root surface area/cm^2	总根体积 Total root volume/cm^3	总根密度 Total root density/$g·cm^{-3}$
水 Water	15.99±0.34c	2.73±0.16b	18.23±0.72c	2 050.7±56.0b	10.60±0.62b	0.52±0.01c
木醋液原液USWV	5.01±0.06e	0.83±0.06e	4.53±0.32e	200.1±0.5c	2.40±0.10d	0.08±0.01e
1∶5	5.96±0.23e	1.13±0.15d	5.26±0.31e	237.1±27.7c	2.50±0.10d	0.08±0.02e
1∶10	10.18±0.17d	1.93±0.06c	10.00±0.66d	501.6±40.2c	4.97±0.57c	0.25±0.12d
1∶50	19.63±0.34a	3.27±0.06a	24.52±0.46a	2 448.7±105.6a	14.77±0.50a	0.70±0.01a
1∶100	20.09±0.14a	3.40±0.10a	25.21±0.37a	2 506.5±53.8a	15.16±0.18a	0.70±0.01a
1∶200	17.61±0.38b	2.83±0.06b	20.49±0.73b	2 093.9±115.1b	11.80±1.02b	0.63±0.02b
1∶300	16.62±0.69c	2.77±0.06b	19.03±0.28c	2 098.8±143.7b	11.07±0.36b	0.54±0.02c

生长有显著的促进作用[21],但酚类物质对植物的影响存在阈值,在低浓度的情况下,才能对植物生长起到促进作用。木醋液中乙酸含量最多,但当有机酸含量过大时,会对作物根系生长产生毒害作用。杨华等[22]研究表明,木醋液对根系有促进作用。本试验研究中当灌施木醋液稀释倍数低于10倍时,对作物根系生长有毒害作用,从而抑制根系生长,严重时直接导致死亡;当稀释倍数高于50倍时,灌施到土壤中的木醋液使得作物根系生长良好。这是由于高温煅烧下生物质中的木质素、纤维素和半纤维素发生裂解,产生促进植物根系生长的有机酸、酚类等物质[23]。当灌施稀释倍数大于300倍的木醋液时,其产生作用的成分含量过低,对根系影响不大。

本试验中植物地上部和地下部的生长有相似性,当稀释倍数在50~200倍时,对茄子都有促进作用。本试验中木醋液提高茄子生物量,其可能作用机制是木醋液促进土壤养分(如土壤有机质和有效磷含量)的增加[24],并产生促进茄子根系生长的有机酸、酚类等物质,增强根系活力,进而促进光合作用及相关代谢过程。光合作用是植物生长发育中最重要的过程,植物干物质95%来自光合作用[25]。本试验研究证明灌施适宜稀释倍数木醋液可以增加叶片的净光合作用,灌施稀释50~100倍木醋液比灌水处理组显著提高净光合速率。试验中气孔导度不存在显著性差异,姚庆群等[26]研究表明,气孔关闭会减少CO_2从气孔进入叶片,从而导致植物光合速率降低。蒸腾速率与叶面积有关,叶面积越大蒸腾速率越大,盆栽试验中观察各处理的叶片大小发现,灌施1∶50的木醋液处理叶片最大,其蒸腾速率最大,与陈永群等[27]研究结果一致。叶绿素与光合作用有密不可分的关系[28],叶绿素含量的高低在一定程度上可以反映植物的生长状况和叶片的光合能力,余海云[29]研究表明叶绿素含量与净光合速率呈极显著正相关,与本实验研究结果一致,但是含量过高会抑制植物的生长,叶绿体在叶片内大量聚集并不起作用。

4　结论

(1)灌施一定稀释倍数的木醋液,对土壤的性质产生了一定的影响。木醋液本身呈酸性,施入土壤后,土壤pH值降低,当灌施木醋液稀释倍数为1∶300倍时,土壤pH值与灌水处理差异不显著,木醋液施入土壤后,土壤EC值提高。

(2)木醋液分4次灌施到土壤中,生物试验表明,灌施稀释倍数小于10倍的木醋液时,对茄子生长有明显的抑制作用,稀释倍数50~200倍时,可以促进茄子生长,继续增大稀释倍数对茄子生长无明显作用。

参考文献:

[1] 卢辛成. 木醋液的制备、精制与应用研究进展[J]. 林产化学与工业, 2017, 37(3):21-30.
LU Xin-cheng. Review on preparation and application of wood vinegar [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2017, 37(3):21-30.

[2] 蒋恩臣, 赵晨希, 秦丽元, 等. 松子壳连续热解制备木醋液试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5):262-269.
JIANG En-chen, ZHAO Chen-xi, QIN Li-yuan, et al. Experiment of wood vinegar produced from pine nut shell continuous pyrolysis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(5):262-269.

[3] 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, 32(1):28-32.
LIU Chang-feng, LI Min, GAO Pin-yi, et al. Research progress of source, chemical compositions and application of wood vinegar[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(1):28-32.

[4] Yatagai M, Nisimoto M N, Hori K, et al. Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues[J]. *J Wood Sci*, 2002, 48: 338-342.

[5] 王　玉. 木醋液的研究进展[J]. 安徽林业科技, 2015, 41(5):12-15.
WANG Yu. Research progress on wood vinegar[J]. *Anhui Forestry Science and Technology*, 2015, 41(5):12-15.

[6] 平　安. 木醋液在农业上的应用及作用机理研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
PING An. Research on the agriculture application of pyroligneous acid and mechanism[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.

[7] 金光洙, 金在久, 朴惠顺, 等. 精制木醋液的安全性评价[J]. 中国野生植物资源, 2005, 24(2):54-56.
JIN Guang-zhu, JIN Zai-jiu, PIAO Hui-shun. Evaluation of safety on purified wood vinegar[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2005, 24(2): 54-56.

[8] 平　安, 杨国亭, 于学军. 木醋液在农业上的应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19):244-247.
PING An, YANG Guo-ting, YU Xue-jun. The research progress of the pyroligneous acid applied in agriculture[J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, (19):244-247.

[9] Kang M Y, Heo K H, Kim J H, et al. Effects of carbonized rice hull and wood charcoal mixed with pyroligneous acid on the yield, and antioxidant and nutritional quality of rice[J]. *Turk J Agric*, 2012, 36:45-53.

[10] 吴　昊, 韩晓颖. 木醋液的性质及应用研究进展[C]//中国环境科学学会2010年学术年会论文集. 北京:中国环境科学出版社, 2010.
WU Hao, HAN Xiao-ying. Research progress on properties and application of wood vinegar[C]//Proceedings of 2010 Academic Conference of the Chinese Society of Environmental Sciences. Beijing: China Environmental Science Press, 2010.

[11] 刘　标, 陈应泉, 何　涛, 等. 农作物秸秆热解多联产技术的应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16):213-219.
LIU Biao, CHEN Ying-quan, HE Tao, et al. Application of cogeneration technology of gas-liquid-solid products pyrolyzed from crop straw [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(16):213-219.

[12] Univ L, Fukuoka K, Furuya T, et al. Effect of different kinds of environmental friendly materials on the growth of rice[J]. *J Fac Agric*, 2007, 52:39-42.

[13] 梁志英, 杨治平, 王永亮, 等. 不同模式下春玉米物质生产与群体光合性能研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12):67-71.
LIANG Zhi-ying, YANG Zhi-ping, WANG Yong-liang, et al. Study on dry matter production and population photosynthetic characteristics of high-yield spring maize under different modes[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(12):67-71.

[14] 高海霞. 不同农林废弃物木醋液理化性质及生物活性的比较研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2012.
GAO Hai-xia. Comparative studies on chemical profiles and biological activities of different agricultural and forestry residues[D]. Yangling:Northwest A&F University, 2012.

[15] 尉　芹, 马希汉, 郑　滔. 核桃壳木醋液的制取、成分分析及抑菌试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7):276-279.
WEI Qin, MA Xi-han, ZHENG Tao. Preparation, chemical constituents analysis and antimicrobial activities of pyroligneous acid of walnut shell[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7):276-279.

[16] 陆柏益, 鲍建峰, 山　琳, 等. 超临界CO_2萃取毛竹笋油的工艺及产品成分[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8):312-316.
LU Bai-yi, BAO Jian-feng, SHAN Lin, et al. Technology for supercritical CO_2 extraction of bamboo shoot oil and components of product [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(8):312-316.

[17] 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, 20(2):510-516.
LI Zhong-hui, WANG Xu-dong. Effect of wood vinegar on soil properties and plant growth[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(2):510-516.

[18] 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 Hai-ying, YANG Guo-ting. The fundamental parameters and component alalysis of three kinds of wood vinegar[J]. *Ter Nat Res Study*, 2005(4):91-92.

[19] 李宇虹, 陈　清. 设施果类蔬菜土壤EC值动态及盐害敏感性分析[J]. 中国蔬菜, 2014, 1(2):15-20.
LI Yu-hong, CHEN Qing. Analysis of soil EC value dynamic and salt sensitivity for facility fruity vegetable[J]. *China Vegetables*, 2014, 1(2):15-20.

[20] 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 Lin, DONG Lin, WANG Jia-chen, et al. Influence of wood vinegar as leaves fertilizer on growth and quality of tomato[J]. *Beijing Agri*, 2010(30):58-62.

[21] 林开敏, 叶发茂, 林　艳, 等. 酚类物质对土壤和植物的作用机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5):1130-1137.
LIN Kai-min, YE Fa-mao, LIN Yan, et al. Research advances of phenolic functional mechanisms in soils and plants[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(5):1130-1137.

[22] 杨　华. 木醋液对蔬菜种子发芽及其芽苗根茎生长作用的效果研究[J]. 辽宁城乡环境科技, 1997, 17(3):78-80.
YANG Hua. Effect of wood vinegar on the germination of vegetable seeds and their sprouts roots growth[J]. *Liaoning Urban Rural Environ Sci & Tech*, 1997, 17(3):78-80.

[23] 吕云琳, 孙蒙蒙, 丛　维, 等. 木材加工废弃液作为灌根肥对草莓根系特性影响的研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(13):122-125.
LÜ Yun-lin, SUN Meng-meng, CONG Wei, et al. Influence of waste liquor of wood processing as root irrigation fertilizer on root system characteristics of strawberry[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(13):122-125.

[24] 潘玉蕊, 郑风萍, 陈　林, 等. 两种木醋液对烟草生长及土壤养分的影响[J]. 绿色科技, 2018(11):28-32.
PAN Yu-rui, ZHENG Feng-ping, CHEN Lin, et al. Effects of two wood vinegars on tobacco growth and soil nutrients[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2018(11):28-32.

[25] 程建峰, 沈允钢. 试析光合作用的研究动向[J]. 植物学通报, 2011, 46(6):694-704.
CHENG Jian-feng, SHEN Yun-gang. On the trends of photosynthesis research[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2011, 46(6):694-704.

[26] 姚庆群, 谢贵水. 干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制[J]. 热带农业科学, 2005, 25(4):80-85.
YAO Qing-qun, XIE Gui-shui. The photosynthetic stomatal and non-stomatal limitation under drought stress[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2005, 25(4):80-85.

[27] 陈永群, 吴崇读, 杜宗飞, 等. 对蒸腾作用的初步探究[M]. 中学生物学, 2007, 23(5):35-36.
CHEN Yong-qun, WU Chong-du, DU Zong-fei, et al. A preliminary study on transpiration[M]. Middle School Biology, 2007, 23(5):35-36.

[28] 孙丽敏, 金竹萍, 钱嘉航, 等. 干旱胁迫下H_2S信号增强植物叶片的光合作用[J]. 中国细胞生物学学报, 2017, 39(12):1583-1591.
SUN Li-min, JIN Zhu-ping, QIAN Jia-hang, et al. H_2S enhanced photosynthesis in response to drought stress[J]. *Chinese Journal of Cell Biology*, 2017, 39(12):1583-1591.

[29] 余海云. 茶树不同冠层叶片光合作用特性及其季节变化特性的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
YU Hai-yun. Study on photosynthesis and seasonal variation of tea leaves in different canopy layers[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.