

有机材料结合集雨措施对山地果园理化性质的影响

张彬彬^{1,2}, 吴淑芳^{1,2}, 冯浩^{2,3}, 陈光杰^{1,2}, 宋小林^{1,2}

(1.西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100;2.西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院,陕西 杨凌 712100;3.中国科学院水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解黄土丘陵区雨养条件下山地果园有机材料结合集雨措施(organic materials combined with rainwater collection measures, OMR)对苹果园土壤理化性质的影响,2016年4月在陕西延安山地苹果园,以果树树冠投影面反坡修建鱼鳞坑和集雨坑,研究了有机材料用量分别为5 250 kg/hm² (OMR1),4 500 kg/hm² (OMR2),3 750 kg/hm² (OMR3),0 kg/hm² (CK)以及传统处理T对苹果园土壤理化性质的影响,测定了0—300 cm土层土壤含水率和土壤电导率,0—200 cm土壤土层硝态氮含量和0—100 cm土层土壤容重和饱和导水率。结果表明:有机材料结合集雨措施能够显著增加果园0—300 cm土层土壤含水率,OMR2处理土壤平均含水率增加最显著,有机材料结合集雨措施处理(OMR1、OMR2、OMR3)的土壤根系湿润区主要集中在0—100 cm土层。0—300 cm土层OMR2处理土壤多次平均含水率值最高,为14.87%;OMR1、OMR3、CK和T处理的土壤多次平均含水率分别为14.74%,14.80%,12.79%和8.66%。有机材料结合集雨措施处理能够显著增加0—200 cm土层土壤硝态氮含量,尤其增加40—100 cm土层土壤的硝态氮含量;有机材料结合集雨措施能够显著降低土壤容重,尤其是20—60 cm土层的土壤容重;有机材料结合集雨措施能够增加土壤饱和导水率,尤其增加0—40 cm土层土壤的饱和导水率;有机材料结合集雨措施能够增大土壤的电导率,并且峰值出现在60—100 cm土层中,0—300 cm土层土壤电导率呈现OMR2>OMR1>OMR3>CK>T。总体而言,在陕西延安采用有机材料结合集雨措施能够显著提高山地苹果园土壤含水率和土壤硝态氮含量,降低土壤容重,增大饱和导水率和电导率,使果树在适宜的环境中生长,促进当地山地果业可持续发展。

关键词: 有机材料;集雨措施;土壤含水率;硝态氮含量;土壤容重;饱和导水率;电导率

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2019)04-0241-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.04.034

Effects of Organic Materials Combined with Rainwater Collection Measures on Soil Physicochemical Properties of Mountain Apple Orchards

ZHANG Binbin^{1,2}, WU Shufang^{1,2}, FENG Hao^{2,3}, CHEN Guangjie^{1,2}, SONG Xiaolin^{1,2}

(1. Institute of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In order to explore the effects of organic materials combined with rainwater collection measures (OMR) on soil physicochemical properties of apple orchard under rain-fed conditions on the Loess Plateau, apple orchards in Yan'an of Shaanxi Province were selected to conduct the experiments in April 2016. Fish scale pit and rain-collecting pit were conducted on the reverse slope of crown projection surface of apple trees, and the effects of different dosages of organic materials (5 250 kg/hm² (OMR1), 4 500 kg/hm² (OMR2), 3 750 kg/hm² (OMR3) and 0 kg/hm² (CK)) and traditional treatment (T) on soil physicochemical properties were studied. Soil water content and electrical conductivity in 0—300 cm soil layer, nitrate nitrogen content in 0—200 cm soil layer and soil bulk density and saturated hydraulic conductivity in 0—100 cm soil layer were determined. The results showed that OMR could significantly increase the soil moisture content in 0—300 cm soil layer, and the average soil moisture content increased most significantly in OMR2 treatment. The soil root wetting areas in OMR1, OMR2 and OMR3 treatment were mainly concentrated in 0—100 cm soil layer. In the 0—300 cm soil layer, the multiple average moisture content of OMR2 treatment was the highest (14.87%), while that of OMR1, OMR3, CK and T treatment was 14.74%, 14.80%, 12.79% and 8.66%,

收稿日期:2019-01-19

资助项目:杨凌示范区产学研用协同创新重大项目(2017001451);国家“十三五”重点研发计划项目(2017YFC0403605)

第一作者:张彬彬(1990—),男,硕士研究生,主要从事农业水土资源利用与保护研究。E-mail:zbb0841@163.com

通信作者:吴淑芳(1977—),女,博士,副研究员,主要从事农业水土资源利用与保护研究。E-mail:wsfjs@163.com

respectively. The OMR could significantly increase the content of nitrate nitrogen in 0—200 cm soil layer, especially in 40—100 cm soil layer. The OMR could significantly reduce soil bulk density, especially the bulk density of 20—60 cm soil layer. The OMR could increase soil saturated hydraulic conductivity, especially in 0—40 cm soil layer. The OMR could increase soil electrical conductivity, and the peak value appeared in 60—100 cm soil layer, and the electrical conductivity of 0—300 cm soil layer followed the order of OMR2>OMR1>OMR3>CK>T. Overall, the OMR in Yan'an, Shaanxi could significantly improve soil moisture content, and nitrate nitrogen content, soil saturated hydraulic conductivity and electrical conductivity, reduce soil bulk density, with make fruit trees grow in suitable environment and promote sustainable development of local fruit industry.

Keywords: organic materials; rainwater collection measures; soil moisture content; nitrate nitrogen content; soil bulk density; saturated hydraulic conductivity; electrical conductivity

黄土高原地区是我国苹果四大主产区之一,其栽培面积已连续多年稳居全国首位^[1],对我国苹果产业发展具有重大意义^[2]。目前,苹果产业已成为促进该区域经济发展的支柱产业^[3]。然而当地果园灌溉困难,果树所需水分主要来源于降水,并且该地区降水少、春旱、伏旱严重,年降水量分布不均,自然降水与苹果需水之间的关系极不协调^[4],加之本地区土壤有机质含量低^[5],果园管理技术粗放,现有果园地面管理多采用清耕制,导致坡面土壤蓄水抑蒸保墒抗蚀效果差,水土流失严重,土壤肥力下降;果树根部常年施用大量化肥,导致局部土壤化肥污染严重,肥料利用率低下;果园整体土壤平均含氮量为 0.067%~0.046%,有效磷含量为 2.74 mg/kg,土壤偏碱性,PH 在 8.5 以上;果园苹果普遍着色不好,严重缺乏植物所需的微量元素,土壤水分、养分严重限制了苹果产业的高效、稳定和可持续发展^[6-7]。

有机材料结合集雨措施是近年来在陕西延安山地雨养果园应用的一种节水技术,与传统的地面灌溉相比,该技术拥有与 Zhao 等^[8]提出的蓄水坑灌法(WSP)相同的节水、保水、增强土壤抗旱和拦蓄径流的作用;Song 等^[9]研究表明,雨水积聚入渗深层技术能够显著增加果园 0—300 cm 土层的土壤含水量,尤其是增加含水量低值区域(40—80 cm 土层)的土壤含水量。

有机材料结合集雨措施是一项通过土壤中添加有机、无机材料及高分子保水剂等,有效调节土壤水、热、气状况,改善土壤团粒结构,增加土壤有效孔隙,抑制土壤表面无效蒸发,有效改善土壤持水保水和固肥能力的技术^[10]。曹丽花等^[11]研究发现,在适宜浓度下施用人造土壤结构改良剂聚丙烯酰胺(polyacrylamide,PAM)等均能显著降低土壤体积质量,增大土壤中孔隙度,增大土壤中有效水分体积分数。周立峰等^[12]认为,施用土壤扩蓄增容肥能够提高冬小麦的产量和水分利用率,但是有机材料结合集雨措施在山地苹果树的应用上面鲜有研究。为解决山地果园水肥问题,本研究采用有机材料结合集雨措施,比

较不同用量有机材料对土壤容重、饱和导水率、土壤含水率和硝态氮含量土壤电导率的影响,旨在为该措施的推广和应用提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

2016 年 4 月选取位于典型黄土高原丘陵沟壑区陕西省延安市宝塔区万庄村(36°11′—37°09′N, 109°21′—110°03′E)雨养山地苹果园为试验地,试验地果园东向坡度 15°,种植密度为 5 m×4 m,树龄 9 年,主栽品种为“红富士”(Malus domestica Borkh. cv. Red Fuji),砧木为八棱海棠(Malus robusta Rehd.)。试验地属于干旱半干旱气候,年平均降水量 500 mm,年平均气温 9.4℃,无霜期 170~186 d。试验地土壤质地为黄绵土,2016 年延安试验地苹果生育期降水量见图 1。试验地 0—100 cm 土层土壤为黄绵土,0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土壤容重分别为 1.15,1.19,1.22,1.26,1.33 g/cm³。

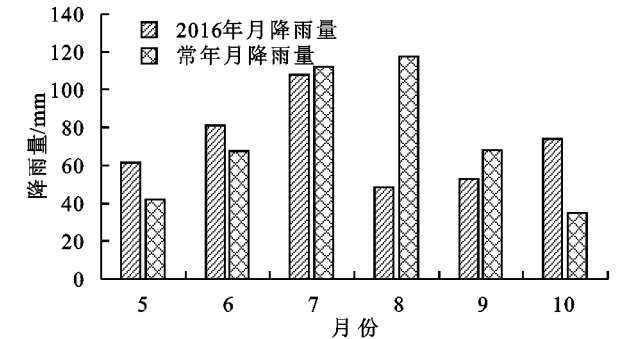


图 1 延安试验地 2016 年 5—10 月降雨情况

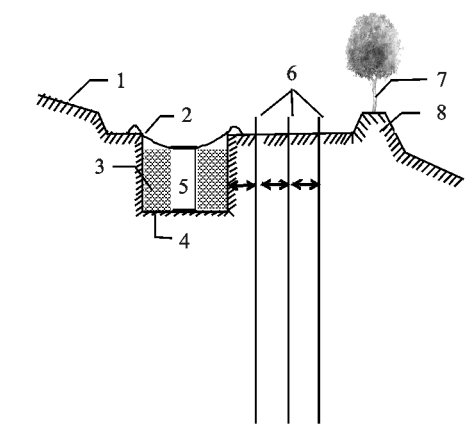
1.2 有机材料结合集雨措施概述

有机材料结合集雨措施是在树冠下距树干下方 150 cm 处挖掘渗水坑(坑口为正方形,规格为 80 cm×80 cm;深度为 40 cm)。坑底部有防水材料防止深层渗漏,坑中央埋设管壁有多孔的引流管,坑内采用有机材料或回填土进行填埋压实,表面修成凹面状,塑料膜平铺于凹槽表面,最后以集雨坑为中心,顺坡沿果树树冠投影面下方修修葺半圆型鱼鳞坑(图 2)。

填埋的有机材料由 2 部分组成:主材料和辅料。

主材料为蓖麻油渣、风化煤、尿素、磷酸二铵、磷酸二氢钾或硫酸钾;外加辅料包括粉碎秸秆、硫酸锌、硫酸亚铁、聚丙烯酰胺(PAM)、活性炭或胶原蛋白或磷酸

三钙,将主料和辅料按照一定的比例进行置堆发酵制成有机材料,有机材料的有机质含量 79.23%,含氮 6.68%,含磷 2.25,含钾 0.316%。



注:1为坡地表面;2为塑料膜;3为有机材料;4为防渗层;5为引流管;6为 TRIME 管;7为树茎;8为鱼鳞坑壁。

图 2 有机材料结合集雨措施工程示意

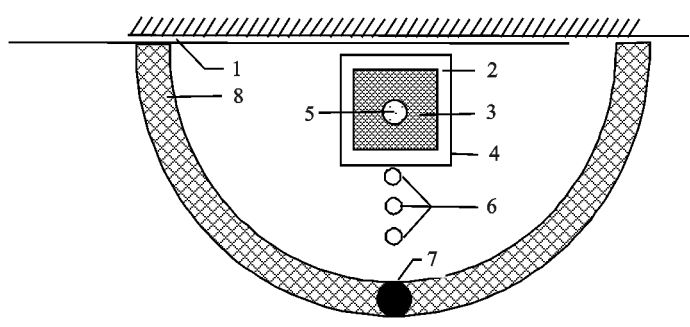
试验设计包含 5 个处理,每个处理 3 次重复,分别为 OMR1、OMR2、OMR3、CK 和 T 处理。OMR1、OMR2 和 OMR3 处理挖掘图 2 中描述的集雨措施,将有机材料与土壤回填至集雨坑中,其中 OMR1、OMR2 和 OMR3 处理施用有机材料用量分别为 5 250,4 500,3 750 kg/hm²,传统处理 T 指无集雨坑,施肥方式为传统施肥方法,具体施肥量为尿素 1 500 kg/hm²,磷酸二铵 750 kg/hm²,CK 处理施肥量按照 T 处理施肥,再挖掘与有机材料结合集雨措施处理位置、口径大小相同的坑,并回填修复为原状后修葺与有机材料结合集雨措施处理相同的鱼鳞坑,以最大限度减少由于挖掘集雨坑和鱼鳞坑所引起的试验误差,上述处理施肥时期均在苹果开花期以前施入。

1.3 测定项目与研究方法

1.3.1 土壤体积含水率和电导率 土壤体积含水率和电导率的测定采用管式 TDR 系统 (TRIME-IPH,IMKO,德国),对试验小区内土壤水分的运移状况和电导率变化状况进行长期实时监控。TRIME 管的布设见图 1。分别在果树主干与集雨坑中心连线上(果树主干方向)距集雨坑壁 40 cm 处,埋设深度为 300 cm。分别于 2016 年 5—10 月监测土壤水分和电导率状况,每隔 20 cm 测定 1 次。

1.3.2 土样采集 2016 年 7,8,10 月在每个处理果树距离集雨坑 20 cm 处采集 0—300 cm 土层土样,将土样带回实验室风干,过 2 mm 筛,用 2 mol/L 的 KCl 溶液浸提—流动分析仪测定土壤硝态氮的含量。

1.3.3 土壤容重和饱和导水率 由于有机材料填埋在集雨坑中,很难随着水分的运移大量地移动到其他地方,并且较难移动到距离集雨坑较远的地方,对距离集雨坑较远的土壤物理性质影响不明显,且使用有机材料时限较短,所以在 2016 年 10 月苹果收获后,



在距离集雨坑 10 cm 处采用 100 cm³ 的环刀,每 20 cm 为 1 层,采集 0—100 cm 土层土壤原装土样,带回实验室测定土壤容重;用定水头法测定土壤饱和导水率。采集 T 处理的土壤样品与采集有集雨坑处理的土壤样品距离苹果树茎的位置相同。

1.4 数据处理

试验中所有数据均为各重复测定的平均值,采用 Excel 和 SPSS 12.0 软件对数据进行处理分析,One-way ANOVA 用于显著性检验, Sigma Plot 12.5 软件用于图形绘制。

2 结果与分析

2.1 生育期内土壤水分时空分布

土壤水分的剖面分布主要受自然降水、土壤蒸发和植物耗水等相互作用的影响。图 3 为 2016 年苹果生育期 0—300 cm 土层土壤水分动态变化。不同处理土壤水分时空变化呈现不同特征,在 0—100 cm 土层内(图 3a),土壤含水量表现出对降雨事件更快速的响应,降雨能够快速的影响 0—100 cm 土层土壤的含水量,0—100 cm 土层为土壤水分季节性波动层,在该土层中,各处理土壤表层水分最大值出现在 7 月,传统处理 T 多次平均含水率为 9.91%,OMR1、OMR2、OMR3 和 CK 处理分别为 17.39%,18.90%,16.65%和16.76%,显著高于传统处理 T,分别比传统处理 T 高出 75.48%,90.72%,68.01%,69.12%,说明有机材料结合集雨措施能够保蓄更多的水分;在 100—200 cm 土层(图 3b),受降雨和蒸发的影响较小,为季节性低湿层,OMR1、OMR2、OMR3 和 CK 处理分别比传统处理 T 高出 66.69%,71.38%,60.65%和 51.86%;在 200—300 cm 土层(图 3c),基本不受降雨和蒸发的影响,为常年低湿层,OMR1、

OMR2、OMR3 和 CK 处理分别比传统处理 T 高出 43.05%，52.39%，54.01%和 41.25%，说明有机材料结合集雨措施处理补给了该层水分。在整个苹果生育期，有机材料结合集雨措施处理 0—300 cm 土层土壤平均水分均高于 CK 和 T 处理，OMR2 处理 0—300 cm 土层土壤水分较 CK 和 T 处理提高 11.40%和 72.59%，降雨之后，湿润的有机材料能够成为苹果的“水库”，持续为果树提供水分，有机材料结合集雨措施主要影响 0—100 cm 土层土壤水分，对深层土壤水分也有一定的补给作用。

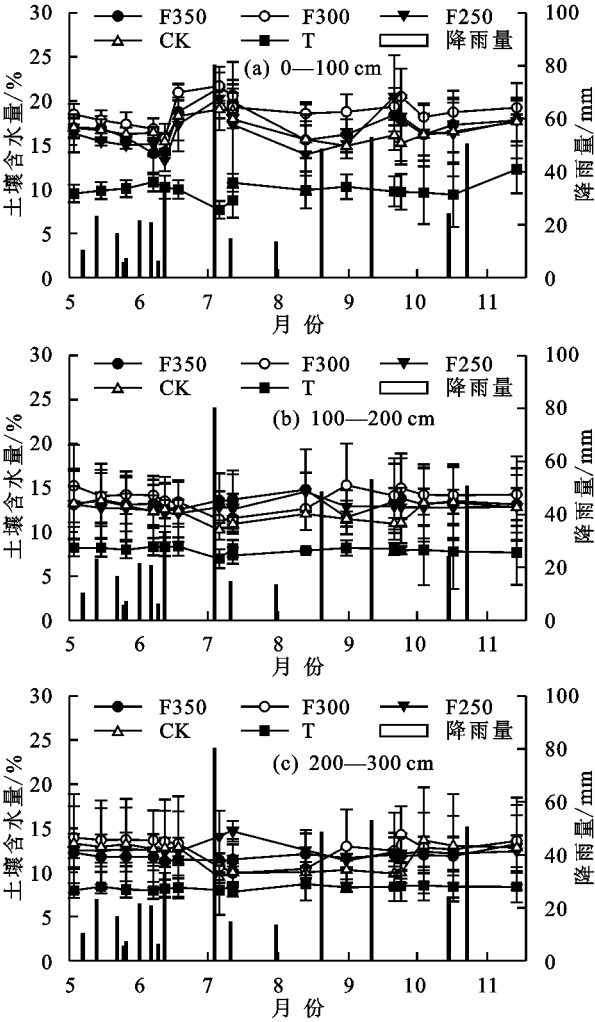


图 3 2016 年苹果生育期不同处理土壤含水量变化

2.2 生育期内土壤硝态氮分布

2016 年不同处理 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量分布见图 4。由图 4 可以看出，在山地雨养果园进行有机材料结合集雨措施后，各处理 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量均有不同程度的增加。在 7 月(图 4a)，OMR3 处理的硝态氮含量呈先增大后减小的趋势，最后趋于稳定，并且在 80 cm 处达最大值，其他处理趋于稳定变化，并且变化不显著，0—200 cm 土层土壤硝态氮含量表现为 OMR3>OMR2>OMR1>CK>T；在 8 月(图 4b)，各有机材料结合集雨措施处

理均有不同程度变化，并且随着土层深度的增加，0—200 cm 土层土壤硝态氮含量均为先增大后减小，最后趋于稳定的趋势，OMR3 处理硝态氮含量较 7 月有所减少，OMR1 和 OMR2 处理硝态氮含量均有所增加，并且均在 60 cm 或 80 cm 处取得最大值，CK 和 T 处理变化不显著，各处理硝态氮含量表现为 OMR1>OMR2>OMR3>CK>T；在 9 月(图 4c)，各有机材料结合集雨措施处理硝态氮含量随着土层深度的增加呈先增大后减小最后趋于稳定波动，随着硝态氮的累积入渗时间增加，各有机材料结合集雨措施处理硝态氮含量的峰值出现的土层深度均有不同程度的降低，其中 OMR2 处理硝态氮含量在 100 cm 处达最大值，CK 和 T 处理变化不显著，各处理硝态氮含量表现为 OMR2>OMR1>OMR3>T>CK。

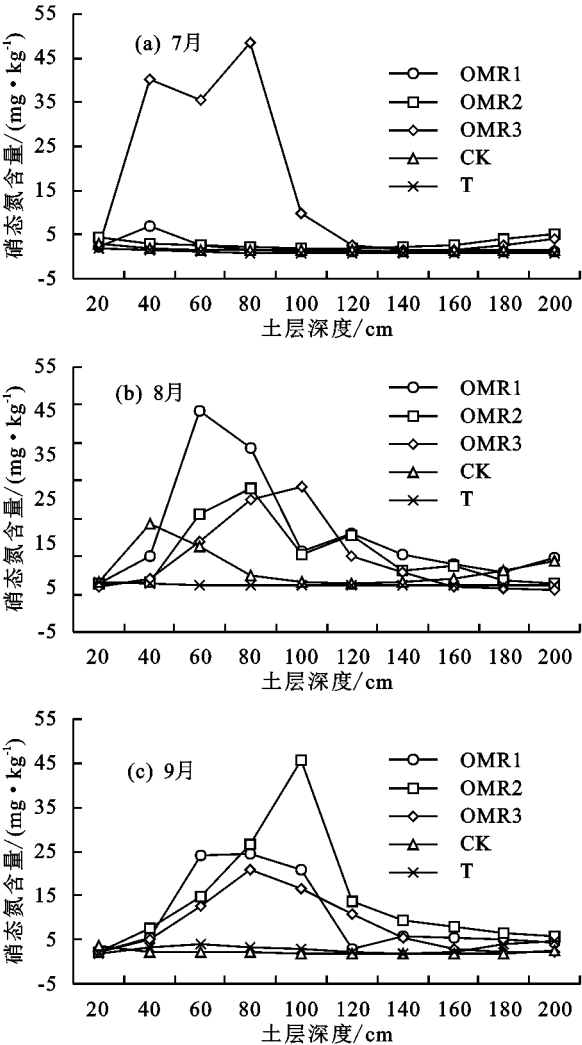


图 4 2016 年苹果生育期硝态氮含量

2.3 土壤容重

土壤容重是反映土壤结构和土地持水能力的重要指标^[13]。不同处理下 0—100 cm 土层土壤容重变化见表 1。从表 1 可以看出，随着土层深度的增加，土壤容重呈现增加的趋势。在 0—20 cm 土层中，各处理土壤容重均无显著差异，CK 处理在该层的容重

最大,为 1.32 g/cm³;在 20—40 cm 土层中,CK 和 T 处理土壤容重均为 1.32 g/cm³,显著高于 OMR1 处理,容重均较 OMR1 处理提高 5.6%;在 40—60 cm 土层中,T 处理容重最大,为 1.34 g/cm³,显著高于 OMR1 处理,较 OMR1 处理高 7.2%;在 60—80, 80—100 cm 土层中,各处理虽无显著性差异,但是 OMR1 和 OMR2 处理容重均小于 CK 和 T 处理。由于有机材料埋深为 40 cm,所以主要影响 20—40, 40—60 cm 土层土壤的容重,均产生显著差异,并且随着有机材料量的增加,同一土层容重呈现降低趋势。这可能是因为施用有机材料后,土壤的孔隙度增大,并且修葺鱼鳞坑和集雨坑扰动了土壤,使土壤蓬松,进一步增大土壤的孔隙度,从而降低土壤容重。

表 1 2016 年 10 月 0—100 cm 土层土壤容重

单位:g/cm³

土层深度/cm	OMR1	OMR2	OMR3	CK	T
0—20	1.24a	1.28a	1.25a	1.32a	1.30a
20—40	1.25b	1.28ab	1.29ab	1.32a	1.32a
40—60	1.25b	1.28ab	1.28ab	1.30ab	1.34a
60—80	1.30a	1.27a	1.30a	1.32a	1.33a
80—100	1.27a	1.30a	1.33a	1.33a	1.32a
平均	1.26	1.28	1.30	1.32	1.32

注:表中数字后不同字母表示同一土层不同处理间有显著性差异(P<0.05)。下同。

2.4 饱和导水率

不同处理 0—100 cm 土层土壤饱和导水率变化见表 2。从表 2 可以看出,在 0—20 cm 土层中,有机材料结合集雨措施处理均显著大于 CK 和 T 处理,并且 OMR1 处理在该层饱和导水率最大,为 0.028 5 cm/min,分别比 CK 和 T 处理高 63.79%和 43.94%;在 20—40 cm 土层中,OMR1 处理饱和导水率最大,为 0.031 5 cm/min,显著高于其他处理,分别比 CK 和 T 处理提高 11.02%和 64.06%;40—60, 60—80 cm 土层土壤中,各处理饱和导水率无显著差异,均为 OMR2 处理饱和导水率最大;在 80—100 cm 土层中,OMR2 处理显著高于其他处理,分别较 CK 和 T 处理提高 15.42%和 24.76%。

表 2 2016 年 0—100 cm 土层土壤饱和导水率

单位:cm/min

土层深度/cm	OMR1	OMR2	OMR3	CK	T
0—20	0.0285a	0.0245b	0.0233b	0.0174c	0.0198c
20—40	0.0315a	0.0280b	0.0245c	0.0262bc	0.0192d
40—60	0.0210a	0.0216a	0.0207a	0.0192a	0.0192a
60—80	0.0227a	0.0228a	0.0227a	0.0192a	0.0198a
80—100	0.0227b	0.0262a	0.0227b	0.0227b	0.0210b
平均	0.0253	0.0246	0.0228	0.0210	0.0198

总体来说,有机材料结合集雨措施能够改善土壤的饱和导水率,其改善效果表现为 OMR1>OMR2>OMR3>CK>T,相较于 T 处理,OMR1 能够显著改

善 0—40 cm 土层土壤的饱和导水率。

2.5 土壤电导率

由图 5 可知,有机材料结合集雨措施处理 2016 年苹果生育期 7 月(图 5a)0—300 cm 土层土壤的电导率呈现先增大再减小最后趋于稳定的变化趋势,峰值出现在 60—80 cm 土层土壤,200—300 cm 土层土壤电导率变化不大,无明显差异。CK 和 T 处理电导率变化幅度较小,呈现稳定波动的趋势,在 0—200 cm 土层土壤中 OMR2 处理的电导率高于其他处理,分别比 CK 和 T 提高 145.82%和 137.19%;在 8 月(图 5b),各处理电导率的变化趋势与 7 月相似,有机材料结合集雨措施处理 8 月 0—300 cm 土层土壤电导率较 7 月均减小,其中 OMR3 处理 8 月 0—300 cm 土层土壤电导率较 7 月变化最大,减少 22.57%;降幅最大的为 60—100 cm 土层;在 9 月(图 5c),各处理电导率变化与 7,8 月相似,但土壤电导率峰值下降,出现在 80—100 cm 土层。

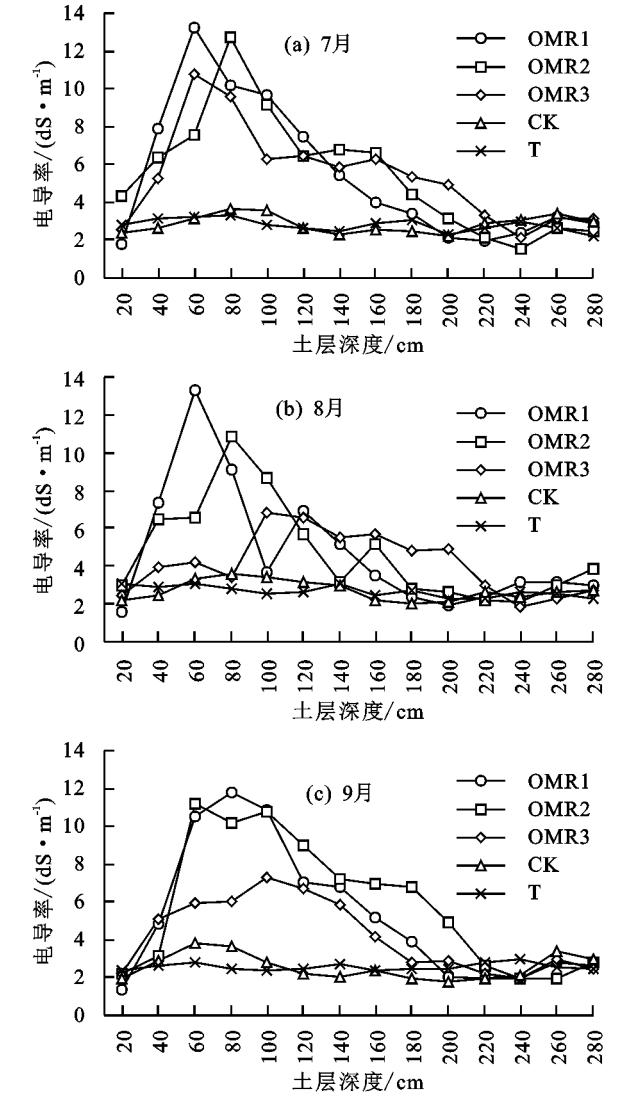


图 5 2016 年 7—9 月 0—300 cm 土层土壤电导率垂向变化
7—9 月,有机材料结合集雨措施 0—300 cm 土层土壤平均电导率先减小后增大,CK 和 T 处理 0—

300 cm 土层土壤平均电导率呈现逐渐减小的趋势,并且 0—300 cm 土层土壤 7—9 月电导率表现为 $OMR2 > OMR1 > OMR3 > CK > T$ 。

3 讨论

3.1 不同处理对土壤水分的影响

有研究^[14]表明,有机材料表现出较强的贮蓄降水的功能,可提高降水在土壤中的保蓄。本研究表明,在黄土高原无灌溉条件下,苹果各生育期,有机材料结合集雨措施能够显著提高 0—100 cm 土层土壤含水率,且明显高于 CK 和传统处理 T,原因可能是施用有机材料改善了土壤的孔隙状况,促进水稳定团聚体的形成,从而提高土壤的蓄水性 and 持水能力,集雨坑能够很好地贮蓄降雨,使强降水产生较少地表径流,在雨量较大的时段能够起到较好的蓄水能力,缓解土壤深层干燥化程度,提高土壤含水率,起到蓄水保墒效果。Song 等^[15]研究表明,雨水集聚入渗深层技术能够显著增大陕北雨养苹果从表层土壤到雨水最大入渗深度(200 cm)的含水量,这与本研究结果一致。

3.2 不同处理对土壤硝态氮含量的影响

土壤硝态氮对作物的生长起到至关重要的作用^[16],能够较好地反映植物生长过程中土壤的供氮能力^[17]。有机材料结合集雨措施能够增加 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量,尤其是 40—120 cm 土层增量最大,这与潘婷等^[18]的研究结果一致;高洪军等^[17]研究表明,在春玉米整个生育期,等氮条件下有机无机配施处理硝态氮含量高于化肥处理;赵聪等^[19]在陕西杨凌的长期定位试验发现,配施有机肥增加了土壤耕层硝态氮含量。本研究结果表明,有机材料结合集雨措施能够增大 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量,尤其是增加 40—100 cm 土层土壤硝态氮含量,为果树的生长提供氮素,并且随着降雨的入渗作用,有机材料结合集雨措施处理的硝态氮含量峰值逐渐下移,促进该土层根系的生长。

3.3 不同处理对土壤容重的影响

土壤容重是反映土壤的紧实程度的指标,一般来说,作物生长需要一个合适的容重范围,容重过大或过小均不利于作物生长^[20]。对于果树而言,一般认为合适的土壤容重为 $1.00 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$ ^[21]。本研究表明,陕北山地果园经过有机材料结合集雨措施处理之后,0—100 cm 土层土壤容重均在适宜果树生长的范围之内,CK 和 T 处理 0—100 cm 土壤容重均超出果树生长的适宜范围,且 OMR1 处理 0—100 cm 土层土壤容重显著低于 CK 和 T 处理。Herath 等^[22]研究表明,生物炭添加到土壤后,90%的生物炭颗粒能够超过 0.5 mm,这些颗粒可以产生额外的孔隙,从而降低土壤容

重;魏彬萌等^[23]研究发现,渭北果园土壤物理性质退化的主要原因是该地的壤质土有机质含量较低,土壤团聚体作用差,加上果园实行清耕,对果园土壤物理扰动较少,导致土壤紧实化。有机材料结合集雨措施能够较好地改善土壤的紧实程度,增加土壤有机质含量,从而改善果园的土壤结构,增大土壤孔隙度,降低土壤容重,使果树生长在适宜的环境中。

3.4 不同处理对土壤饱和和导水率的影响

土壤饱和和导水率是一个重要的土壤参数,能够影响水和溶质在土壤中的运移速率,并且影响入渗和产流^[24],曲成闯等^[25]研究表明,施加生物有机肥能够增加土壤的饱和和导水率,这与本研究的结果一致;刘祖香等^[26]研究表明,土壤有机质含量与土壤饱和和导水率呈正相关关系,有机材料中含有丰富的有机质,能够促进土壤中微生物的活动,并且促进团粒结构的形成,增大土壤的孔隙度,疏松土壤,进而增大土壤的饱和和导水率;Herath 等^[22]研究表明,生物炭添加到土壤后能够显著影响土壤的饱和和导水率,这是因为添加生物炭之后,土壤中的大孔隙增加,进而增加土壤的饱和和导水率。本研究表明,有机材料结合集雨措施能够显著改善土壤饱和和导水率,尤其增加 0—40 cm 土层土壤的饱和和导水率,这可能是因为有机材料施用深度为 20—40 cm,增加土壤中的团粒结构,增大土壤大孔隙度,从而增加土壤的饱和和导水率,并且随着施用有机材料量的增加,饱和和导水率呈现增大趋势。

3.5 不同处理对电导率的影响

土壤电导率表示土壤浸出液中各种阳离子的量和各种阴离子的量之和,因此在描述土壤盐分状况时,土壤电导率可以作为反映土壤总盐量的指标。土壤电导率与土壤溶液可溶性离子的总量呈正相关,本研究表明,有机材料结合集雨措施能够显著增加土壤的电导率,尤其增加 0—200 cm 土层土壤的电导率,各处理 200—300 cm 土层土壤电导率无明显差异,并且有机材料结合集雨措施处理 7—9 月 0—200 cm 土层电导率显著高于 CK 和 T 处理,这可能是有机材料中含有丰富的氮磷钾和有机质,经过微生物的腐解作用之后,释放出大量的阴阳离子进入土壤中。吴三鼎等^[27]研究表明,秸秆深埋可以提高土壤电导率,改善土壤化学环境,这与本研究的结果一致。

4 结论

(1)不同处理下果园土壤水分时空分布表现为 0—300 cm 土层土壤平均含水率总体呈现 $OMR2 > OMR1 > OMR3 > CK > T$ 趋势,且有机材料结合集雨措施处理能够显著增加 0—100 cm 试验土层土壤含水率,且 OMR2 处理显著高于 CK 和 T 处理土壤含水率。

(2)2016 年 7—10 月,有机材料结合集雨措施处理 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量总体呈先增大后减小最

后趋于稳定的趋势,硝态氮含量在 60—100 cm 处达最大值,并且随着降雨的入渗作用,硝态氮含量的峰值逐渐下移;CK 和 T 处理保持稳定的波动状态。

(3)有机材料结合集雨措施能够降低 0—100 cm 土壤容重,尤其是 OMR1 处理 20—60 cm 土层土壤容重显著低于 T 处理。

(4)有机材料结合集雨措施能够增大土壤饱和导水率,尤其增加 0—40 cm 土层土壤饱和导水率。

(5)有机材料结合集雨措施能够增大 0—200 cm 土层土壤电导率,各处理 200—300 cm 土层土壤电导率无明显差异,并且随着时间的推移,电导率的峰值逐渐下移。

有机材料结合集雨措施不但能提高 0—300 cm 土层土壤含水量,还能够改善土壤结构,降低土壤容重,增加 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量,增大土壤饱和含水率和土壤电导率,使果树在适宜的环境中生长,促进当地果业可持续发展,有机材料结合集雨措施可以在黄土高原苹果园生产中推广应用。

参考文献:

[1] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2013.

[2] 路永莉,白凤华,杨宪龙,等.水肥一体化技术对不同生态区果园苹果生产的影响[J].中国生态农业学报,2014,22(11):1281-1288.

[3] 闫明灏,翟丙年,于昕阳,等.水肥优化管理对渭北旱塬红富士苹果水分利用的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(1):81-90.

[4] 王力,王艳萍,黄土塬区苹果树干液流特征[J].农业机械学报,2013,44(10):152-158.

[5] 李小英,段争虎,刘理臣,等.黄土高原西部不同集雨保水措施下土壤水分变异特征[J].农业机械学报,2014,45(3):118-123.

[6] 高义民,同延安,路永莉,等.长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响[J].果树学报,2012,29(3):322-327.

[7] 刘贤赵,衣华鹏,李世泰.渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征[J].应用生态学报,2014,15(11):2025-2066.

[8] Zhao Y G, Ma J J, Sun X H, et al. Spatial distribution of soil moisture and fine roots of apple trees under water storage pit irrigation[J].Journal of Irrigation and Drainage Engineer,2014,140(1):333-340.

[9] Song X L, Gao X D, Zhao X N, et al. Spatial distribution of soil moisture and fine roots in rain-fed apple orchards employing a Rainwater Collection and Infiltration (RWCI) system on the Loess Plateau of China[J].Agricultural Water Management,2017,184:170-177.

[10] 冯浩,吴普特,杜健,等.一种生活炉渣制备的土壤扩蓄增容剂及其生产方法:中国,ZL200710017801.9[P].2007-10-10.

[11] 曹丽花,赵世伟,赵勇钢,等.土壤结构改良剂对风沙土水稳性团聚体改良效果及机理的研究[J].水土保持学报,2007,21(2):65-68.

[12] 周立峰,冯浩,杜健.土壤扩蓄增容肥对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2010,29(4):81-87.

[13] 张雪英,周立祥.江苏地区城市污水处理厂污泥泥质研究 I:污泥养分特征与供肥潜力[J].农业环境科学学报,2004,23(1):110-114.

[14] 周立峰,冯浩,杜健.干旱条件下土壤扩蓄增容肥保水增产效应研究[J].灌溉排水学报,2011,30(1):65-68.

[15] Song X L, Gao X D, Miles D, et al. Soil water and root distribution of apple tree (*Malus pumila* Mill) stands in relation to stand age and rainwater collection and infiltration system (RWCI) in a hilly region of the Loess Plateau, China[J].Catena,2018,170:324-334.

[16] 王秀康,李占斌,邢英英.覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):884-897.

[17] 高洪军,朱平,彭畅,等.等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):318-325.

[18] 潘婷,高明霞,孙本华.扩蓄增容肥对土壤有机碳和氮的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(8):174-180.

[19] 赵聪,曹莹菲,刘克,等.长期不同施肥对壤土氮素分布的影响[J].农业环境科学学报,2013,32(7):1375-1381.

[20] 王道中,花可可,郭志彬.长期施肥对砂姜黑土作物产量及土壤物理性质的影响[J].中国农业科学,2015,48(23):4781-4789.

[21] 孙蕾,王益权,张育林,等.种植果树对土壤物理性状的双重效应[J].中国生态农业学报,2011,19(1):19-23.

[22] Herath H M S K, Marta C A, Mike H. Effect of bio-char on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol[J].Geoderma,2010,209/210:188-197.

[23] 魏彬萌,王益权.渭北果园土壤物理退化特征及其机理研究[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):694-701.

[24] Wang Y Q, Shao M A, Liu Z P, et al. Regional-scale variation and distribution patterns of soil saturated hydraulic conductivities in surface and subsurface layers in the loessial soils of China[J].Journal of Hydrology,2013,487:13-23.

[25] 曲成闯,陈效民,韩召强,等.生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响[J].水土保持通报,2018,38(5):70-76.

[26] 刘祖香,陈效民,靖彦,等.典型旱地红壤水力学特性及其影响因素研究[J].水土保持通报,2013,33(2):21-25.

[27] 吴三鼎,董强,党廷辉.减量施氮及秸秆深埋对春玉米地土壤电导率和硝态氮淋溶的影响[J].水土保持学报,2018,32(6):46-51.