

聚水阻渗措施对矮砧密植苹果园土壤水分、 硝态氮及果树细根的影响

陈东凯¹, 骆 汉^{1,2}, 谢永生^{1,2,3}, 吕佼容⁴

(1.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;2.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;
3.陕西汉唐环保农业有限公司,西安 710065;4.中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)

摘要: 为提高土壤水肥利用效率,探索适宜渭北地区苹果园发展的聚水阻渗措施。通过大田试验,以矮砧密植苹果园为研究对象,分析不同聚水阻渗措施对土壤水分、硝态氮和果树细根的影响。结果表明:在垂直方向,防渗层、起垄+防渗层、起垄+覆膜+防渗层处理均可有效提高 0—40 cm 土层土壤含水量、硝态氮含量和细根根长密度,其中,起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理土壤含水量和细根根长密度高于防渗层处理,硝态氮含量则低于防渗层处理。在 50—100 cm 土层,3 种处理措施均降低土壤硝态氮含量,有效缓解硝态氮淋溶累积。在水平方向上,起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理使定植带内(树下、株间)土壤含水量与根长密度平均分别提高 15.1%,5.0%,硝态氮含量降低 8.6%,防渗层与清耕处理相比无显著差异。在施肥沟内(中间点),3 种处理措施使土壤水分含量和细根根长密度增加,土壤硝态氮含量降低,以起垄+覆膜+防渗层处理效果最好,使土壤含水量和细根根长密度分别增加 48.6%,48.3%,硝态氮含量降低 17.4%。在所有处理措施中,起垄+覆膜+加防渗层处理对果园土壤环境和果树根系的调控效果最佳,研究结果为渭北地区矮砧密植苹果园聚水阻渗技术的应用和推广提供参考。

关键词: 苹果园; 起垄覆膜; 防渗层; 土壤水分; 硝态氮; 细根

中图分类号: **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2242(2023)06-0298-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2023.06.038

Effects of Water-collecting and Impermeability Measures on Soil Moisture, Nitrate Nitrogen and Fine Roots of Dense Planting Dwarf Rootstock Apple Orchard

CHEN Dongkai¹, LUO Han^{1,2}, XIE Yongsheng^{1,2,3}, LÜ Jiaorong⁴

(1.*Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100*; 2.*Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100*; 3.*Shaanxi Hantang Environmental Protection Agriculture Co. Ltd., Xi'an 710065*; 4.*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041*)

Abstract: In order to improve the utilization efficiency of soil water and fertilizer, the water-collecting and impermeability measures suitable for the development of apple orchards in Weibei area were explored. Through field experiments, the effects of different water-collecting and impermeability measures on soil moisture, nitrate nitrogen and fine roots of dense planting dwarf rootstock apple orchard were analyzed. The results showed that: In the vertical direction, the treatment of seepage control layer, ridging coated, ridging laminating impermeable layer process could effectively increase the soil moisture content, nitrate nitrogen content and fine root length density of 0—40 cm soil layer, and the soil moisture content and fine root length density under the treatment of ridging coated and ridging laminating impermeable layer process were higher than those under the treatment of seepage control layer. The nitrate nitrogen content was lower than that under the treatment of seepage control layer. In the range of 50—100 cm soil layer, three processing measures all reduced soil nitrate nitrogen content, effectively alleviated the leaching accumulation of nitrate nitrogen. In

收稿日期:2023-03-03

资助项目:陕西省科技重大专项(2020zdxx03-02-01);国家重点研发计划项目(2016YFC0503702)

第一作者:陈东凯(1996—),男,硕士研究生,主要从事土壤生态研究。E-mail:imchendk@163.com

通信作者:骆汉(1985—),男,副研究员,博士,博士生导师,主要从事水土保持与土壤侵蚀研究。E-mail:hanl@ms.iswc.ac.cn

the horizontal direction, the soil water content and root length density in the planting area (under plants and between plants) increased by 15.1%, 5.0%, and the nitrate nitrogen content decreased by 8.6% under the treatment of ridging coated and ridging laminating impermeable layer process. But there was no significant difference between the treatment of seepage control layer and clean tillage. In the fertilization area (midpoints), the three treatments increased the soil moisture content and the density of fine root length, and decreased the soil nitrate nitrogen content. Treatment of ridging laminating impermeable layer process had the best effect, which increased the soil moisture content and the density of fine root length by 48.6%, 48.3%, respectively, and reduced the nitrate nitrogen content by 17.4%. Among all the measures, the treatment of ridging laminating impermeable layer process had the best control effect on orchard soil environment and fruit tree root system. The results of this study provided a reference for the application and popularization of the water-collecting and impermeability measures in dense planting dwarf rootstock apple orchard in Weibei area.

Keywords: apple orchard; ridging coated; impervious layer; soil moisture; nitrate nitrogen; fine root

陕西省是我国苹果生产的主要省份,种植面积与产量常年居于全国首位,乔化密植是该地区主要的栽培模式^[1],但乔化密植苹果园普遍存在成花坐果难、机械化水平低和人工投入高等问题,正逐渐被管理成本低、果实品质优的矮砧密植苹果园所取代^[2]。截至2019年全国矮砧密植栽培总面积占苹果总面积的10.0%,其中,陕西已成为矮砧密植栽培模式的主要省份^[3]。充分利用地缘优势,扩大矮砧密植苹果园面积,促进当地果业转型升级和产业现代化成为研究区苹果种植发展的重要方向。

干旱是制约陕西果业生产与发展的关键因素^[4],提高土壤含水量对果园生产具有积极作用。氮素作为果树生长发育必需的营养元素,在实际生产中普遍存在投入过量现象^[5],过量氮肥不仅降低其利用率,还造成土壤酸化、水体污染等问题^[6]。根系是连接植株与土壤的媒介,其中细根(直径 ≤ 2 mm)是果树吸收营养物质的主要器官,其分布与土壤水分、养分分布的空间吻合程度决定果树与土壤的交互效果,对土壤水肥的吸收利用有显著影响^[7]。在6年矮砧密植苹果园中,硝态氮累积峰所处土层深度为180 cm^[8],而果树根系在垂直方向集中在0—40 cm土层中^[9],大量氮素难以被果树吸收利用。因此,如何提高果树对土壤水分和氮素的吸收利用率,防止硝态氮淋溶已成为果园管理中亟待解决的问题^[10]。

起垄覆膜能够抑制水分蒸发、改善土壤墒情,是旱作农业区的传统抗旱措施^[11]。国内外学者研究发现,起垄覆膜能够有效促进土壤水分利用效率,提高小麦^[12]、枸杞^[13]、苹果^[14]产量,显著提高山地苹果树对氮肥吸收利用效率,对果实品质提升和苹果树^[15]、玉米^[16]细根生长发育有积极作用,能够有效改良土壤物理性质。黏土由于透水性差且廉价易得,常被应用于旱地果园,防止土壤水分入渗以及硝态氮淋溶,

从而提高土壤浅层含水量,改善果园土壤环境,促进果树对水分、养分吸收利用^[17]。然而,以上研究多针对调控措施在乔化苹果园和农田中的应用,目前,关于调控措施在矮砧密植苹果园中应用的研究相对较少。为改善矮化果树根际环境,提高土壤水分、氮素利用效率,拟将防渗层与起垄覆膜措施相结合,通过“防渗层”“防渗层+起垄”和“防渗层+起垄+覆膜”3种措施,对土壤水分、硝态氮和果树根系进行调控,为矮砧密植苹果园聚水阻渗技术的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于陕西省咸阳市礼泉县烽火镇(34°55'N, 108°63'E),渭北旱塬与关中平原交汇处,属暖温带半干旱大陆性季风气候,年均降水量541.5 mm,平均海拔943.5 m,年均气温12.96℃,年日照时间2 215.6 h,无霜期214天。

选择当地汉唐农业环保有限公司经营的矮砧密植苹果示范园为研究对象,种植年限为6年。果园为东西走向,滴灌带位于定植带上方30 cm处,砧木品种为“M26”,接穗品种为“烟台富士”,树形呈高纺锤形,果园株行距为1.5 m \times 4.0 m,施肥方式为沟施,施肥沟中间位置在距果树主干50 cm且平行于定植带处,沟深、宽分别为40, 50 cm,沟长与定植带相等。土壤类型为黑垆土,0—20 cm土层土壤有机质、全氮、全磷含量分别为12.84, 0.72, 0.86 g/kg,速效氮、速效钾含量分别为23.83, 287.87 mg/kg。0—40, 40—80, 80—100 cm土层土壤容重分别为1.32, 1.38, 1.26 g/cm³。

1.2 试验设计与样品采集

试验于2021年2月进行,共设空白对照(CK)、防渗层(I)、防渗层+起垄(II)、防渗层+起垄+覆膜(III)4组处理。

各处理措施均设3组重复,试验期间均采用完全相同的管理措施。措施的具体情况见表1。

表 1 试验处理措施

代码	措施	处理方法
CK	清耕	无任何试验措施的常规耕作处理
I	防渗层	施肥沟底部下挖 5 cm 深度,平铺过筛红黏土并夯实作为防渗层,其厚度为 5 cm,宽度和长度与施肥沟相等
II	起垄+防渗层	施肥沟底部下挖 5 cm 深度,平铺过筛红黏土并夯实作为防渗层,其厚度为 5 cm,宽度和长度与施肥沟相等;在果园相邻 2 行果树的中间位置起垄,垄高 10 cm 垄面呈拱形,长度与施肥沟相等,垄底面宽 2.5 m,垄台边界与施肥沟边界重合
III	起垄+覆膜+防渗层	施肥沟底部下挖 5 cm 深度,平铺过筛红黏土并夯实作为防渗层,其厚度为 5 cm,宽度和长度与施肥沟相等;在果园相邻 2 行果树的中间位置起垄,垄高 10 cm 垄面呈拱形,长度与施肥沟相等,垄底面宽 2.5 m,垄台边界与施肥沟边界重合;使用厚度为 0.015 mm 的白色透明聚乙烯地膜将施肥沟完全覆盖,地膜边埋入土壤

试验在果园中部位置进行,避免边际效应,各处理措施选择 3 棵果树为试验对象,采样点以试验树干为中心,在定植带内距树干 10 cm(树下)、两侧 75 cm(株间)、定植带外距树干 50 cm 处(施肥沟中间)各设置 1 个采样点,每棵试验树周围共设 4 个采样点(图 1)。分别于 2021 年 4 月(雨季前)、7 月(雨季中)、12 月(雨季后),采用土钻法^[11]每 10 cm 采集 1 次土样

测定土壤水分,土壤含水量取 3 次采样的算术平均值,并于同年 12 月,采用土钻法每 10 cm 采集 1 次土样测定硝态氮含量,采用根钻法每 20 cm 采集 1 次根系测定根长密度。由于自然条件限制,果园所处位置 100 cm 以下为河床卵石层,通过人工打钻的方式无法挖掘采样,因此,各时期土样与根系的采集总深度均为 100 cm。



图 1 采样点示意

1.3 样品处理与测定

土壤质量含水率通过烘干法^[11]测得,同一土样进行 3 次重复。土壤容重通过环刀法^[11]测得。

土壤硝态氮含量通过 KCl 溶液(水土比 10:1)振荡浸提后,使用 AA3 型连续流动分析仪测得。

细根根长密度在根系采集当日挑选出直径 ≤ 2 mm 的细根,待细根洗净晾干后使用 10 000 XL 型扫描仪(Epson, 日本)扫描,通过 WinRHIZO 根系分析软件(Regent Instruments, 加拿大)对扫描结果进行分析获得。

1.4 数据处理

土壤水分计算公式为:

$$\theta = (W_1 - W_2) \div W_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中: θ 为土壤质量含水率(%); W_1 为湿土重量(g); W_2 为干土重量(g)。

根长密度计算公式为:

$$RLD = L/V \quad (2)$$

式中:RLD 为根长密度(mm/cm³); L 为根系长度(mm); V 为土体体积(cm³)。

处理措施在不同水平位置相同土层深度的测定指标取算术平均值,得到该项指标在此处理措施下垂直方向的分布数据;处理措施在相同水平位置不同土层深度的测定指标取算术平均值,得到该项指标在此处理措施下水平方向的分布数据。采用 Excel

2021 软件对数据进行预处理,采用 SPSS 19.0 软件通过单因素方差分析,进行均值显著性检验(检验水平为 95%),使用 Origin 9.0 软件绘制图表。图中数据为平均值 \pm 标准误差。

2 结果与分析

2.1 聚水阻渗措施对土壤含水量的影响

2.1.1 土壤剖面含水量变化特征 在不同聚水阻渗措施调控下,土壤剖面含水量表现不同。处理 I、II、III 和 CK 土壤含水量均表现出“增—减—增”变化趋势(图 2)。0—100 cm 土层土壤剖面含水量变化范围分别为 11.4%~13.7%, 11.5%~14.5%, 13.6%~17.1%, 14.1%~17.8%, 平均含水量 CK(12.5% \pm 0.58%)<I(13.0% \pm 0.92%)<II(15.5% \pm 1.0%)<III(15.7% \pm 1.3%),处理 I、II、III 相比于 CK 土壤含水量分别上升 4.0%, 24.0%, 25.6%。在 0—50 cm 土层,处理 I、II 和 III 土壤含水量分别为 12.7%~14.5%, 14.7%~17.1%, 14.4%~17.8%, 平均含水量分别为 13.5% \pm 0.69%, 15.9% \pm 0.99%, 16.3% \pm 1.54%,各处理措施相比于 CK 分别提高 8.0%, 27.2%, 28.15%,说明各处理措施均可有效提高 0—50 cm 土层含水量;处理 II 和 III 土壤含水量显著高于处理 I($p < 0.05$),但处理 II 和 III 之间未表现出显著差异($p > 0.05$)。在 60 cm 土层,处理 I、II 和 III 土壤含水量均降至整个土壤剖面

的最低值,其中处理 I 土壤含水量小于 CK,而处理 II 和 III 土壤含水量则高于 CK。当土层深度为 60—100 cm 时,处理 I、II 和 III 土壤含水量逐渐升高,其中处理 I 在 80—100 cm 土层土壤含水量高于 CK。

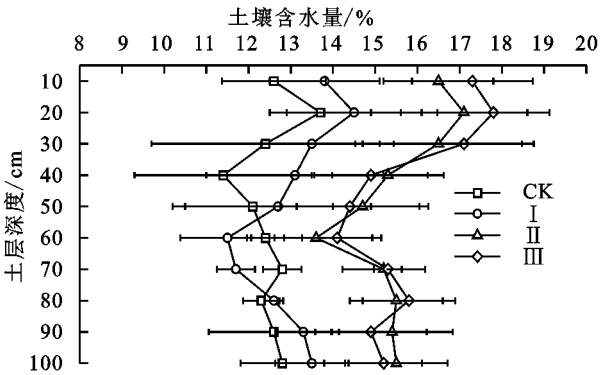
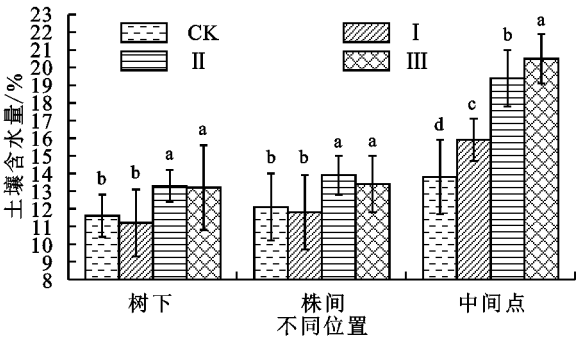


图 2 不同聚水阻渗措施土壤剖面水分含量

2.1.2 水平方向上土壤含水量变化特征 处理 I、II、III 和 CK 土壤含水量均随距果树主干水平距离增大而增加,施肥沟内(中间点)土壤含水量比定植带内(树下、株间)分别提高 38.4%,43.2%,54.1%,16.5%,而树下和株间位置土壤含水量则相差较小(图 3)。由于果树根系主要沿定植带内生长,因此,树下、株间位置土壤含水量低于中间点位置,由于处理措施在施肥沟内布设防渗层以及在行间位置起垄,3 种措施处理下施肥沟内的土壤含水量大幅高于定植带内。从同一水平位置看,不同处理措施在施肥沟(中间点)内土壤含水量差异最明显,其土壤含水量为 III(20.5%)>II(19.4%)>I(15.9%)>CK(13.8%),处理 I、II、III 比 CK 分别提高 15.2%,40.6%,48.6%,且表现出显著差异($p<0.05$),表明不同聚水阻渗措施可大幅提高中间点位置土壤含水量。在树下和株间位置,处理 I 与 CK 的土壤含水量未表现出显著差异($p>0.05$),处理 II 和 III 之间未表现出显著差异($p>0.05$),处理 II 与 III 平均土壤含水量均显著高于处理 I 与 CK($p<0.05$),分别提高 16.3%,13.8%,表明处理 II 和 III 能够汇集更多土壤水分,加强水分在土壤内部的水平运动,显著提高树下和株间位置土壤含水量。



注:图柱上方不同小写字母表示相同位置不同处理措施间差异显著($p<0.05$)。下同。

图 3 不同聚水阻渗措施水平方向土壤含水量

2.2 聚水阻渗措施对土壤硝态氮的影响

2.2.1 土壤剖面硝态氮变化特征 在垂直方向上,处理 I、II、III 和 CK 硝态氮含量均呈先增大后减小变化趋势,各处理措施中硝态氮累积峰所处土层深度均位于 40 cm 处(图 4)。0—100 cm 土层硝态氮平均含量为 CK(24.0 mg/kg)>I(22.9 mg/kg)>II(21.2 mg/kg)>III(20.1 mg/kg),处理 I、II、III 相比 CK 硝态氮含量分别下降 4.8%,11.5%,13.4%,且差异显著($p<0.05$),说明各处理措施均可显著降低硝态氮向土层深处淋溶。而在 0—40 cm 土层,处理 I、II 和 III 硝态氮平均含量分别为 24.3,23.8,23.7 mg/kg,各处理措施相比 CK 分别提高 4.9%,2.9%,2.8%,且差异显著($p<0.05$),说明各处理措施均能有效提高 0—40 cm 土层硝态氮含量;处理 I 土壤硝态氮含量显著高于处理 II 和 III($p<0.05$),但处理 II 和 III 之间未表现出显著差异($p>0.05$)。在 50—100 cm 土层,硝态氮平均含量分别为 CK(24.6 mg/kg)>I(21.9 mg/kg)>II(19.5 mg/kg)>III(18.8 mg/kg),各处理硝态氮平均含量比 CK 分别降低 10.9%,20.6%,23.5%($p<0.05$)。

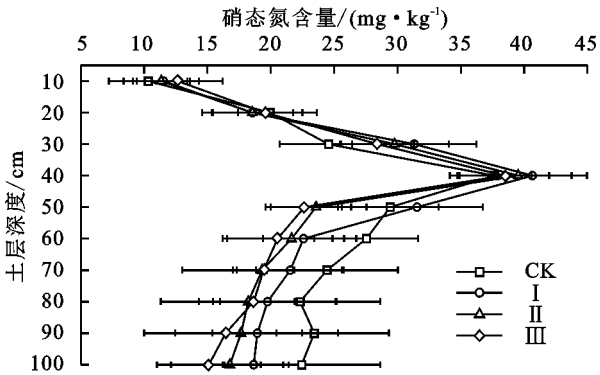


图 4 不同聚水阻渗措施土壤剖面硝态氮含量

2.2.2 水平方向硝态氮变化特征 在水平方向上,处理 I、II、III 和 CK 土壤硝态氮含量表现出明显差异(图 5),相同处理措施在施肥沟内(中间点)硝态氮含量比定植带内(树下、株间)分别提高 32.4%,29.0%,39.8%,50.0%,树下和株间位置硝态氮含量相差较小,因为中间点位置位于施肥沟内,硝态氮含量最高。在同一水平位置,处理 I、II、III 和 CK 硝态氮含量表现出明显差别,CK 在树下、株间和中间点位置的硝态氮含量分别为 20.42,20.86,30.74 mg/kg,处理 I 在树下与株间位置硝态氮含量分别为 20.03,21.23 mg/kg,与 CK 相比未表现出显著差异($p>0.05$),而中间点位置硝态氮含量为 27.3 mg/kg,比 CK 降低 11.2%且差异显著($p<0.05$),表明防渗层有效地阻止硝态氮向土壤深层淋溶,缓解硝态氮的淋溶累积问题。处理 II 和 III 在树下与株间位置硝态氮平均含量分别为 18.6,19.1 mg/kg,比 CK 同位置硝态氮含量分别降低 9.0%,8.3%,在中间点硝态氮含量平均值为 25.31

mg/kg, 比 CK 降低 17.7%, 处理 II 和 III 在树下、株间、中间点 3 个水平位置的确态氮含量均显著低于 CK ($p < 0.05$), 且下降幅度高于处理 I, 表明处理 II 和 III 对硝态氮淋溶累积的抑制效果优于处理 I。

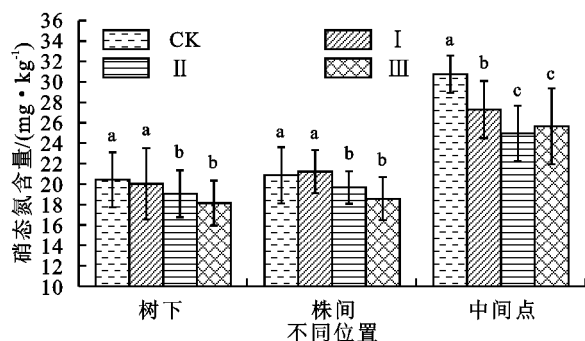


图 5 不同聚水阻渗措施水平方向土壤硝态氮含量

2.3 聚水阻渗措施对果树细根的影响

2.3.1 根长密度垂直方向变化特征 各处理措施土壤剖面的细根根长密度均呈先增大后减小趋势(图 6)。处理 I、II、III 和 CK 根长密度的峰值分别为 0.32, 0.34, 0.34, 0.28 mm/cm³, 各处理措施细根根长密度的峰值土层均位于 40 cm 土层。在 0—40 cm 土层, 处理 I、II 和 III 细根根长密度均显著高于 CK ($p < 0.05$), 根长密度分别增加 13.1%, 21.1%, 20.4%, 表明各处理措施对 0—40 cm 土层细根生长有较为显著的促进作用, 处理 II 和 III 对细根的促进效果明显优于处理 I, 但处理 II 和 III 之间的根长密度未表现出显著差异 ($p > 0.05$)。在 60 cm 土层, 处理 I、II、III 和 CK 根长密度均大幅降低, 较 40 cm 分别降低 0.13, 0.14, 0.14, 0.08 mm/cm³, 下降幅度分别为 39.1%, 40.4%, 41.2%, 25.2%。CK 根长密度为 0.22 mm/cm³, 比处理 I、II 和 III 根长密度平均提高 10.1%。而 3 种处理措施间根长密度则未表现出显著差异 ($p > 0.05$)。在 80—100 cm 土层, 处理 II、III 根长密度未表现出显著差异 ($p > 0.05$), 但 2 种处理的根长密度均显著高于处理 I 与 CK ($p < 0.05$), 而处理 I 与 CK 之间无显著差异 ($p > 0.05$)。

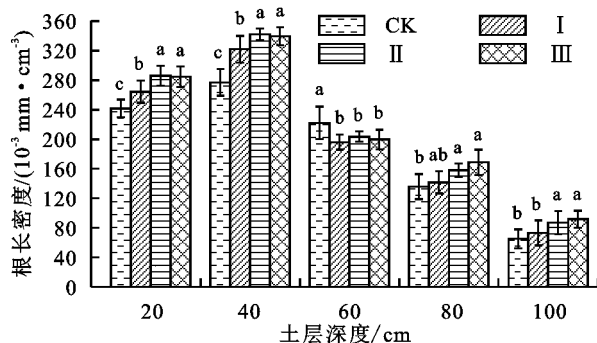


图 6 不同聚水阻渗措施土壤剖面细根根长密度

2.3.2 根长密度水平方向变化特征 在水平方向上, 处理 I、II、III 和 CK 细根根长密度分别为 0.15~0.24, 0.17~0.26, 0.18~0.26, 0.12~0.24 mm/cm³,

不同聚水阻渗措施与 CK 的根长密度均随距树干水平距离增大而减小, 定植带内(树下、株间)根长密度整体高于施肥沟(中间点)(图 7)。从同一水平位置来看, 处理 I 与 CK 在树下、株间位置的根长密度未表现出显著差异 ($p > 0.05$), 表明处理 I 对上述位置的细根发育没有显著的促进作用, 而处理 II 和 III 在树下位置根长密度分别为 0.26, 0.25 mm/cm³, 比 CK 根长密度平均提高 5.3% 且表现出显著差异 ($p < 0.05$), 表明处理 II 和 III 可有效促进定植带内果树细根发育。在中间点位置, 不同聚水阻渗措施与 CK 的根长密度表现为 III (0.19 mm/cm³) > II (0.17 mm/cm³) > I (0.15 mm/cm³) > CK (0.12 mm/cm³), 处理 I、II、III 比 CK 根长密度分别提高 23.0%, 39.7%, 48.3%, 各处理之间均表现出显著差异 ($p < 0.05$), 表明 3 种处理措施对中间点位置果树细根生长均有促进作用, 其中以处理 III 调控效果最佳。

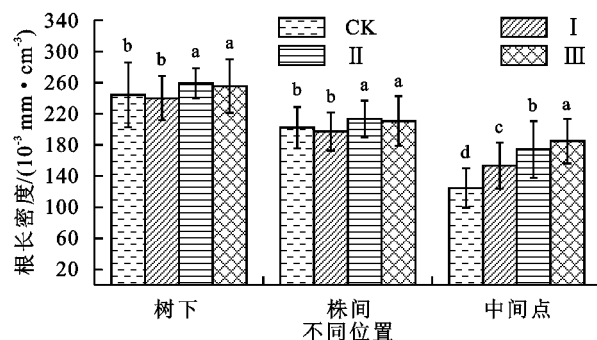


图 7 不同聚水阻渗措施水平方向细根根长密度

3 讨论

3.1 不同聚水阻渗措施对土壤水分的影响

黄土高原地区干旱少雨, 为减缓果园土壤水分消耗, 提高水分利用效率, 覆盖是普遍采用的抗旱保墒措施。张超等^[18]研究覆膜对果园土壤水分的影响发现, 同种耕作方式下覆膜处理能够有效抑制土壤水分的无效蒸发, 提高土壤水分利用效率, 有利于保持旱地土壤水分的稳定。本研究表明, 清耕处理在 0—100 cm 土层土壤平均含水量为 12.5%, 土壤含水量呈现“增—减—增”变化趋势, 土壤含水量在果树根系集中分布的 30—40 cm 土层降至最低。防渗层、起垄+防渗层、起垄+覆膜+防渗层处理措施均能显著提高 0—100 cm 土层土壤含水量, 与陈嘉钰等^[17]研究结果一致。3 种处理措施与清耕相比, 土壤剖面含水量分别提高 4.0%, 24.0%, 25.6%, 其中起垄+防渗层、起垄+覆膜+防渗层处理措施还有效提高树下和株间土壤含水量。由于防渗层减少土壤水分入渗, 覆膜减少水分蒸发, 而起垄能够汇集天然降雨及地表径流, 使其集中到果树生长区域, 增加土壤水分^[19]。因此, 起垄+防渗层、起垄+覆膜+防渗层处理措施能大幅提高施肥沟位置土壤水分, 使得更多的土壤水分通过水平运动移动至定植带内, 增加树下和株间位置土壤含水量。

红黏土透水性较差,作为防渗层有较好的截流阻渗效果^[20],在0—50 cm土层,3种处理措施土壤含水量均显著增加。当土层深度>50 cm时,土壤含水量下降并在60 cm土层降至最低,是因为在45 cm土层位置均布设了防渗层,红黏土阻碍水分向下层土壤运动,防渗层下方存在10—20 cm的“低湿层”,防渗层处理的土壤含水量逐渐低于清耕处理,但由于起垄覆膜技术使地表径流集中汇集的同时还抑制土壤水分蒸发,所以起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理在防渗层下方的土壤含水量依然高于防渗层处理和清耕处理,可能因为更多水分通过水平运动到达该层,随后在70—100 cm土层,土壤含水量逐渐升高,与王延平等^[21]研究结果一致。本研究通过将防渗层、起垄和覆膜3种措施相结合的方式,显著提升0—50 cm土层含水量,有效改善果树根际环境,促进水分利用效率。

3.2 不同聚水阻渗措施对土壤硝态氮的影响

氮肥施用过量导致其在土壤中累积,残留的氮素在降雨和灌溉条件下以硝态氮的形式向土壤深层淋溶^[22],过量施用氮肥在增加生产成本的同时还给环境带来潜在的污染风险。李杨等^[23]研究发现,通过秸秆还田与氮肥减施可分别降低土壤中全氮淋溶损失量的31.4%,49.3%,其中氮肥减施措施可使硝态氮的淋溶损失量降低56.7%。本研究中,清耕处理硝态氮含量呈现“增—减”变化趋势,硝态氮峰值含量为37.65 mg/kg,于40 cm土层处达到峰值,在0—40 cm土层,硝态氮平均含量为23.1 mg/kg。由于防渗层的截流阻渗作用减弱土壤水分向深层运动,进而减少新施氮肥向土壤深层淋溶累积,因此,3种处理措施使得0—40 cm土层硝态氮平均含量相比于清耕处理显著提高2.8%~4.9% ($p<0.05$)。3种措施之间相比,起垄+防渗层与起垄+覆膜+防渗层处理之间的硝态氮含量没有显著差异,但硝态氮含量均显著低于防渗层处理,是由于2种处理措施能够比防渗层处理汇集更多的自然降雨,从而提高土壤水分含量,使得果树细根比防渗层处理生长发育更加茂盛,因此,果树对硝态氮的吸收利用量也高于防渗层处理。

在50—100 cm土层,清耕处理硝态氮含量为24.93 mg/kg,3种处理措施硝态氮含量均显著低于清耕处理,是因为防渗层阻碍0—40 cm土层硝态氮向该土层淋溶。3种处理措施相比,起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理比防渗层处理更能汇集雨水,大量水分对硝态氮淋溶作用更加强烈,同时较好的土壤水分条件促进该土层果树根系生长,使得果树对氮素吸收利用效率增加,因此,2种处理措施下土壤中层硝态氮含量比防渗层处理更低。在水平方向,起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层降低树下与株间位置的硝态氮含量,是因为这2种处理能

够提高0—40 cm土层硝态氮含量,同时汇集地表径流,抑制水分蒸发,改善定植带(树下、株间)及施肥沟(中间点)位置的土壤水肥条件,促进果树细根发育,提高果树吸收能力,从而使得土层中残留的硝态氮含量减少^[24]。

3.3 不同聚水阻渗措施对果树细根的影响

细根根长决定着根系在土壤中的空间拓展与物质吸收能力,对养分、水分的吸收利用效率有至关重要的作用^[25]。本研究中,清耕对照0—100 cm土层根长密度为0.07~0.28 mm/cm³,根长密度呈先增大后减小趋势,果树根系在垂直方向主要分布在0—40 cm土层;水平方向根长密度为0.12~0.24 mm/cm³,根长密度随距树干距离增大而减小,根系主要分布在定植带内(树下、株间)。防渗层、起垄+防渗层、起垄+覆膜+防渗层措施对0—100 cm土层范围及施肥沟(中间点)位置的细根根长密度均有显著的促进作用,其中起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理还对定植带(树下、株间)位置的细根根长密度有显著的促进作用,是由于2种处理措施在铺设防渗层的同时还有起垄与覆膜处理,相较于其他措施的蓄水保墒条件更好,提高土壤含水量。

在0—40 cm土层,起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理的根长密度均显著高于防渗层处理和清耕处理,而防渗层处理的根长密度又显著高于清耕处理。是因为起垄+防渗层和起垄+覆膜+防渗层处理在该土层土壤水分含量高于防渗层处理和清耕处理,同时防渗层处理水肥条件又优于清耕处理。根系具有趋水、趋肥特性,在生长过程中会倾向分布在水肥含量较高的位置,通过上述措施提高根际区域土壤水分含量与养分浓度,有利于健康根系形态构建,促进更多的细根生长发育,从而间接提升果树对土壤水分、养分的吸收利用,增加土壤水肥利用效率^[26]。在40—60 cm土层,3种处理措施的根长密度均显著低于清耕处理,是因为红黏土较为紧实,透水、透气性较差,因此不利于果树根系生长。但在60 cm以下土层后,随着土壤水分含量逐渐恢复,较好的水分条件对细根的生长发育起到良好的促进作用,起垄+防渗层、起垄+覆膜+防渗层处理的根长密度又逐渐高于防渗层处理和清耕处理。

综上所述,0—40 cm土层是果树细根的集中区域,由于水分下渗使得部分硝态氮远离根系区域,难以被果树吸收利用。通过防渗层的截流阻渗作用以及起垄覆膜的蓄水保墒效果,减缓硝态氮淋溶累积,提高水分和硝态氮含量,使得果树细根根长密度增加,间接促进果树对土壤水分与氮素的吸收利用。但本试验仍存在一定不足,上述措施仅对果树根系进行调控,关于果实品质、果园产量和不同降雨年份的调控效果仍未涉及,在今后的研究中将基于上述试验条件,对果树的地上部分以及调控的长期效果进行观测。

4 结 论

(1)垂直方向上,3 种聚水阻渗措施均能有效增加土壤含水量、降低硝态氮含量、促进果树细根生长发育,其中以起垄+覆膜+防渗层的调控效果最佳,使土壤含水量增加 24.6%,硝态氮含量降低 13.4%,根长密度增加 13.9%。

(2)水平方向上,3 种聚水阻渗措施均能有效增加施肥沟内(中间点)土壤含水量,降低土壤硝态氮含量、促进细根生长发育,其中以起垄+覆膜+防渗层效果最优,能够使土壤含水量增加 48.6%,硝态氮含量降低 17.4%,根长密度增加 48.3%。

综上,起垄+覆膜+防渗层处理可缓解硝态氮淋溶累积,提高果树根系区域水肥含量,促进土壤水肥吸收利用效率。红黏土与地膜廉价易得,起垄又是常见的抗旱措施,整套聚水阻渗措施成本低廉且布设简易,因此,在实际的农业生产中有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 葛顺峰,朱占玲,魏绍冲,等.中国苹果化肥减量增效技术途径与展望[J].园艺学报,2017,44(9):1681-1692.
- [2] 白岗栓,邹超煜,杜社妮.渭北旱塬苹果密植栽培模式对土壤水分的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(3):308-318.
- [3] 曹辉,杨莹攀,王洪博,等.南疆矮砧密植滴灌苹果生长、耗水及产量研究[J].果树学报,2021,38(5):681-691.
- [4] Wang S F, An J, Zhao X N, et al. Age- and climate-related water use patterns of apple trees on China's Loess Plateau[J].Journal of Hydrology,2020,582(2):1-13.
- [5] Sun W Y, Mu X M, Song X Y, et al. Changes in extreme temperature and precipitation events in the Loess Plateau (China) during 1960—2013 under global warming[J].Atmospheric Research,2016,168:33-48.
- [6] 郑利芳,吴三鼎,党廷辉.不同施肥模式对春玉米产量、水分利用效率及硝态氮残留的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):221-227.
- [7] Xu M P, Jian J N, Wang J Y, et al. Response of root nutrient resorption strategies to rhizosphere soil microbial nutrient utilization along Robinia pseudoacacia plantation chronosequence[J].Forest Ecology and Management,2021,489:1-11.
- [8] 陈东凯,骆汉,吕佼容,等.渭北旱塬矮砧密植苹果园土壤矿质氮积累与空间分布特征[J].应用生态学报,2022,33(1):97-103.
- [9] 陈东凯,骆汉,吕佼容,等.不同树龄矮化自根砧苹果树细根空间分布特征[J].北方园艺,2022(4):8-16.
- [10] 闫旭宇,李玲,李娟,等.基于文献计量分析的陕西苹果研究现状[J].延安大学学报(自然科学版),2019,38(1):82-86,93.
- [11] 张仕林,赵武云,戴飞,等.全膜双垄沟起垄覆膜机镇压作业过程仿真分析与试验[J].农业工程学报,2020,36(1):20-30.
- [12] Gu X B, Cai H J, Chen P P, et al. Ridge-furrow film mulching improves water and nitrogen use efficiencies under reduced irrigation and nitrogen applications in wheat field [J]. Field Crops Research, 2021, 270: e108214.
- [13] 杨一凡,吴发启,徐宁,等.沟垄覆膜不同沟垄比对比枸杞产量和水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2020,34(2):159-164.
- [14] 郭伟,王延平,韩明玉,等.起垄覆膜垄沟覆草对山地果树氮肥吸收利用的影响[J].节水灌溉,2018(2):19-25.
- [15] 孙文泰,马明.黄土高原长期覆膜苹果园土壤物理退化与细根生长响应[J].植物生态学报,2021,45(9):972-986.
- [16] Zhang G X, Meng W H, Pan W H, et al. Effect of soil water content changes caused by ridge-furrow plastic film mulching on the root distribution and water use pattern of spring maize in the Loess Plateau[J]. Agricultural Water Management,2022,261:e107338.
- [17] 陈嘉钰,谢永生,骆汉,等.黄土高原苹果园不同集水阻渗技术调控下土壤水分、矿质氮含量变化[J].干旱地区农业研究,2020,38(3):19-25.
- [18] 张超,李爱梅,周旭,等.地面覆盖对渭北旱地苹果园土壤理化性质与果实产量、品质的影响[J].西北农业学报,2017,26(4):609-616.
- [19] 冯浩,王杰,王乃江,等.起垄覆膜条件下夏玉米农田耗水过程分析[J].农业机械学报,2018,49(9):205-213.
- [20] 金波,王延平,穆艳,等.山地果园集雨—壤中防渗对水分入渗、分布和利用率的影响[J].应用生态学报,2018,29(5):1559-1568.
- [21] 王延平,韩明玉,张林森,等.洛川苹果园土壤水分变化特征[J].应用生态学报,2012,23(3):731-738.
- [22] Zheng J, Kilasara M M, Mmari W N, et al. Ammonia volatilization following urea application at maize fields in the East African highlands with different soil properties [J]. Biology and Fertility of Soils,2018,54(3):411-422.
- [23] 李杨,孙玉禄,刘晓辉,等.秸秆还田和氮肥供应对设施番茄土壤肥力与氮素淋溶的影响[J/OL].吉林农业大学学报,1-9[2023-04-27].DOI:10.13327/j.jjlau.2021.1318.
- [24] 漆栋良,胡田田,吴雪,等.适宜灌水施氮方式利于玉米根系生长提高产量[J].农业工程学报,2015,31(11):144-149.
- [25] Kong X P, Zhang M L, Smet L D, et al. Designer crops: Optimal root system architecture for nutrient acquisition[J].Trends in Biotechnology,2014,32(12):597-598.
- [26] 刘子君,叶赞,王丽,等.滴喷灌施肥方式对土壤养分空间分异及茶苗根系生长的影响[J].水土保持学报,2022,36(6):330-339.