

# 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

陈嘉钰<sup>1</sup>, 谢永生<sup>1,2</sup>, 骆汉<sup>1,2</sup>, 张炳学<sup>2</sup>, 索改弟<sup>3</sup>, 张文博<sup>1</sup>

(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. 安徽科技学院资源与环境学院, 安徽 滁州 233100)

**摘要:**以黄土高原苹果园果树为研究对象,分析不同集水阻渗技术调控下土壤水分、矿质氮含量的变化,探索适宜旱区果园可持续发展的防渗聚水技术。结果表明:起垄覆膜处理(I)、防渗层处理(II)和起垄覆膜加防渗层处理(III)均能增加0~300 cm 土层土壤含水量,减少土壤硝态氮含量。处理III总体效果最好,能够增加9.60%土壤含水量,减少57.15%土壤硝态氮含量;处理I使0~200 cm 土层土壤含水量均匀增加7.73%,硝态氮含量均匀减少60.08%;处理II能够增加0~40 cm 表层土壤7.37%的土壤含水量,减少40~200 cm 中层土壤74.38%的硝态氮含量。研究表明,不同集水阻渗技术通过改变水分的时空分布、减少硝铵态氮的淋溶从而提高水肥利用效率,其中起垄覆膜加防渗层处理结合了起垄覆膜与人工防渗层两种技术的优点,能够有效调控土壤水分运动,减少硝态氮深层淋溶,是黄土高原改善土壤水肥状况、增加果园产量、使果业可持续发展的可行技术措施。

**关键词:** 苹果园; 起垄覆膜技术; 人工防渗层; 土壤水分; 硝态氮

中图分类号: S152.7; S661.1 文献标志码: A

## Changes of soil moisture and mineral-nitrogen contents in apple orchards of Loess Plateau under the regulation of different water-collecting and impermeability techniques

CHEN Jiayu<sup>1</sup>, XIE Yongsheng<sup>1,2</sup>, LUO Han<sup>1,2</sup>, ZHANG Bingxue<sup>2</sup>, SUO Gaidi<sup>3</sup>, ZHANG Wenbo<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. College of Resource and Environment, Anhui Science and Technology University, Chuzhou, Anhui 233100, China)

**Abstract:** In the Loess Plateau environment, the changes of soil moisture and mineral-nitrogen (N) contents under the control of different water-collecting infiltration impermeability technologies were studied and analyzed for apple trees in apple orchards. Additionally, this research explored the anti-seepage water accumulation technology suitable for the sustainable development of orchards in dry areas. Through the research, it is summarized that ridging coated treatment (I), seepage control layer (II) and ridging laminating impermeable layer process (III) increased soil moisture in 0~300 cm soil layer and decreased the nitrate content. The best overall effect was with the ridging coated with impervious layer handles (III), which increased soil water content by 9.60%, reduced nitrate N content by 57.15%. In contrast, ridging coated treatment (I) uniformly increased soil water content in 0~200 cm soil layer by 7.73%, even reduced the nitrate content by 60.08%; impervious layer handles (II) increased the soil surface water content of 0 to 40 cm soil layer by 7.37%, reduced nitrate N content in 40~200 cm middle soil by 74.38%. This study showed that different water-collecting impermeability techniques reduced the leaching of ammo-

收稿日期: 2019-09-22

修回日期: 2020-03-21

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD31B01)

作者简介: 陈嘉钰(1994-),女,宁夏银川人,硕士研究生,研究方向为果园生态系统。E-mail: 1322180270@qq.com

通信作者: 谢永生(1960-),男,河南开封人,研究员,主要从事土地资源调查与利用、水土保持技术等研究。E-mail: yshxie@ms.iswc.ac.cn  
骆汉(1985-),男,山东淄博人,副研究员,主要从事土壤侵蚀与水土保持等研究。E-mail: hanl@ms.iswc.ac.cn

nitium nitrate by changing the spatial and temporal distribution of water. This improved the utilization efficiency of water and fertilizer. In addition, the treatment of ridging laminating impermeable layer process combined the advantages of two technologies: ridge film mulching and artificial impermeable layer, which effectively regulated soil water movement and reduced nitrate N leaching. This is a feasible technical measure to improve soil water and fertilizer status, increase orchard yield, and make fruit industry sustainable development on the Loess Plateau.

**Keywords:** apple orchard; ridging coated technology; artificial seepage control layer; soil moisture; nitrate nitrogen

苹果产业是我国北方农村经济生产区的支柱产业,2017年陕西省苹果产量达1 092.5万t,栽培面积占全国总栽种面积的三分之一<sup>[1]</sup>。黄土高原作为我国两大苹果优生区之一,在农业产业结构调整、增加农民收入及出口创汇等方面发挥着重要作用<sup>[2]</sup>。然而黄土高原地区天然降水条件局限,果园土壤管理方式单一,土壤养分元素有效性也处于较低水平。随着苹果园肥料投入的持续增加,部分果园氮肥和磷肥普遍存在施用量过大、施用比例不当、测土按需配方施肥措施欠缺以及按区域土壤差异实施分区肥料管理不力等问题<sup>[3-5]</sup>。如何提高土壤水分和肥料利用效率、缓解土壤深层干燥化趋势、防止硝态氮随水分的深层累积,已经成为目前亟待解决的问题<sup>[6]</sup>。

起垄覆膜技术是旱地农业中一项重要的土壤管理栽培模式,集合了垄作与覆膜两种技术的优点,在保墒蓄水、调节地温等方面具有良好的效果。Zhao等<sup>[7]</sup>研究认为在垄沟上全覆盖塑料薄膜是提高马铃薯产量和水分利用效率的有效技术;叶胜兰<sup>[8]</sup>研究表明,起垄覆膜栽培技术能够缩短小麦的生育周期,促进小麦生长,提高水分利用效率,增加生物量和小麦产量;冯浩等<sup>[9]</sup>结合HYDRUS-2D模型分析起垄覆膜对夏玉米蒸腾、土壤蒸发及深层渗漏等田间耗水过程的影响,结果表明起垄覆膜能增大作物蒸腾量,减小土壤蒸发量,促使无效水转化为生产性用水,因此减小了田间水分消耗,具有节水增产效应,适合在当地推广。

防渗层常见于垃圾填埋场,有研究表明,黏土具有很好的防渗作用<sup>[10]</sup>,在农业生产中有良好的应用前景。索改弟等<sup>[11]</sup>研究了渭北旱塬沟壑区旱地果园土壤中人工防渗层的水分特征,得出5cm厚红黏土防渗层可有效提高上层土壤水分含量,有利于水分和养分利用率的提升,可以应用于果树生产;金波等<sup>[12]</sup>研究了干旱山地苹果园集雨-壤中防渗对土壤水分及其产量的影响,得出将集雨保墒与壤中防渗组装为一体能够有效地提高土壤含水量,促进果树生长发育,提高果实产量和水分利用率,改善品质。

本研究通过将起垄覆膜与人工防渗层两种蓄水保墒技术措施相结合,形成一套果园水肥汇集集层的模式,以期将起垄覆膜技术调控温度、培肥地力、保墒效果显著等优点与人工防渗层技术的节水、保水、拦蓄径流和增强土壤抗旱能力等优点相结合,分别从防渗层措施、起垄覆膜措施和起垄覆膜与防渗层相结合对黄土高原苹果主产区果园土壤水分、硝态氮、铵态氮的含量及其土壤剖面分布特征进行综合分析,进而选择一种新的集水阻渗技术措施,为黄土高原优质苹果长期健康的生产管理和果业可持续发展提供参考依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 试验地概况

本试验在中国科学院黄土高原生态农业实验站进行,该实验站地处陕西省长武县洪家镇王东村(35°12'N,107°40'E),是黄土高原南部高原沟壑区,无灌溉条件,属于典型雨养农业区。实验站海拔约1 200 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候。年平均温度9.1℃,多年平均降雨量578.5 mm,季节性分布不均,降雨主要集中在7—9月,降雨的入渗深度最大可达300 cm,田间持水量24%~32%,萎蔫湿度9%~12%,地下水位50~80 m。无霜期171 d,≥10℃活动积温3 029℃,年辐射总量为4 837 kJ·cm<sup>-2</sup>,年日照时数为2 230 h,日照百分率51%。研究区土壤为黑垆土,土壤容重1.23~1.44 g·cm<sup>-3</sup>,通透性好。有机质含量为13.44±3.07 g·kg<sup>-1</sup>,全氮0.57 g·kg<sup>-1</sup>,全磷0.66 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮37.0 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷3 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾129 mg·kg<sup>-1</sup>,剖面平均pH为8.3。

### 1.2 试验设计

试验地果园建于2000年,面积为2 000 m<sup>2</sup>,株行距3 m×4 m,南北走向,主栽品种为长枝红富士,无灌溉条件,果园内的果树生长状况良好。试验共设4组处理,由北向南分布:起垄覆膜处理(Ⅰ),防渗层处理(Ⅱ),起垄覆膜加防渗层处理(Ⅲ),清耕处理设为对照(CK),不同处理均设3组重复。试验期间各处理统一进行果园管理,化肥施用量为:氮

肥 (N) 1 000 kg · hm<sup>-2</sup>, 磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 700 kg · hm<sup>-2</sup>, 钾肥 (K<sub>2</sub>O) 700 kg · hm<sup>-2</sup>, 在施基肥期将肥料施于两树中间。各处理具体布设见表 1。

1.3 样品采集与测定

测定黄土高原苹果园 0~300 cm 土层土壤水分及铵态氮、硝态氮的变化范围, 并进行比较分析。

试验从 2017 年 1 月开始, 在每月 25 日用中子仪定位测定土壤含水量, 若遇雨雪天气时间后延。采用美国 503DR 型中子仪, 中子管直径为 6.4 cm。0~100 cm 土层每 10 cm 测定一次, 100~300 cm 土层每 20 cm 测定一次。

在 2018 年 8 月苹果收获后秋季施肥前, 于试验小区采集 0~300 cm 土层土壤剖面样品, 每 20 cm 深度取样, 分别混合均匀, 于通风阴凉处风干后研磨过 0.25 mm 筛, 以 1 mol · L<sup>-1</sup> 的 KCl 溶液浸提, AA3 型连续流动分析仪测定土壤硝态氮和铵态氮含量。

1.4 数据处理

土壤水分计算公式:

$$\theta_v = a + b \times \left( \frac{cnt}{std} \right) \quad (1)$$

式中  $\theta_v$  为土壤容积百分含量 (%)  $a$ 、 $b$  为标定方程的截距与斜率  $cnt$  为中子仪读取的原始数据,  $std$  为中子仪在室内标准条件下的标准计数。

土壤储水量计算公式:

$$D_w = \theta_v \cdot h \quad (2)$$

式中  $D_w$  为土壤储水量 (mm)  $\theta_v$  为土壤容积含水量

(如不特别指出, 土壤含水量即指土壤容积含水量)  $h$  为土壤厚度 (mm)。

月贮水量为 0 ~ 300 cm 范围内各层贮水量之和, 每层土壤含水量为一周年 (12 个月) 土壤每月每层含水量的算术平均值。

土壤剖面硝态氮累积量计算公式:

$$A = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n h_i \times \rho_i \times C_i \quad (3)$$

式中  $A$  为土壤硝态氮累积量 (kg · hm<sup>-2</sup>)  $h_i$  为第  $i$  层土壤厚度 (cm)  $\rho_i$  为第  $i$  层土壤容重 (g · cm<sup>-3</sup>);  $C_i$  为第  $i$  层土壤的硝态氮浓度 (mg · kg<sup>-1</sup>)。

采用 Microsoft Office Excel 2019 软件对数据进行整理, SPSS 18.0 软件进行数据统计分析, Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同集水措施土壤剖面水分变化特征

不同集水措施的土壤水分呈现出不同的变化规律。不同土层年平均含水量的变化见图 1。土壤平均含水量为: CK (21.32%) < II (22.08%) < I (22.75%) < III (23.37%), 处理 I、II、III 土壤平均含水量分别比对照 (CK) 高 6.71%、3.55% 和 9.60%。由图 1 可以看出, 处理 I、II、III 和对照 (CK) 的土壤含水量随土层深度的增加整体呈“减-增-减”的 S 型曲线趋势。在 0~100 cm 土层, 处理 I、III 和对照 (CK) 的平均含水量先增加后减少, 处理 II 相反, 防

表 1 试验处理

Table 1 Experiment treatment

代码 Code	处理 Treatment	处理方法 Treatment method
CK	清耕处理 Clean tillage	无任何集水防渗措施的常规耕作措施处理 Treatment of conventional farming measures without any water collection and seepage prevention measures
I	起垄覆膜处理 Ridging coated	在果树树干外侧四周起垄, 垄高 20 cm、垄长 300 cm, 垄面呈拱形。将小麦秸秆切碎至 5 cm 长覆盖在垄台上, 覆盖厚度 5 cm, 覆盖量为 2.5 kg · m <sup>-2</sup> ; 铺好后压实秸秆, 于秸秆之上覆盖 0.015 mm 无色透明聚乙烯塑料膜, 将地膜边埋入土中 A ridge was formed around the outside of the trunk of the tree, with a ridge height of 20 cm and a ridge length of 300 cm. The ridge surface was arched. The wheat straw was chopped to a length of 5 cm and covered on a ridge, with a thickness of 5 cm and a covering amount of 2.5 kg · m <sup>-2</sup> . After laying, compacted the straw, covered the straw with 0.015mm colorless transparent polyethylene plastic film, and buried the edge of the film in the soil
II	防渗层处理 Seepage control layer	在距果树 150 cm 处的相对两侧挖长×宽×高为 100 cm×50 cm×50 cm 坑槽, 平整底部, 在底部铺 5 cm 厚的土夯实, 再铺 5 cm 厚的过筛红黏土夯实即成为防渗层, 回填挖出土壤 Dug 100 cm×50 cm×50 cm pits 150 cm away from the tree on opposite sides, leveled the bottom, laid the bottom with 5 cm thick soil, and then laid 5 cm thick sieved red clay. Return all soil
III	起垄覆膜+防渗层处理 Ridging laminating impermeable layer process	防渗层处理和起垄覆膜处理组合共同布设 Combination of impervious layer treatment and ridged film treatment

渗层阻止了表层土壤的入渗,因此 50~80 cm 土层土壤含水量低;100~300 cm 土层处理 I 和对照(CK)的平均含水量相对稳定,且在 200~300 cm 土层缓慢增加,处理 II 和 III 先增加后减少,这是由于防渗层阻碍了水分垂直下渗,防渗层下部水分较少,而土壤水分的水平运动增加了 100~200 cm 土层的含水量。处理 I、II、III 和对照(CK)土壤含水量的峰值都位于土壤表层,处理 I、III 和对照(CK)的最大值在 30~40 cm 土层处,分别为 25.63%、25.99%、23.20%,处理 II 的最大值在 0~10 cm 土层处,为 26.40%。处理 I、II、III 和对照(CK)土壤含水量的最小值位置变化较大,对照(CK)处理的最小值在 140~150 cm 土层处,为 20.20%,处理 I、III 的土壤含水量最小值在 250~260 cm 土层处,分别为 21.57%和 21.56%,处理 II 的最小值在 50~60 cm 土层处,为 20.54%。

表 2 将不同处理 0~300 cm 土层的土壤平均含水量分层进行分析,处理 I、II 和 III 在 0~40 cm 土层土壤平均含水量分别比对照(CK)高 7.37%、6.51%和

12.04%。不同的聚水阻渗措施均增加了土壤表层含水量,处理 III 增加量达到显著水平;处理 I 和 III 在 40~100 cm 土层土壤平均含水量分别比对照(CK)高 7.90%和 10.21%,处理 II 只增加了 0.40%,效果不显著;处理 I、II 和 III 在 100~200 cm 土层的土壤平均含水量分别比对照(CK)高 7.99%、9.03%和 12.27%。处理 II 的土壤平均含水量比上层增加量显著;处理 I 和 III 在 200~300 cm 的土壤平均含水量分别比对照(CK)高 3.27%和 3.74%,处理 II 比对照(CK)降低了 1.43%。深层土壤水分变化幅度较小。处理 I 和对照(CK)相比,每层之间土壤平均含水量的增幅相对一致,处理 III 在 40~100 cm 土层有一定降低,其他处理相对一致,处理 II 每层之间土壤平均含水量的增幅变化较大,在 0~40 cm 和 100~200 cm 土层增幅更显著。

2.2 不同集水措施土壤储水量变化

2017—2018 年降水量为 560.4 mm,2018—2019 年降水量为 577.4 mm,皆为平水年。图 2 是不同处理 2017—2018 年 0~300 cm 土层土壤储水量和月降雨量变化,储水量与降雨量的变化趋势基本一致,土壤储水量相对于降雨量存在一定滞后性,因为降雨会缓慢向土壤深层渗透。不同处理的平均储水量为:CK(636.778 mm) < II(676.200 mm) < I(681.030 mm) < III(696.188 mm),处理 I、II 和 III 都提高了 0~300 cm 土层的土壤储水量,其中处理 III 最高,提高了 9.33%。

表 2 各处理不同土层土壤年平均含水量 /%

Table 2 Average annual soil water content of different soil layers under different treatments

土层 Soil layer/cm	I	II	III	CK
0~40	24.34	24.15	25.40	22.67
40~100	22.81	21.22	23.30	21.14
100~200	22.10	22.33	22.98	20.47
200~300	22.07	21.06	22.17	21.37
平均 Average	22.75	22.08	23.37	21.32

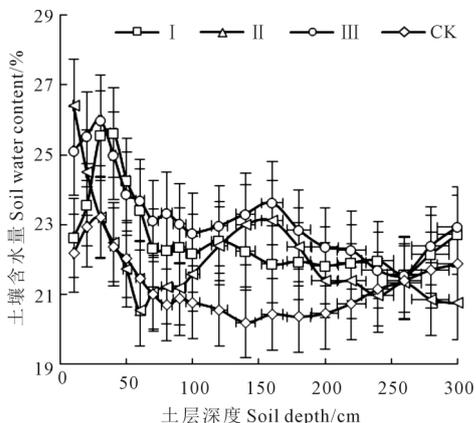


图 1 苹果园不同集水阻渗措施土壤水分含量垂直分布

Fig.1 Vertical distribution of soil moisture content in apple orchards under different treatments

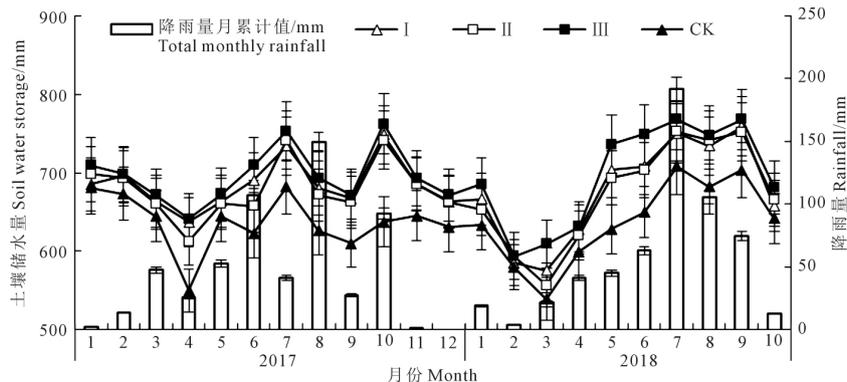


图 2 苹果园 2017—2018 年月降雨量及不同处理 0~300 cm 土层土壤储水量

(C) Fig.2 Monthly rainfall of apple orchards from 2017 to 2018 and 0~300 cm soil storage water under different treatments

2.3 不同处理土壤硝态氮含量剖面分布特征

不同集水防渗措施土壤硝态氮含量剖面分布特征如图 3 所示。不同处理 0~300 cm 土层硝态氮的平均含量为: III ( 51.213 mg · kg<sup>-1</sup> ) < I ( 64.776 mg · kg<sup>-1</sup> ) < II ( 97.067 mg · kg<sup>-1</sup> ) < CK ( 119.508 mg · kg<sup>-1</sup> ) 。处理 I、II 和 III 的硝态氮平均含量分别比对照低 45.80%、18.78% 和 57.15% , 处理 I 和 III 的硝态氮含量显著低于对照。随着土层深度的增加, 土壤硝态氮含量先增加后减少再增加。0~80 cm 土层各处理的土壤硝态氮含量较低, 处理 I 在该层的土壤硝态氮含量相对稳定, 处理 II 和 III 硝态氮含量先增加再降低, 出现小波峰, 对照处理在该层的土壤硝态氮含量则表现为逐渐增加。80~240 cm 土层土壤硝态氮含量急剧变化, 处理 I、II 和对照分别在 200、180 cm 和 140 cm 土层出现了累积峰, 峰值分别为 93.219、157.532 mg · kg<sup>-1</sup> 和 187.237 mg · kg<sup>-1</sup> , 处理 I、II 硝态氮含量分别比对照低 50.21% 和 15.86% 且向下移动了 60 cm 和 40 cm, 处理 III 在 80~240 cm 土层未出现累积峰。在 240~300 cm 土层, 各处理的硝态氮含量逐渐增加, 且处理间差异不显著。

2.4 不同处理土壤硝态氮累积量变化

不同处理的土壤硝态氮累积量有显著差异。如图 4 所示, 0~40 cm 土层硝态氮累积量较少, 各处理的硝态氮累积量表现为: I ( 68.875 kg · hm<sup>-2</sup> ) < III ( 130.272 kg · hm<sup>-2</sup> ) < II ( 132.068 kg · hm<sup>-2</sup> ) < CK ( 239.907 kg · hm<sup>-2</sup> ) , 对照处理的硝态氮含量分别是处理 I、II 和 III 的 3.48 倍、1.82 倍和 1.84 倍, 处理 I、II 和 III 显著降低了表层土壤硝态氮含量。40~100 cm 土层各处理的硝态氮累积量占剖面总量的 7.53%~17.81% , 对照 ( CK ) 处理分别是处理 I、II、III 的 4.56 倍、2.30 倍和 3.46 倍。100~200 cm 土层是土壤硝态氮的主要累积层, 各处理的累积量差别较大, 但处理 I、II 和对照 ( CK ) 占 0~300 cm 土层

硝态氮累积总量的差异不显著, 分别为 42.70%、46.69% 和 45.93%; 处理 III 占 0~300 cm 土层硝态氮累积总量的 25.86% , 比其它处理低, 其主要累积层在 200~300 cm , 占总量的 55.77% , 其它处理 200~300 cm 土层的硝态氮累积量比 100~200 cm 土层有所减少, 各处理间差异也不显著。

2.5 不同处理土壤铵态氮剖面分布特征

不同集水防渗措施土壤铵态氮含量剖面分布特征如图 5 所示。不同处理 0~300 cm 土层铵态氮的平均含量为: I ( 4.725 mg · kg<sup>-1</sup> ) < III ( 4.835 mg · kg<sup>-1</sup> ) < II ( 4.851 mg · kg<sup>-1</sup> ) < CK ( 6.098 mg · kg<sup>-1</sup> ) 。处理 I、II 和 III 的铵态氮平均含量分别比对照低 22.51%、20.46% 和 20.72% , 处理 I、II 和 III 的铵态氮含量都低于对照 ( CK ) , 不同集水防渗措施有效降低了土壤中的铵态氮含量。土壤铵态氮含量随着土层深度的变化并不明显, 整体呈均匀分布, 处理 II 和 III 在 0~100 cm 土层的铵态氮含量高于处理 I, 说明防渗层截留了部分铵态氮, 截留效率分别为 14.48% 和 20.35%。100~300 cm 土层的铵态氮含量变化平缓, 对照 ( CK ) 高于其它处理。

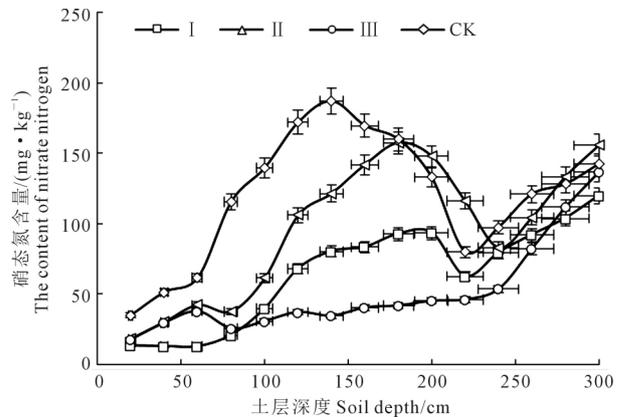


图 3 苹果园地不同集水阻渗措施土壤硝态氮含量剖面分布  
Fig.3 Soil profile distribution of nitrate N content in apple orchards under different treatments

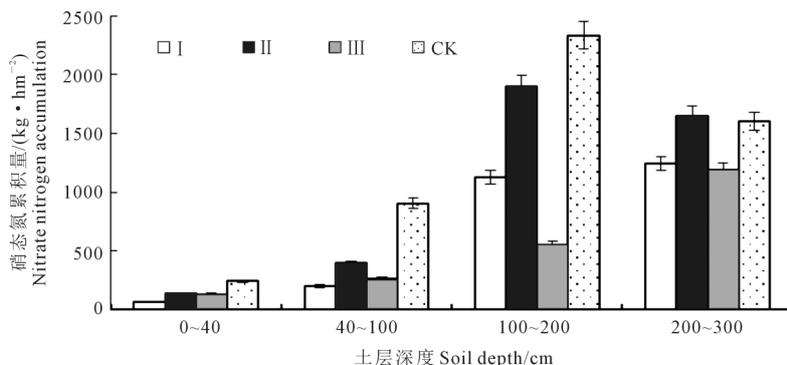


图 4 苹果园地不同集水阻渗措施土壤硝态氮累积量  
Fig.4 Soil nitrate accumulation in apple orchards under different treatments

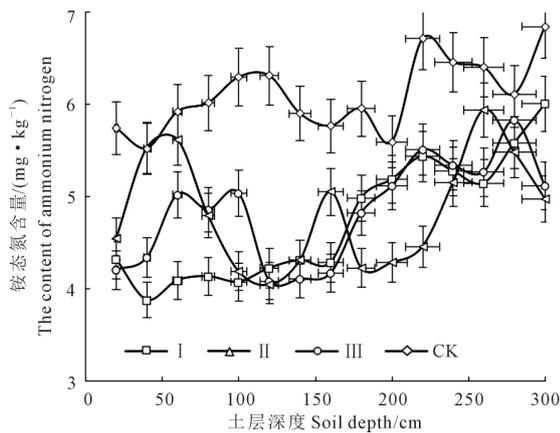


图 5 苹果园不同集水防渗措施土壤铵态氮含量剖面分布  
Fig.5 Profile distribution of ammonium N content in apple orchards under different treatments

### 3 讨论

#### 3.1 不同集水防渗措施对土壤水分的影响

在黄土高原地区,水分的利用效率是限制作物生长和产量的关键因素,土壤水分受土壤质地、降水量、土壤剖面特征、植被根系和农业生产活动等多种因素的影响<sup>[13-17]</sup>。白胜元等<sup>[18]</sup>研究表明,黄土高原地区的降雨入渗在 0~200 cm 土层内,果园土壤水分在 200 cm 土层以下相对趋于稳定,入渗深度决定了果树对水分的吸收效率。本研究表明,起垄覆膜处理、人工防渗层处理和起垄覆膜加防渗层处理能够有效增加 0~200 cm 土层的总土壤含水量,这是因为起垄覆膜处理能够汇集天然降雨和地表径流,直接增加了土壤水分,这与索改弟等<sup>[11]</sup>的研究一致。由于防渗层的截留入渗作用,人工防渗层处理和起垄覆膜加防渗层处理 0~40 cm 土层的土壤含水量增加最为显著,防渗层下的 20~30 cm 土层范围内存在一个明显的‘低湿层’,‘低湿层’下 200 cm 土层的土壤含水量变化趋势较为稳定,这与金波等<sup>[19]</sup>和王延平<sup>[20]</sup>的研究结果一致。起垄覆膜加防渗层处理的土壤含水量在低湿层下有回升,这可能是由于起垄覆膜措施增加的水分通过水平渗透增加了该土层的含水量。宋小林等<sup>[21]</sup>研究表明,高含水量的表层土壤能够影响果树根系的生长,引导根系向该区域延伸,从而影响果树对水分的利用效率。本研究通过将起垄覆膜和人工防渗层措施相结合,增加了表层土壤的含水量,提高了水肥利用率,达到果园增产的目的。

不同措施下的土壤储水量依旧受到降水量的影响,但各处理均能够增加土壤储水量。黄土高原雨养区年降水分布不均,土壤储水量的增加对缓冲

干旱具有重要作用,还能缓解土壤深层干燥化,改良果园土壤生态<sup>[22]</sup>。

#### 3.2 不同集水防渗措施对土壤矿质氮累积的影响

化肥是现代农业生产的重要保证,但过量施用化肥会导致土壤污染,果园经过连续多年种植后,硝态氮深层累积成为常态。土壤硝态氮累积和淋失不仅导致土壤养分浪费,而且造成土壤和地下水污染<sup>[4]</sup>。范鹏等<sup>[23]</sup>的研究指出,果树种植年限越长,土壤硝态氮累积量越高。本试验选取的果园果树为 18 龄,土壤硝态氮累积量较大,清耕处理 0~300 cm 土层的土壤硝态氮累积量甚至高达 5 082.55 kg · hm<sup>-2</sup>。起垄覆膜处理、人工防渗层处理和起垄覆膜加防渗层处理都降低了 0~300 cm 土层的硝态氮累积量,起垄覆膜处理最为明显,原因在于起垄覆膜措施能够汇集降雨和地表径流,同时抑制蒸发,增强了土壤水分下渗能力,具有良好的保水保墒作用,水分更容易在深层储存,硝态氮得以随着水分运动向更深层累积<sup>[24]</sup>。人工防渗层处理和起垄覆膜加防渗层处理小幅度增加了 0~40 cm 土层的土壤硝态氮累积量,原因在于人工防渗层阻碍了水分的垂直下渗,从而减少了新施入硝态氮的深层淋溶,使硝态氮在 0~40 cm 土层累积。由于 0~100 cm 土层内苹果树的根系量占到总根系量的 68.23%<sup>[25]</sup>,表层累积的硝态氮更容易被果树根系吸收,使得氮素利用率增加,从而减少了总的硝态氮累积量; 40~200 cm 土层土壤硝态氮的减少是因为中层土壤缺少表层向下淋溶的硝态氮,起垄覆膜加防渗层处理比人工防渗层处理更能汇集雨水,减轻水分水平入渗,因此中层土壤的硝态氮含量更低。和清耕处理相比,各处理的土壤硝态氮的累积峰显著降低,但是累积峰却向下移动了 40~60 cm,原因在于防渗层减轻了水分的深层下渗,施加的氮肥随水分淋溶的含量也相应减少,硝态氮随水分的下渗深度有限,因此深层残留的硝态氮深层累积量变化不显著,清耕处理、起垄覆膜处理、人工防渗层处理和起垄覆膜加防渗层处理的硝态氮含量在 200~300 cm 土层差异不显著。

郭胜利等<sup>[26]</sup>认为,土壤硝态氮深层累积是雨养农业区施肥、作物、降水、土壤特性等长期综合作用的结果。硝态氮在土壤中的累积分布受土壤剖面硝态氮含量、作物根系吸收和水分垂直运动的影响<sup>[27]</sup>。起垄覆膜处理和人工防渗层处理通过改变土壤水分的时空分布,增加表层土壤的含水量,从而影响土壤硝态氮的淋溶和果树的养分吸收,达到增产增收的效果,但对土壤深层的硝态氮累积影响不显著,需要探索其它措施来减轻深层硝态氮的累积。

## 4 结 论

通过不同的集水阻渗措施处理技术在黄土高原果园的应用研究,分析了起垄覆膜处理、人工防渗层处理、起垄覆膜加防渗层处理和清耕处理下土壤水分、铵态氮、硝态氮的变化范围,得出以下结论:

(1) 起垄覆膜处理(Ⅰ)、防渗层处理(Ⅱ)和起垄覆膜加防渗层处理(Ⅲ)均能增加0~300 cm土层土壤含水量与储水量,起垄覆膜处理(Ⅰ)通过汇集降雨和径流,使0~200 cm土层土壤含水量均匀增加7.73%;防渗层处理(Ⅱ)通过减少水分下渗,对0~40 cm土层土壤含水量增加效果较好,增加了7.37%,但对深层土壤增加效果较差;起垄覆膜加防渗层处理(Ⅲ)通过两种处理相结合效果最好,能够增加0~300 cm土层9.60%的土壤含水量。

(2) 起垄覆膜处理(Ⅰ)、防渗层处理(Ⅱ)和起垄覆膜加防渗层处理(Ⅲ)均能减少0~300 cm土层硝态氮含量,起垄覆膜处理(Ⅰ)主要增加了硝态氮随水分向深层淋溶的作用,从而均匀减少了60.08%的0~200 cm土层土壤硝态氮含量;防渗层处理(Ⅱ)通过阻碍水分下渗,增加了0~40 cm土层土壤硝态氮含量,减轻了40~200 cm土层水分淋溶作用,从而减少40~200 cm土层土壤74.38%的硝态氮含量,使硝态氮更易被苹果根系吸收,改善水肥利用效率;起垄覆膜加防渗层处理(Ⅲ)整体效果最好,减少了57.15%硝态氮含量。

总体而言,起垄覆膜加防渗层处理在本试验条件下效果最佳。

### 参 考 文 献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 [J]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [2] 刘延莉. 延安地区苹果北扩气候区划及干旱风险评估 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
- [3] Zhao Z P, Yan S, Liu F, et al. Effects of chemical fertilizer combined with organic manure on Fuji apple quality, yield and soil fertility in apple orchard on the Loess Plateau of China [J]. International Journal of Agricultural Biological Engineering, 2014, 7(2): 45-55.
- [4] Wang Q, Li F, Zhao L, et al. Effects of irrigation and nitrogen application rates on nitrate nitrogen distribution and fertilizer nitrogen loss, wheat yield and nitrogen uptake on a recently reclaimed sandy farmland [J]. Plant and Soil, 2010, 337(1-2): 325-339.
- [5] 赵佐平. 陕西苹果、猕猴桃园施肥技术研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [6] 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.
- [7] Zhao H, Wang R Y, Ma B L, et al. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem [J]. Field Crops Research, 2014, 161: 137-148.
- [8] 叶胜兰. 不同覆盖材料对土壤含水量及小麦产量的影响 [J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2018, 3(6): 56-60.
- [9] 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.
- [10] 董军, 赵勇胜, 杨继东, 等. 沸石改性天然粘土防渗层性能研究 [J]. 环境科学与技术, 2005, (4): 92-94+120.
- [11] 索改弟, 谢永生, 揣峻峰, 等. 苹果园地表起垄微聚流技术调控下土壤水分的时空分布 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2354-2361.
- [12] 金波. 干旱山地苹果园集雨—壤中防渗对土壤水分及其产量的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [13] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [14] 李生秀, 李世清, 高亚军, 等. 施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果 [J]. 干旱地区农业研究, 1994, (1): 38-46.
- [15] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响 [J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91-101.
- [16] 王淑芬, 张喜英, 裴冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27-32.
- [17] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究 [J]. 专家文献库, 2000, 29(34-38).
- [18] 白盛元, 汪有科, 马建鹏, 等. 黄土高原半干旱区降雨入渗试验研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(2): 218-223+231.
- [19] 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): 189-198.
- [20] 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.
- [21] 宋小林, 吴普特, 赵西宁, 等. 黄土高原肥水坑施技术下苹果树根系及土壤水分布 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 121-128.
- [22] 段晨宇. 黄土高原植被对土壤储水量和土壤干层的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [23] 范鹏, 李军, 张丽娜, 等. 黄土高原苹果园地深层土壤氮素含量与分布特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 420-429.
- [24] 白秀梅, 卫正新, 郭汉清, 等. 旱地起垄覆膜微集水种植技术的生态效应研究 [J]. 耕作与栽培, 2006, (1): 8-9+48.
- [25] 孟秦倩. 黄土高原山地苹果园土壤水分消耗规律与果树生长响应 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [26] 郭胜利, 刘文兆, 史竹叶, 等. 半干旱区流域土壤养分分布特征及其与地形、植被的关系 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 40-43.
- [27] Zhang Y M, Chun-Sheng H U, Zhang J B. Nitrate leaching in an irrigated wheat-maize rotation field in the North China Plain [J]. Sciences, Chinese Academy Of Pedosphere, 2005, 15(2): 196-203.