

不同覆盖措施下苹果园土壤水文差异

张义^{1,2}, 谢永生^{1*}

(1. 西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

摘要: 为探清不同地表覆盖措施(清耕处理、生草处理、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖)对苹果园土壤水文状况的影响,利用水分中子仪于2007年10月-2009年10月对黄土高原红富士苹果园土壤水分状况进行定位监测,并同时调查苹果产量。结果表明,果园土壤水分年周期可划分为春夏失墒期、夏秋增墒期和冬春稳墒期3个时期;3个时期中0~600 cm深土壤剖面水分均为砂石覆盖处理最低,地膜覆盖处理最高;雨季后,不同覆盖的土壤水分均得到恢复,其中,砂石覆盖处理恢复率最高(10.52%),其次为秸秆覆盖处理(9.47%),清耕处理恢复率最低(6.53%),最大恢复深度(年周期最大入渗深度)可达260 cm上下;结合产量因素得出,各处理的水分利用效率分别为,清耕处理35.75 kg/(mm·hm²)、生草处理40.31 kg/(mm·hm²)、地膜覆盖47.81 kg/(mm·hm²)、秸秆覆盖58.99 kg/(mm·hm²)、砂石覆盖80.25 kg/(mm·hm²)。所以,在黄土高原地区,砂石覆盖应是改善果园土壤水文状况的适宜地表覆盖措施。

关键词: 苹果园; 土壤水分; 地表覆盖; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1004-5759(2011)02-0085-08

黄土高原地区是我国重要的优质苹果(*Malus pumila*)产区,以渭北旱塬为代表的黄土高原苹果产业已成为促进该区域经济发展、改善生态环境的支柱产业^[1]。然而由于该地区处于半湿润易旱地区,土壤水分成为限制果品质量和产量的关键因子^[2]。多年来,众多科学工作者为保蓄土壤水分,提高水分利用率做了大量卓有成效的研究^[3-5],其中之一就是采用地表覆盖技术^[6]。

地表覆盖技术是改善农田小气候的重要措施之一,不仅具有明显的蓄水保墒、保持水土的功能,还有保护土壤结构、调节地温、抑制杂草等多种作用^[7-9],在生产应用中效果、效益显著,深受世界各国重视,覆盖材料和技术迅速发展,应用面积不断扩大,为旱地农业持续发展发挥了重大作用。Sirrinc等^[10]研究证实,通过地表覆盖管理技术,在化肥施用量减少一半的情况下,果实产量不会降低。曹李兴等^[11]对闽北地区地膜覆盖葡萄园的研究指出,不同材料的地膜均能够提高土壤浅层地温,并改善葡萄(*Vitis vinifera*)品质。孟林等^[12]在苹果园间种三叶草(*Trifolium repens*),并与传统清耕果园小环境作对比指出,间种三叶草能有效改善园区地温和气温,提高园区空气相对湿度。崔向新等^[13]在内蒙古希拉穆仁草原对秸秆覆盖下土壤物理性质的差异进行研究指出,秸秆覆盖的调温效应表现为高温时具有“降温作用”,低温时具有“保温效应”。

国内外有关果园地表覆盖技术的研究多是单一覆盖措施的环境效应分析,而对于同一地区同一生态系统下不同覆盖措施间的环境响应研究不多。本研究通过分析不同覆盖措施(清耕处理、生草处理、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖)对果园土壤水分的影响及产量差异,来探究地表覆盖技术对果园土壤水文状况的影响,以期提出改善该区域果园土壤水文状况的适宜技术,为实现该区域果业的健康持续发展提供科学指导。

1 材料与方 法

1.1 试验区自然概况

试验在位于陕西省长武县的中国科学院长武黄土高原农业生态试验站进行。该站海拔1200 m,地貌类型

*收稿日期: 2010-02-23; 改回日期: 2010-03-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目农田水土保持关键技术研究示范(2011BAD31B01),水利部公益性行业科研专项经费项目(201001036)和水利部公益性行业科研专项经费项目(200901051)资助。

作者简介: 张义(1984),男,河南郑州人,硕士。E-mail: zhangyi_zy@msn.com

* 通讯作者。E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn

为黄土高原南部典型高塬沟壑地貌,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 9.1°C ,无霜期 171 d,年平均降水量 578.5 mm , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3\ 029^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 32.4°C ,极端最低气温 -19.6°C ,年日照时数 $2\ 230\text{ h}$,日照率 51% ,年辐射总量 $4\ 837\text{ kJ}/\text{cm}^2$ 。土壤为中壤质黑垆土,总孔隙度 $47.5\% \sim 56.0\%$ 。0~1, 1~2, 2~3 和 3~6 m 剖面内平均容重分别为 $1.34, 1.28, 1.31$ 和 $1.30\text{ g}/\text{cm}^3$ ^[14]。根据实测水分特征曲线得出的水分常数分别是:田间持水量 23% ($3 \times 10^4\text{ Pa}$ 时的含水率),萎蔫系数 10.6% ($1.5 \times 10^6\text{ Pa}$)^[15]。

试验果园面积 933 m^2 ,建园时间为 2000 年,主栽品种为长枝红富士,株行距 $3.5\text{ m} \times 4.0\text{ m}$,南北走向,无灌溉条件,主要依靠天然降水补充水分。园区果树生长健壮,树势中等,无病虫害,果树生长管理状况在该区域具有代表性。

1.2 试验设计

本试验于 2006 年 4 月布设,共设 5 个处理,分别为清耕处理、生草处理、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖,其中,将清耕处理设为对照。完全随机排列,各试验小区施肥量一致,各小区面积均为 186 m^2 ,树体管理统一按一般方法进行,全部进行套袋生产。

清耕处理为无任何覆盖措施的苹果栽培,试验期间人工除草;生草处理采用草种为白三叶草,撒播草籽量为 $50\text{ kg}/\text{hm}^2$,全园生草,于每年 3 月根据三叶草生长状况适当补栽;地膜覆盖处理选用厚度为 0.015 mm 的无色透明聚乙烯塑料膜,在行间树冠正投影区域覆盖,并于每年 11 月更换地膜,重新铺设;秸秆覆盖处理材料为小麦秸秆,覆盖厚度为 15 cm ,于每年 11 月适量增加以保证 15 cm 的覆盖厚度;砂石覆盖处理的砂石直径为 $2 \sim 5\text{ cm}$,覆盖厚度为 4 cm 左右。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 土壤水分监测 采用美国 CNG-503B(DR) 型中子仪定位测定 6 m 深度范围内的土壤含水量(容积含水量,下同),全园按“S”形路线埋设 15 个 630 cm 长铝制中子管(地表外露 30 cm),其中每试验小区埋设 3 个,于每月 1 日和 15 日测定土壤水分,若遇雨雪天气后延。0~100 cm 土层每 10 cm 测定 1 次,100~600 cm 土层每 20 cm 测定 1 次,每个处理 3 次重复。

1.3.2 其他数据来源 在果实采收季节,实地调查不同处理的果实产量。大气降水量由中国科学院长武黄土高原农业生态试验站提供。

1.4 数据处理

土壤水分计算公式: $\theta_v = a + b \cdot (cnt/std)$, 式中, θ_v 为土壤容积百分含量(%); a, b 分别为标定方程的截距和斜率; cnt 为中子仪在土壤中测定的原始数据; std 为中子仪在室内标准条件下的标准计数; cnt/std 为计数比。

水分利用效率(water use efficiency, WUE)计算公式^[16]: $WUE(\text{kg}/\text{mm} \cdot \text{hm}^2) = Y/ET$, 式中, Y 为经济产量(kg/hm^2); ET 为果树生长活动期内的蒸散量(mm)。 $ET = P - \Delta S$, 式中, P 是果树生长活动期的降水量(mm), S 是果树生长活动期土壤剖面水分含量(mm)之差。

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据处理及作图,采用 DPS v3.01 软件进行单因素方差分析(ANOVA)及多重比较(Duncan 法)。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖措施土壤贮水量的动态变化

黄土高原地区土壤水分主要依靠大气降水补偿^[17],因而受降水季节性分布的影响,土壤水分也发生相应的季节性变化。然而土壤水分的这种季节变化虽与气候上的干湿季有一致性,但并不完全吻合(图 1),不同覆盖措施下,土壤水分补偿效果显现的时间均比降水量最大值出现的时间滞后 1 个月左右。这主要是由于土壤水分的垂直输送具有滞后性引起的,并说明土壤水分向下再分配可持续较长的时间,不过覆盖没有影响土壤水分补偿的滞后时间。

根据果园土壤贮水量的动态变化(图 1),各处理土壤贮水量在年周期内的变化趋势一致,年际间重现性较好,果园土壤水分在年周期内经历 3 个时期:1)春夏失墒期(4~7 月),此期,土壤水分一直处于下降阶段,这主要是由于该时段内果树生长需水量增加,而该时期及其前期降水稀少,加之空气温度和地面温度升高,加剧了土壤

毛管水分运动和土壤蒸发。而且在冬春连旱年份(2009 年),土壤失墒现象更为明显。2) 夏秋雨季增墒期(7- 10 月), 7 月黄土高原地区进入雨季^[18], 该时期的平均降水量可占全年平均降水量的 67.60%, 而果树需水量逐渐减小^[19], 土壤水分开始恢复与积累, 随着这一时期的结束, 土壤剖面含水量达到年内的最高值。3) 冬春稳墒期(11 月- 翌年 3 月), 冬季气温较低, 降水极少, 土壤封冻后蒸发缓慢, 且果树处于休眠期, 需水量较少, 土壤水分呈稳定状态; 春季解冻后果树处于萌芽期, 需水量也不大, 导致土壤墒情较为稳定。

研究时段内(2007 年 10 月- 2009 年 10 月)不同覆盖措施果园土壤平均贮水量, 地膜覆盖(1 570.18 mm) > 生草处理(1 540.98 mm) > 秸秆覆盖(1 519.96 mm) > 清耕处理(1 499.86 mm) > 砂石覆盖(1 480.90 mm)。经 Duncan 新复极差法检验显示, 除砂石覆盖与清耕处理差异不显著($P > 0.05$)外, 其他覆盖措施土壤贮水量均显著多于清耕处理的土壤贮水量($P < 0.05$)。

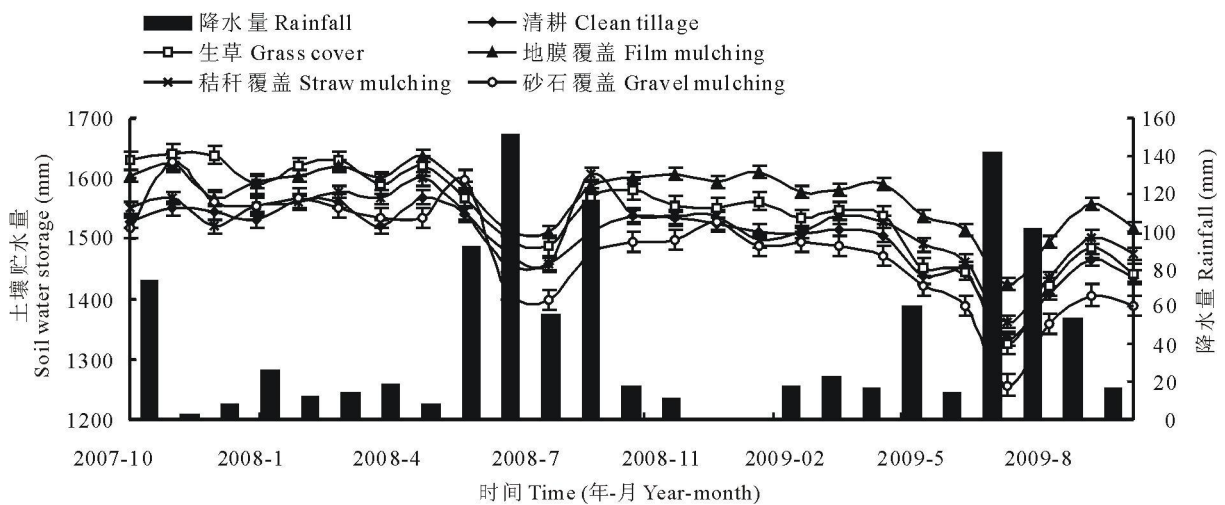


图 1 试验区月降水量及不同覆盖措施土壤 6 m 月贮水量动态变化(2007 年 10 月- 2009 年 10 月)

Fig. 1 Monthly variation of rainfall and soil water storage under different mulching from October 2007 to October 2009 in experimental area

2.2 土壤水分在不同时期不同覆盖措施下的剖面分布

土壤水分的剖面分布主要受降水、土壤蒸发、植物耗水等相互作用的影响, 同时不同植被覆盖也对其具有重要的影响^[20, 21]。结合土壤贮水量年周期内的 3 个时期, 选择 7 月、10 月和 1 月分别代表春夏失墒期、夏秋增墒期和冬春稳墒期进行剖面典型分析。

2.2.1 春夏失墒期(7 月)土壤剖面水分变化

4- 7 月果树生长旺盛, 需水量持续增加, 但大气降水较少, 只占年降水量的 27%, 使该时期末土壤水分含量降到一年中的最低值(图 1), 所以选择 7 月的土壤水分剖面分布作为该阶段的代表进行典型分析。

将观测期内各年 7 月份的土壤含水量平均后进行分析(图 2a), 各处理的土壤水分从表层到深层均呈增- 减- 稳的变化趋势, 但变化差异较小(平均变异系数 10.30%)。在 0~ 100 cm 剖面内, 受降水和土壤蒸发的影响, 土壤水分先后经历了增- 减剧烈变化; 该层生草处理的土壤含水量显著低于其他处理($P < 0.05$), 这主要是由于三叶草的蒸腾作用而导致土壤失水, 其他各处理间土壤水分差异均不显著($P > 0.05$)。100 cm 以下剖面各处理的土壤水分趋于稳定, 且随土层的加深各处理土壤水分含量均略有增加; 在该层次的不同覆盖措施中, 砂石覆盖土壤含水量显著低于其他各处理($P < 0.05$)。

该时期 0~ 600 cm 深剖面各处理各层次的土壤平均含水量在 20%~ 26% 波动, 且果树在该时期耗水量较大而补充量较小, 导致土壤水分相对于其他时期含量整体偏低, 但上下均一, 变异较小。此时, 剖面平均含水量: 砂石覆盖(22.12%) < 清耕处理(23.13%) < 生草处理(23.15%) < 秸秆覆盖(23.45%) < 地膜覆盖(24.24%)。

2.2.2 夏秋增墒期(10月)土壤剖面水分变化 7-10月为黄土高原地区的雨季,降水量可占全年总降水量的67.7%,加之此时期果实趋于成熟,生理蒸腾耗水减少,土壤水分得以逐渐恢复,使该时期末土壤水分含量达到一年中的最大值(图1),所以选择10月的土壤水分剖面分布作为该阶段的代表进行典型分析。

通过观测期内各年10月份的土壤平均含水量剖面分布(图2b)可以看出,0~100 cm内的土壤水分得到明显恢复,并不断向下渗透。该层次不同覆盖土壤平均含水量:清耕处理(29.62%) > 生草处理(29.59%) > 秸秆覆盖(29.56%) > 地膜覆盖(29.54%) > 砂石覆盖(28.38%),说明砂石覆盖和地膜覆盖土壤水分向下渗透量最大,而且各处理的土壤水分已基本达到田间持水量的水平。100~260 cm为苹果树根系的主要吸水区域,在该区域土壤水分由于被根系吸收尚未恢复而迅速减少,不同处理的平均水分含量为:地膜覆盖(25.88%) > 砂石覆盖(25.17%) > 秸秆覆盖(25.00%) > 生草处理(24.49%) > 清耕处理(24.21%),其排序基本与0~100 cm的土壤水分排序相反,间接说明此层水分来源于土壤上层水分的下渗。另外,该层次是苹果树根系的集中分布区域,提高该层次的土壤含水量可以起到提高土壤水分利用率的作用。260 cm以下剖面,各处理的土壤含水量随土层深度的加深而增加;在该层次的不同覆盖措施中,砂石覆盖土壤含水量显著低于其他各处理($P < 0.05$),地膜覆盖土壤含水量显著高于其他各处理($P < 0.05$)。

该时期0~600 cm剖面各处理各层次的土壤平均含水量在20%~35%波动,变异较大,剖面平均含水量:砂石覆盖(24.66%) < 清耕处理(25.47%) < 秸秆覆盖(25.75%) < 生草处理(25.82%) < 地膜覆盖(26.50%)。

2.2.3 冬春稳墒期(1月)土壤剖面水分变化 11月-翌年3月为苹果树的休眠期和萌芽初期,果树所需水分极少,同时该时期的大气降水量也仅占全年总降水量的5%左右,土壤水分总量较为稳定(图1),剖面水分分布主要表现为上层水分的下渗。选择该时期的中期1月土壤水分剖面分布作典型分析。

结果显示,各处理的土壤水分恢复深度已基本达到180 cm上下(图2c)。由于此时苹果树对土壤水分的影响已经很小,土壤水分的差异主要受到不同覆盖处理的作用,所以此时期0~180 cm的剖面区间最能说明不同覆盖措施的蓄水保水效应。在该区间内各

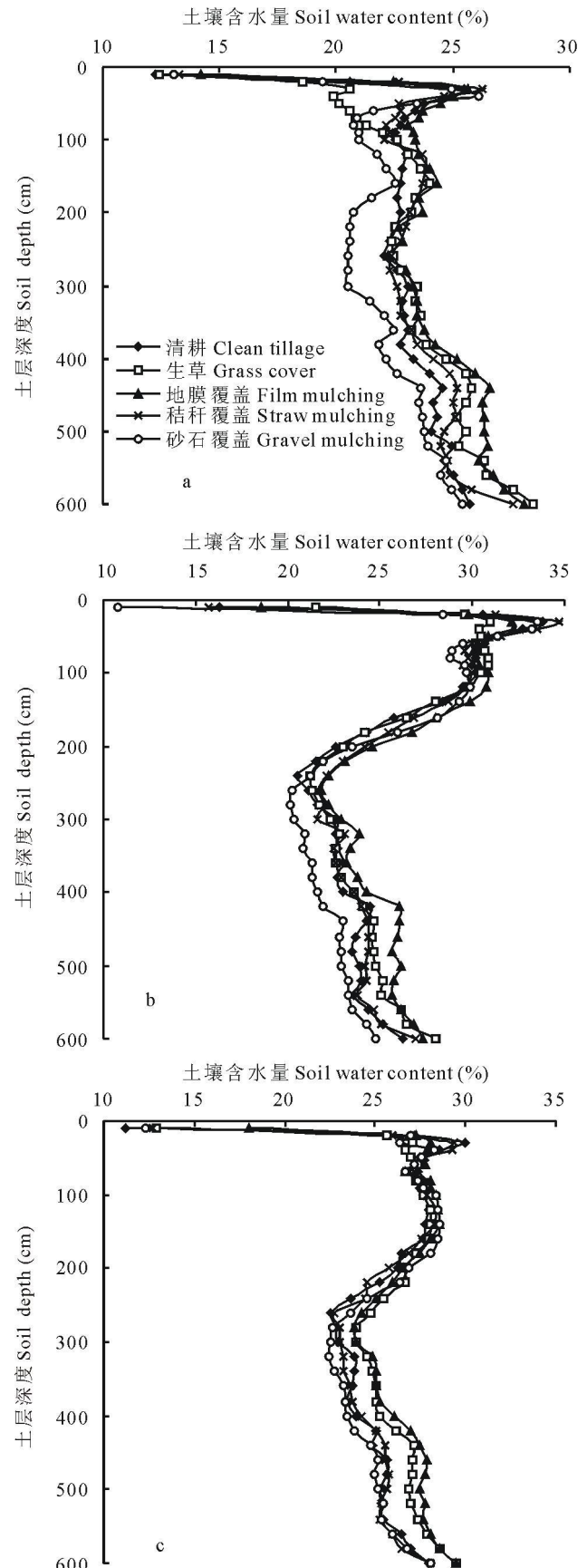


图2 不同覆盖措施土壤水分的剖面分布

Fig. 2 The distribution of soil water content in soil profile under different mulching

理的平均含水量: 地膜覆盖(27.16%) > 秸秆覆盖(26.70%) > 砂石覆盖(26.60%) > 生草处理(26.24%) > 清耕(25.47%), 可见各覆盖措施均能不同程度的提高土壤保水能力。180~260 cm 土壤含水量与上层相比虽有降低, 但与前一时期相比又有提高, 说明此时土壤水分仍在继续下渗, 不过尚未恢复至最佳水平。260 cm 以下剖面, 各处理的土壤含水量随土层深度的加深而增加; 在该范围的不同覆盖措施中, 地膜覆盖和生草处理土壤含水量显著高于清耕处理($P < 0.05$), 而砂石覆盖和秸秆覆盖与清耕相比差异不显著($P > 0.05$)。

随着土壤水分的持续下渗, 该时期 0~600 cm 剖面内各层次间土壤水分含量差异趋于减小; 各处理的剖面平均含水量: 砂石覆盖(24.42%) < 清耕处理(25.52%) < 秸秆覆盖(25.56%) < 生草处理(26.24%) < 地膜覆盖(26.72%)。

2.3 雨季降水对土壤水分的补偿作用

大气降水是黄土高原地区土壤水分的重要来源, 且降水季节性分布不均。7~9 月的降水量可占全年降水量的 60% 以上, 是黄土高原地区的雨季。因此, 雨季降水的补偿作用使得果园土壤水分得以补充和恢复。

各覆盖措施在 2008 和 2009 年雨季后土壤水分的恢复率均高于清耕(表 1), 并且砂石覆盖和秸秆覆盖在这两年的水分恢复率与清耕相比, 差异均达到显著水平($P < 0.05$), 表明进行地表覆盖管理可有效的减少土面蒸发, 提高降水在土壤中的保蓄, 且砂石覆盖效果最为显著。

2.4 不同覆盖措施对果树水分利用效率的影响

水分利用效率是衡量植物耗水量与物质生产量之间关系的重要参数, 也是节水农业的重要指标^[22, 23]。2008 年果树生长期降水量为 458.9 mm, 2009 年为 402.4 mm。不同覆盖措施果树的产量及对水分的利用率见表 2。

2008 年, 砂石覆盖处理的果实产量最高, 为 26 655 kg/hm², 比清耕处理高 135.63%; 生草处理的果实产量最低, 仅为 10 770 kg/hm²。2009 年各处理的果实产量均明显低于 2008 年, 其最高产量为地膜覆盖, 也仅为 12 150 kg/hm², 2 年间各处理的产量均出现明显的“大小年”现象。2 年的产量取平均值, 得出砂石覆盖产量最高, 生草处理产量最低, 两者相差 90.36%, 其主要原因是由于果园地表生草吸收了土壤中的一部分养分, 草与果树在营养吸收上形成了一定的竞争关系。

2 年间不同覆盖措施下果树的水分利用率均高于清耕(表 2), 并且砂石覆盖的水分利用率均是最高, 而蒸散量最低。说明进行地表覆盖可以减少蒸散量, 提高水分利用率。但是在降水量较少的 2009 年砂石覆盖和秸秆覆盖的水分利用率分别比降水量较多的 2008 年降低 43% 和 35%, 而其他处理却略有提高, 这其中的原因尚不明确。2 年的水分利用率取平均值可以得出, 生草处理、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖处理分别比清耕处理的水分利用率提高 12.74%, 33.71%, 65.00% 和 124.44%。方差分析与多重比较结果显示, 砂石覆盖降低蒸散量, 提高水分利用率的作用最为显著。

3 讨论

土壤水分是黄土高原地区农业生产的主要限制因子^[24], 在有限的水资源条件下利用适宜的生产技术提高土壤水分的利用率是提高当地农业生产效益, 降低生产耗能的关键。胡实等^[25]研究表明生草和秸秆覆盖能够提高桔园旱季土壤的贮水能力。李玲玲等^[26]研究发现秸秆覆盖可以提高小麦(*Triticum aestivum*) 水分利用率和产量。本研究通过选取 5 种地表管理措施, 将其水文状况作对比分析得出, 地表覆盖技术能够显著减少苹果园土壤蒸发, 提高水分利用率。其中, 地膜覆盖土壤含水量最高, 但其水分利用率较低, 这可能是由于覆膜影响了土壤通透性, 造成根系活力的降低。砂石覆盖在果树生长的各个时期土壤含水量虽然都是最低的, 但其产量却是最高,

表 1 不同覆盖措施雨季后比雨季前土壤水分增加的百分率

Table 1 Increasing percentage of soil moisture after the rainy season than the begging rainy season under different mulching %

处理 Treatment	年 Year		
	2008	2009	平均 Mean
清耕 Clean tillage	5.50 b	7.57 c	6.53
生草 Grass cover	6.20 b	8.84 b	7.52
地膜覆盖 Film mulching	5.66 b	9.33 b	7.49
秸秆覆盖 Straw mulching	8.62 a	10.33 a	9.47
砂石覆盖 Gravel mulching	9.20 a	11.85 a	10.52

同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 不同覆盖模式下果树的产量及水分利用效率

Table 2 Yield and water use efficiency under different mulching

处理 Treatment	2008 年 Year				2009 年 Year				平均 Mean	
	产量 Yield	耗水量 Consumption	蒸散量 ET	水分利用率 WUE	产量 Yield	耗水量 Consumption	蒸散量 ET	水分利用率 WUE	产量 Yield	水分利用率 WUE
	(kg/hm ²)	(mm)	(mm)	(kg/mm·hm ²)	(kg/hm ²)	(mm)	(mm)	(kg/mm·hm ²)	(kg/hm ²)	(kg/mm·hm ²)
清耕 Clean tillage	11 310	112.48	346.42	32.65 d	9 000	170.79	231.61	38.86 c	10 155.0	35.75
生草 Grass cover	10 770	133.11	325.79	33.06 d	9 000	213.17	189.23	47.56 b	9 885.0	40.31
地膜覆盖 Film mulching	14 873	124.50	334.40	44.48 c	12 150	164.79	237.61	51.13 a	13 511.5	47.81
秸秆覆盖 Straw mulching	23 843	148.76	310.14	76.88 b	9 750	165.21	237.19	41.11 b	16 796.5	58.99
砂石覆盖 Gravel mulching	26 655	198.14	260.76	102.23 a	10 980	213.95	188.45	58.27 a	18 817.5	80.25

蒸散量: ET, evapotranspiration; 水分利用率: WUE, water use efficiency.

较高的产量自然会增加土壤水分消耗的绝对量,综合看来在几种覆盖措施中砂石覆盖的水分利用率是最高的,达到 80.25 kg/(mm·hm²),而且它对土壤水分的补偿率也最高,蒸散量最低。所以,在黄土高原地区,砂石覆盖应是改善果园土壤水文状况的适宜技术。

通过年周期内土壤水分在剖面上的补偿及恢复状况可以推知,果园土壤水分下渗深度可达 260 cm 上下,虽与郝明德^[27]研究的该地区农田土壤水分下渗深度为 300 cm 的结论相比偏低,但已超过了果树根系的主要吸水区,因此从土壤水分空间变化来讲,土壤水分的恢复深度有利于果树翌年生长期对土壤水分的吸收。在果园土壤水分变化的 3 个时期中,夏秋增墒期和冬春稳墒期土壤墒情较好,春夏失墒期墒情较差,而此时又是苹果树生长的关键时期,提高该时期的土壤水分对增强树势,提高果实品质的作用最为显著^[28]。因此借助一定的调控技术以改善此时期的土壤水分状况具有重要意义,而这一技术方法还有待探索。

本研究得出砂石覆盖不仅能够提高水分利用率,还能提高果实产量,尤其是丰水年,增产效果最为显著,其产量可比清耕提高 135.63%。但是较高的产量就需要消耗较多的水分,导致砂石覆盖的土壤水分总量最低,若遇欠水年,果实产量与其他处理相比降低幅度最大,果树生产稳定性受到影响,因此,就需要对其进行生产力调控,通过控制果树的产量来降低果树对土壤水分消耗的绝对量,实现果树的持续优质稳产,这方面的研究目前正在进行中^[29]。

4 结论

本研究对黄土高原地区不同地表覆盖措施下果园土壤水文状况进行分析,结果显示,土壤水分补偿效果显现的时间均比降水量最大值出现的时间滞后 1 个月左右,但覆盖没有影响土壤水分补偿的滞后时间。根据果园土壤水分年周期的变化,可划分为春夏失墒期、夏秋增墒期和冬春稳定期 3 个时期,各时期土壤 600 cm 剖面含水量均为砂石覆盖最低,地膜覆盖最高。

雨季后,各处理的土壤水分均得到显著恢复,恢复深度(年周期最大入渗深度)可达 260 cm 上下。与雨季前各处理的土壤水分含量相比,清耕处理、生草处理、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖的土壤水分含量分别增加了 6.53%、7.52%、7.49%、9.47%和 10.52%。

与清耕处理相比,除生草处理果实产量降低外,其他覆盖措施均能不同程度的提高果实产量,尤以砂石覆盖效果最为明显。进行地表覆盖均能不同程度的降低土壤蒸发,并提高水分利用效率,各处理的水分利用效率如下:清耕处理 35.75 kg/(mm·hm²)、生草处理 40.31 kg/(mm·hm²)、地膜覆盖处理 47.81 kg/(mm·hm²)、秸秆覆盖处理 58.99 kg/(mm·hm²)、砂石覆盖处理 80.25 kg/(mm·hm²)。与清耕处理对比,分别提高 12.74%、33.71%、65.00%和 124.44%。

参考文献:

- [1] Wu F Q, Liu H B, Sun B S, *et al.* Net primary production and nutrient cycling in an apple orchard annual crop system in the Loess Plateau, China: A comparison of Qinguan apple, Fuji apple, corn and millet production subsystems[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 81: 95-105.
- [2] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. *地理学报*, 2001, 56(1): 7-13.
- [3] 朱显谟. 重建土壤水库是黄土高原治本之道[J]. *中国科学院院刊*, 2006, 21(4): 320-324.
- [4] 王力, 卫三平, 吴发启. 黄土丘陵沟壑区土壤水分环境及植被生长响应——以燕沟流域为例[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1543-1553.
- [5] 王俊, 刘文兆, 钟良平, 等. 长期连续种植苜蓿草地上部分生物量与土壤水分的空间差异性[J]. *草业学报*, 2009, 18(4): 41-46.
- [6] Li C H, Ma C L. Soil cover with organic mulch and its influences on soil physical parameters (II) ——change of soil porosity under organic mulch cover[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1997, 14(2): 82-85.
- [7] Hadrian F C, Gerardo S B V, Howard C L. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91(12): 227-235.
- [8] Stigter C J. Mulching as a traditional method of microclimate management[J]. *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B*, 1984, 35: 147-154.
- [9] 李昌新, 赵峰, 芮雯奕, 等. 长期秸秆还田和有机肥施用对双季稻田冬春季杂草群落的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(3): 142-147.
- [10] Surrine J R, Letourneau D K, Shennan C. Impacts of groundcover management systems on yield, leaf nutrients, weeds, and arthropods of tart cherry in Michigan, USA[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, (125): 239-245.
- [11] 曹李兴, 沈长华, 邱泉成, 等. 避雨棚内地表覆盖与套袋对红提葡萄园小气候及果实品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2009, 38(4): 54-56.
- [12] 孟林, 俞立恒, 毛培春, 等. 苹果园间种鸭茅和白三叶对园区小环境的影响[J]. *草业科学*, 2009, 26(8): 132-136.
- [13] 崔向新, 蒙仲举, 张兴源, 等. 秸秆覆盖保墒机理初步研究[J]. *内蒙古农业大学学报*, 2009, 30(1): 14-19.
- [14] 王锐, 刘文兆, 李志. 黄土塬区 10 m 深剖面土壤物理性质研究[J]. *土壤学报*, 2008, 45(3): 550-554.
- [15] 樊军, 郝明德, 邵明安. 黄土旱塬农业生态系统土壤深层水分消耗与水分生态环境效应[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1): 61-64.
- [16] 孙仕军, 丁跃元, 曹波, 等. 平原井灌区土壤水库调蓄能力分析[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(1): 42-47.
- [17] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 87-114.
- [18] Liu X Z, Song X Y. Study on the characteristics of soil moisture content in the apple growing subregions of the Weibei dry highland in Shaanxi Province[J]. *Arid Land Geography*, 2007, 27(3): 320-324.
- [19] 王进鑫, 张晓鹏, 高保山, 等. 渭北旱塬红富士苹果需水量与限水灌溉效应研究[J]. *水土保持研究*, 2000, 7(1): 69-80.
- [20] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. *地理学报*, 2000, 55(1): 84-91.
- [21] Ridolfi Iturbe I. Eco hydrology: A hydrologic perspective of climate soil vegetation dynamics[J]. *Water Resource Research*, 2000, 36(1): 1-9.
- [22] 陈曦, 任树梅, 杨培岭, 等. 京郊地区苜蓿草地土壤水分状况与产草量的研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(增1): 218-220.
- [23] 刘国利, 何树斌, 杨惠敏. 紫花苜蓿水分利用效率对水分胁迫的响应及其机理[J]. *草业学报*, 2009, 18(3): 207-213.
- [24] 朱显谟. 抢救“土壤水库”实为黄土高原生态环境综合治理与可持续发展的关键[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(1): 1-6.
- [25] 胡实, 谢小立, 王凯荣. 覆被对桔园旱季土壤水分变化和利用的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 976-983.
- [26] 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.
- [27] 郝明德. 黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究[A]. 见: 郝明德, 梁银丽. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术[C]. 北京: 气象出版社, 1998: 3-14.
- [28] 魏钦平, 程述汉, 唐芳, 等. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(3): 289-292.
- [29] 张义, 谢永生, 郝明德, 等. 果园生态系统生产力调控[J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6811-6817.

Effects of different patterns of surface mulching on soil hydrology in an apple orchard

ZHANG Yi^{1,2}, XIE Yong-sheng¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

Abstract: Apples are one of the main agricultural crops on China's Loess Plateau. This study took a Fuji apple orchard in this region as a test object to study the effects of different patterns of surface mulching (clean tillage, grass cover, film mulching, straw mulching, and gravel mulching) on the soil hydrology and apple yield. Based on soil water storage, three seasonal periods can be recognised annually; Water decreases in spring & summer, increases in summer & autumn, and stabilizes in winter & spring. Within the 0–600 cm soil profile, the highest average soil water content was in the film mulching treatment and the lowest was in the gravel mulching in all three periods. After rainfall, there was significant soil water recovery in the gravel mulching treatment (10.52%), with straw mulching second (9.47%), and least soil water recovery with clean tillage (6.53%). The depth of the water infiltration reached 260 cm. Based on apple yield, the water use efficiency in each treatment was: Clean tillage: 35.75 kg/(mm·ha), grass cover: 0.31 kg/(mm·ha), film mulching: 47.81 kg/(mm·ha), straw mulching: 58.99 kg/(mm·ha), and gravel mulching: 80.25 kg/(mm·ha). In conclusion, of the mulching patterns tested, gravel mulching was the most suitable for apple orchards in the gully region of the Loess Plateau, China.

Key words: apple orchard; soil water content; surface mulching; yield; water use efficiency