

# 灌水后覆膜对旱作苹果园土壤水分和树体生长及产量的影响

张永旺<sup>1</sup>, 张林森<sup>1</sup>, 胥生荣<sup>1</sup>, 刘富庭<sup>1</sup>, 李雪薇<sup>1</sup>, 王延平<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资环学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**以 6 a 生“富士”苹果园为研究对象, 采用灌溉的方式, 将苹果树树冠下土壤的表层(0~20 cm)、根系集中层(0~50 cm)和深层(0~80 cm)土壤达到田间持水量后覆盖黑色地膜, 研究了不同土壤层次灌水后覆黑膜对黄土高原旱作苹果园的蓄水保墒效果、树体生长和产量的影响。结果表明:在苹果树生育期内, 灌水使根系集中层达到田间持水量后, 覆膜处理的水分利用率和产量最高, 平均产量较对照提高 58.0%, 水分利用效率提高 44.7%, 比对照节水 61.9 mm, 该处理的光合特性最佳。综合考虑, 灌水使根系集中层达到田间持水量后覆膜是黄土高原区苹果园旱作中节水灌溉的高效栽培模式, 适合当地生产需要。

**关键词:**黄土高原区; 苹果园; 水分利用效率; 产量; 灌水; 覆盖

**中图分类号:**S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)18-0016-04

黄土高原地区是我国乃至世界上面积最大的优质苹果产区之一。干旱缺水是影响苹果高产优质的主要因素之一。目前黄土高原气候干暖化趋势加剧<sup>[1]</sup>, 旱作农田改种苹果后加剧了土壤供需水矛盾, 苹果园地土壤干燥化现象普遍发生, 有的已形成干层, 苹果树生长逐渐衰败, 产量逐渐降低, 严重威胁到旱作苹果生产的可持续发展。关于覆盖栽培技术的研究已有不少报道<sup>[2-6]</sup>, 地膜覆盖是雨养农业区有效增加土壤储水量和提高苹果产量的重要技术措施<sup>[7]</sup>。但尚鲜见灌水后覆盖黑地膜技术在苹果上的应用, 该试验以苹果树为试材, 设计了 3 种不同土壤层次灌水的覆盖处理, 使灌水与覆盖技术相结合, 研究其节水效应及对苹果树生理特性和产量的影响, 以及苹果生产上与覆盖结合的最佳灌水量, 以期实现节水理论与技术的突破, 对提高果园灌溉水的利用率和果树水分利用效率具有重要的理论与现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省泾川县飞云乡的甘肃省农业科学院泾川苹果综合试验站, 东经 107°36', 北纬 35°17', 海

拔 1 283 m, 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均气温 10℃, 年平均降水量 555 mm, 年平均日照 2 274 h, 无霜期 174 d。相对湿度 69%, 年蒸发量 1 339.6 mm。试验前 0~40 cm 土层基础养分为:有机质 16.94 g/kg, 碱解氮(N)88.83 mg/kg, 速效磷(P)24.37 mg/kg, 速效钾(K)252.1 mg/kg, 土壤类型为黄土母质发育的黄绵土。试验园每年施肥:尿素 650 kg/hm<sup>2</sup>、过磷酸钙 600 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾 310 kg/hm<sup>2</sup>, 不施有机肥, 清耕、旱作, 试验前地表无覆盖。

### 1.2 试验材料

供试苹果园为 6 a 生“富士”(Malus pumila Mill), 砧木为楸子, 栽植密度为 3.5 m×3.0 m。

### 1.3 试验方法

试验共设置 6 个处理:采用裂区设计, 灌水量为主处理, W1、W2、W3 分别在 0~20、0~50 和 0~80 cm 土层灌水达到田间持水量, 灌水后设覆盖(F)和不覆盖(N)为副处理, 即 W1F、W1N(CK)、W2F、W2N、W3F、W3N。每个裂区 6 行, 3 行覆盖, 3 行不覆盖, 小区面积 180 m<sup>2</sup>, 采用完全随机区组排列, 3 次重复。为防止水分侧渗, 不同裂区之间用垂直埋深 80 cm 的薄膜隔开。灌水范围是以苹果树主干为中心的 4 m<sup>2</sup>(2 m×2 m 的正方形, 冠径为 2 m)方形区域, 3 种灌水量处理同时进行, 采用人工洒水的方式, 保证均匀(每株灌水量:0~20 cm:0.26 m<sup>3</sup>; 0~50 cm:0.32 m<sup>3</sup>; 0~80 cm:0.34 m<sup>3</sup>), 不同处理同时收获。

### 1.4 项目测定

1.4.1 土壤体积含水量测定 灌水后采用 CPN(美国)503DR Hydroprobe 中子仪, 在试验期间(2012 年 5~10

**第一作者简介:**张永旺(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为园艺植物生理生态。E-mail:yongwang19880405@163.com。

**责任作者:**张林森(1964-), 男, 江苏镇江人, 博士, 副教授, 现主要从事果树水分与营养等研究工作。E-mail:linsenzhang@163.com。

**基金项目:**国家苹果产业技术体系资助项目(CARS-28);陕西省科技厅重大攻关资助项目(2011KTZB02-02-05);农业部公益性行业科研专项资助项目(Nyhyzx07-024)。

**收稿日期:**2013-04-08

月)连续测定土壤体积含水量。2012年2月安装中子管,每个处理行的两侧分别安装2根中子管,位于树冠外围,距离主干80 cm。观测深度为0~180 cm,0~100 cm内步长为10 cm,分10个层次测定,100~180 cm内步长为20 cm,分4个层次测定,共分为14个层次。

1.4.2 耗水量及水分利用效率计算 耗水量计算采用田间农田水平衡方程: $\Delta W = P - R - F - ET + I$ 。式中, $\Delta W$ 为作物生育期内土壤贮水量变化量,即土壤贮水消耗量; $P$ 为该时段降水量(mm); $R$ 为地表径流量(mm); $F$ 为补给地下水量(mm); $ET$ 为作物生育期耗水量(mm),包括植株蒸腾量和植株间地表蒸发量; $I$ 为灌溉用水量(mm)。由于试验地为典型的雨养地区,因而可视地表径流为零;地下水位深达60 m,可视地下水补给量为零;整个试验期间没有进行过任何浇灌,故灌溉用水量为零。公式可改写为: $ET = P - \Delta W$ ,因而可得水分利用效率公式为: $WUE_y = Y/ET$ 。式中, $WUE_y$ 为产量水平的平均水分利用效率, $Y$ 为经济产量, $ET$ 为苹果树生育期内耗水量。

1.4.3 光合气体交换参数 用英国 ppSystems 公司产 CIRAS-2 型便携式光合作用系统测定。

1.4.4 产量 记录小区产量并折合成 667 m<sup>2</sup> 产量。

## 1.5 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 和 Origin 8 软件处理并制图,用 SPSS v 17.0 统计软件进行相关的统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果园不同处理土壤水分(0~180 cm)的阶段变化特征

2.1.1 土壤体积含水量的时间及空间变化特征 由图1可知,土壤体积含水量整体呈先降低后升高再降低的趋势。W3F处理灌水量最多,且覆盖黑地膜能有效地降低土壤水分的蒸发损失,因而其土壤体积含水量一直处于最高值(29.0%~38.5%),均值达33.4%。相反,W1N(CK)由于灌水最少,并且没有覆盖地膜,其土壤体积含水量在苹果树整个生育期内一直处于最低值(22.6%~31.4%),均值为26.0%。处理W3F和W3N的土壤体积含水量差异不明显,但都明显高于其它4个处理,均值分别比对照高28.4%和26.3%。其中,处理W1F、W2N和W2F的土壤体积含水量差异不显著,均值分别为30.5%、30.3%和31.6%。从图2可以看出,土壤体积含水量在5月的表层0~20 cm范围内较低,各处理20 cm以下各层都高于对照(W1N),0~180 cm平均值在27.3%~34.7%波动;6月各处理有所降低,W3F处理0~180 cm最高,较CK增加28.3%,W3N和W2F较CK增加了27.0%和22.1%,果树生长旺盛,需水量持续增加,但大气降水较少,各处理各土层降到全年中最低值。7月各处理又有所升高,W3F处理0~180 cm在各

处理中处于最高,比CK增加了32.1%。8月随着降水的增多,各处理不同层次也有所增加。9月降水最多,各处理都达到最高,W3F处理仍最高,比CK增加22.6%,W3N处理次之,比CK增加18.7%,W2N、W2F和W2F处理间差异不明显。10月降水减少,树体消耗也减少,各处理土壤各层土壤水分低于9月份。

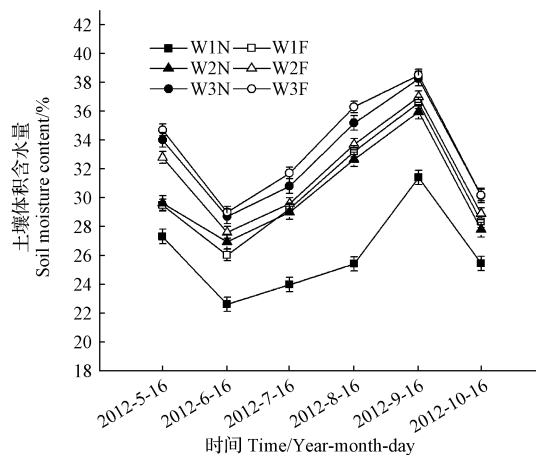


图1 不同处理对土壤体积含水量的影响

Fig. 1 The effect of different treatments on soil moisture content

2.1.2 土壤贮水量的时间变化特征 由图3可知,0~180 cm土层的土壤储水量呈现先下降再升高而后下降的趋势。各处理土壤储水量  $W3F > W3N > W2F > W1F > W2N > W1N(CK)$ , W3N和W3F分别比对照提高26.2%和28.3%。从试验结果来看,在整个生育期内,灌水后覆盖黑地膜的处理W1F、W2F和W3F分别高于与其灌水量一致而没有覆盖黑地膜的处理W1N、W2N和W3N,其中,W1F、W2N、W2F分别比对照提高17.1%、16.5%和21.4%,W2F生育期内比对照节水61.9 mm。

### 2.2 不同处理对苹果光合气体交换参数的影响

由表1可知,随着灌水量的增加,各处理苹果光合气体交换参数(净光合速率、气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度)均呈现先增加后降低的趋势,各处理的光合速率值较对照均增加,W2F增幅最大,达到了31.7%,其次是W3N,提高了29.6%。处理W3N、W3F的苹果净光合速率都比W2F的低,即灌水量过大同样影响苹果的光合速率。表层灌溉覆盖与不覆盖处理的气孔导度(136.0、124.5 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)显著低于中层灌溉和深层灌溉的覆盖与不覆盖处理(179.5和141.0 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)。中层灌溉量的覆盖处理对增加气孔导度的作用很明显。与对照相比,各处理胞间CO<sub>2</sub>浓度值较对照增加,W2F增幅最大,达到了52.8%;其次是W2N,达到了22.8%。

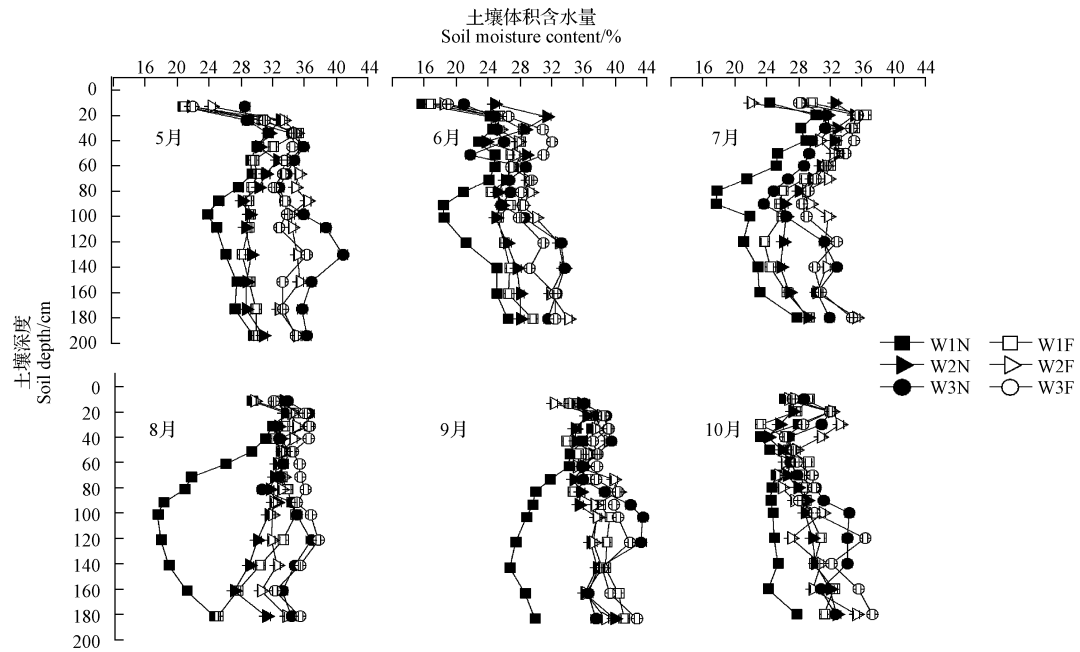


图 2 2012 年不同处理不同时期 0~180 cm 土壤含水量的垂直变化

Fig. 2 Vertical variation of soil moisture content at 0~180 cm depth in orchard under different treatments in 2012

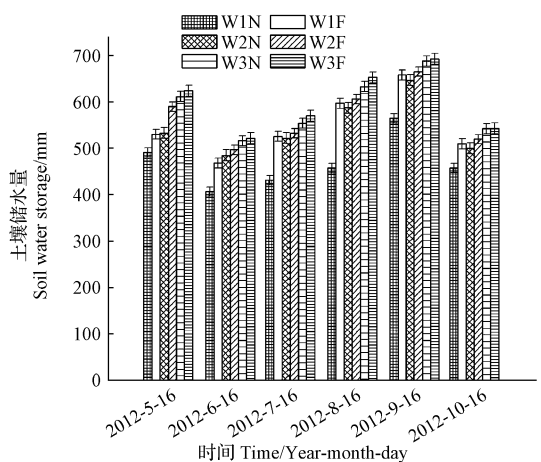


图 3 不同处理对土壤储水量的影响

Fig. 3 The effect of different treatments on soil water storage

表 1 不同处理对苹果树光合特性的影响

Table 1 The effect of different treatments on photosynthetic characteristic of apple tree

处理 Treatments	净光合速率 Pn / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 Gs / $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 Ci / $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$
W1N(CK)	14.2 c	124.5 d	145.0 c
W1F	16.4 b	136.0 cd	149.0 c
W2N	16.8 b	141.0 c	178.0 b
W2F	18.7 a	179.5 a	221.5 a
W3N	18.4 a	171.0 ab	171.0 b
W3F	17.5 ab	162.0 b	160.5 bc

注:数据采用 LSD 方差分析方法,同一行不含相同字母表示差异显著,不同小写字母表示不同处理间的差异显著性( $P<0.05$ )。下同。

Note: Data was analyzed with LSD test, different lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

2.3 不同处理下苹果树产量和水分利用状况

由表 2 可知,与对照相比, W1F、W2N、W2F、W3N 和 W3F 处理分别增产 13.7%、14.7%、58.0%、55.0% 和 31.0%。可见 W2F 处理增产最为明显,其次就是 W3N 处理,各处理与 CK 差异显著。不同处理在 0~180 cm 土层耗水量的差异较大,其中 CK 处理下 2012 年苹果树生育期内耗水量中等,而产量最低。W2F 处理 2012 年生育期内耗水量较 CK 较多,而产量最高。W3F 处理耗水量最高,比 W3N 多 12.1 mm,而前者产量却低于后者产量,说明一定灌溉量条件下的覆盖则会促进作物对土壤水分的有效利用,若超过该灌溉量后覆盖会阻碍作物对水分的有效利用。

作物水分利用效率越高,说明其土壤水分的有效利用程度就越高。W1F、W2N、W2F、W3N 和 W3F 处理分别较 CK 提高了 17.6%、14.8%、44.7%、42.3% 和 17.0% 的水分利用效率, W2F 处理水分利用效率最高。

表 2 不同处理对苹果树产量、耗水量(ET)和水分利用效率(WUE)的影响

Table 2 Effects of different treatments on yield and evapotranspiration (ET) and water use efficiency (WUE) of apple trees

处理 Treatments	产量 Yield/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	较 CK 增产 /%	耗水量 ET/mm	水分利用效率 WUE/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$
W1N(CK)	36 763.8d	0.0	397.7	92.4
W1F	41 801.2c	13.7	384.8	108.6
W2N	42 153.8c	14.7	397.4	106.1
W2F	58 077.8a	58.0	434.4	133.7
W3N	56 991.7a	55.0	433.4	131.5
W3F	48 153.8b	31.0	445.5	108.1



从表2可以看出,W1F、W2N、W2F、W3N和W3F处理水分利用效率均要显著高于CK处理,说明W1F、W2N、W2F、W3N和W3F处理较CK更能有效的利用试验区有限的土壤水分资源。

### 3 讨论与结论

该试验中,灌溉使根系集中层达到田间持水量的处理光合性能最佳,能够提高苹果叶片的净光合速率31.7%,气孔导度44.2%,胞间CO<sub>2</sub>浓度52.8%,从而有利于光合作用的进行。对于未覆盖地膜的处理,3种灌溉水平中,若减少灌水量,苹果的产量会呈下降的趋势,果树的长势减弱,这主要是因为充足的土壤水分有助于矿物质的吸收和植株的新陈代谢,可促进光合作用和其它生理过程,从而使营养生长加快,使营养物质很好地转运到产品器官;对于地膜覆盖的处理,减少灌水量有助于植株的生长,同时可以提高产量以及水分利用效率。这可能是由于覆盖地膜之后,可以减少土面的蒸发,利于保水保墒,提高地温;另外可改善土壤结构,改善植株的根际环境,增强根系活力,这与在黄瓜上已有的研究结果相似<sup>[8]</sup>,而地面覆膜以后由于土面蒸发量下降,大水灌溉后土壤中含水过多,影响根系呼吸,因此植株长势弱,产量低,并且浪费水资源<sup>[9]</sup>。

生育期内因为降水条件不同,各处理在不同时期0~180 cm土壤水分含量的垂直分布情况不同,但在同一时期各覆盖处理间的变化趋势相似,不覆盖处理间的变化趋势也相似,但各覆盖处理灌溉后各土层的土壤含水量波动较小,有利于果树的生长发育,而不覆盖处理则相反,会影响果树的正常生长发育。因为覆盖的保墒效果,使得各覆盖处理的灌溉层土壤能够更长时间保持湿润状态,延长树体利用时间,利于树体生长。

陈秀香等<sup>[10]</sup>认为,过量灌溉和亏缺灌溉都能造成一定程度的减产,该试验也得出同样的结论。对于未覆膜

处理,W1N的灌溉量最少,但水分利用效率最低,且产量最低;而覆膜处理中,W3F的灌溉量高,但产量低,水分利用效率也低,表明过量的灌溉不利于产量的形成和水分利用效率的提高,浪费水资源。相比之下,W2F产量最高58 077.8 kg/hm<sup>2</sup>,水分利用效率也最高133.7 kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>,比对照节水61.9 mm,是该试验条件下获得的适宜灌水指标。即覆膜栽培条件下,根系集中层灌溉20.5 m<sup>3</sup>/667m<sup>2</sup>,可在不降低产量的前提下一定程度上提高苹果园的水分利用效率。

(该文作者还有李丙智、韩明玉,单位同第一作者。)

### 参考文献

- [1] 殷淑燕,黄春长,延军平. 陕西渭北旱塬近43年气候暖干化研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2000,28(1):119-122.
- [2] 张树兰,Lovdahl L,同延安. 渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦产量及水分利用效率[J]. 农业工程学报,2005,21(4):20-24.
- [3] Sharma P K, Parmar D K. The effect of phosphorus and mulching on the efficiency of phosphorus use and productivity of wheat growth on a mountain Alfisol in the Western Himalayas[J]. Soil Use Manages,1998,14(1):25-29.
- [4] 王彩绒,田霄鸿,李生秀. 沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用率及产量的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(2):208-214.
- [5] 王小彬,蔡典雄. 旱作农田保护性耕作-液膜-施肥综合技术研究[J]. 农业工程学报,2005,21(6):22-25.
- [6] 许翠平,刘洪禄,车建明,等. 秸秆覆盖对冬小麦耗水特征及水分生产率的影响[J]. 灌溉排水,2002,21(3):24-27.
- [7] Zhang Z M, Wang H Q. Optimal planting pattern of film mulching wheat and its micro-environmental effects on Weibei dry-land[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2003,21(3):55-60.
- [8] 翟胜,梁银丽,王巨媛. 日光温室地面覆盖对嫁接与未嫁接黄瓜生长发育、产量及土壤环境的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2344-2348.
- [9] 黄伟,张俊花,王伟玲,等. 不同灌溉条件对甘蓝生长、水分利用效率和产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2008,28(1):131-134.
- [10] 陈秀香,马富裕,方志刚,等. 土壤水分含量对加工番茄产量和品质影响的研究[J]. 节水灌溉,2006(4):1-4.

## Effects of Plastic Film Mulching After Irrigation on Soil Moisture, Growth and Yield of Apple Trees in Orchard

ZHANG Yong-wang<sup>1</sup>, ZHANG Lin-sen<sup>1</sup>, XU Sheng-rong<sup>1</sup>, LIU Fu-ting<sup>1</sup>, LI Xue-wei<sup>1</sup>, WANG Yan-ping<sup>2</sup>, LI Bing-zhi<sup>1</sup>, HAN Ming-yu<sup>1</sup>  
(1. College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Resources and Environment, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Taking 6-year-old 'Fuji' apple tree orchard as experiment object, the effects of plastic film mulching by irrigating the surface layer (0~20 cm), root concentration layer (0~50 cm) and deep layer (0~80 cm) on soil water conservation, growth and yield of apple trees were studied. The results showed that during the growing period of the apple tree, making the 0~50 cm soil layer reached the field capacity and covered (W2F) processed the highest water use efficiency, W2F treatment had the highest yield, average yield was increased by 58.0% than that of CK, WUE was 44.7% higher than that of CK, the water-saving amount was 61.9 mm higher than that of CK, W2F treatment had the best photosynthetic characteristics. Comprehensive consideration, making the 0~50 cm soil layer reached the field capacity and covered was an effective measure in the apple orchard in Loess Plateau.

**Key words:** the loess plateau; apple orchard; water use efficiency; yield; irrigation; coverings