

黄土丘陵区雨养梨枣树生长对初始土壤含水率的响应

惠 倩¹, 董建国², 汪有科^{1,2}, 陈滇豫¹, 余 檀¹, 王晓利³

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 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. 榆林市榆阳区林木种子站, 陕西 榆林 719000)

摘 要: 以 6 年生矮化密植梨枣树 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 为试材, 在雨养条件下, 设置 4 种不同初始土壤体积含水率水平 (1 区, 15.17%; 2 区, 14.33%; 3 区, 11.34%; 4 区, 8.61%), 测定并分析土壤水分变化、枣树生长、枣树耗水及其产量。结果表明: 在雨养条件下, 随着时间的推进, 4 个小区的土壤体积含水率不断接近, 由最初的有显著差异变为没有显著差异; 梨枣林地在低土壤水分情况下, 可以通过自然降雨修复干层; 4 个小区的生物量和产量都是随着初始土壤含水率的减小在减小, 且小区之间产量差异显著; 4 种初始土壤水分条件下, 4 个小区获得的产量分别为 21 744.9、18 648.0、12 354.3 kg·hm⁻² 和 6 660.0 kg·hm⁻², 说明即使在初始土壤水分亏缺情况下, 在平水年也可以得到一定的产量; 高度为 0.9~1.2 m, 冠幅为 0.5~0.9 m 的梨枣树, 产量却达到最高 21 744.9 kg·hm⁻², 说明梨枣获得高产不需要高大的树体, 所以矮化密植具有很大潜力。

关键词: 梨枣树; 黄土丘陵区; 初始土壤含水率; 土壤水分; 产量

中图分类号: S152.7+1 **文献标志码:** A

Response of jujube growth to initial soil water content in rainfed regions in Loess Plateau

HUI Qian¹, DONG Jian-guo², WANG You-ke^{1,2}, CHEN Dian-yu¹, SHE Tan¹, WANG Xiao-li³

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxin 712100, China; 3. Forest Tree Seed Station of Yuyang District, Yulin City, Yulin, Shaanxin 719000, China)

Abstract: With 6-year-old dwarfed densely *Ziziphus jujuba* Mill. as experimental materials, four different initial soil volumetric water content levels (plot 1, 15.17%; plot 2, 14.33%; plot 3, 11.34%; plot 4, 8.61%) were performed under rainfed conditions, and soil water variation, jujube growth, jujube water consumption and yield were determined. The results showed that under rainfed conditions, with the passage of time, soil volumetric water content of the four plots were nearly the same. There were significant differences among four plots. At low water conditions, dry layer of jujube plantation can be repaired through natural rainfall. Biomass and yield decreased as the initial soil water content decreased, and yield among plots were significantly different. The yield of four plots were 21 744.9, 18 648.0, 12 354.3, and 6 660.0 kg·hm⁻², respectively, suggesting that considerable yield can also be obtained in normal precipitation year even if the initial soil water content under deficit conditions. Jujube with height of 0.9~1.2 m and crown of 0.5~0.9 m, had the high level of yield, as high as 21 744.9 kg·hm⁻², indicating large potential of dwarfed densely jujubes. The results can be applied for local rainfed jujube production and management.

Keywords: *Ziziphus jujuba* Mill.; Loess Plateau; initial soil water content; soil moisture; yield

收稿日期: 2015-06-20
基金项目: 林业公益性行业科研专项: 山地红枣生态经济林增效关键技术与示范 (201404709)
作者简介: 惠 倩 (1991—), 女, 陕西榆林人, 硕士研究生, 主要从事山地节水理论与技术研究。E-mail: HuiQian077@126.com。
通信作者: 汪有科 (1956—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持、节水灌溉、山地经济生态林建设等研究。E-mail: gjzywk@vip.sina.com。

黄土丘陵区由于干旱少雨、蒸发强度大、地下水埋深较深且难以补给,致使土壤水分一直处于亏缺状态^[1-3]。长期的亏缺状态导致土壤干燥化,而土壤干层则为土壤干燥化的最终表现形式^[4]。土壤干层的形成,使生态环境不断恶化,不仅对现有植被不利^[5-6],还对后续植被有深远的影响^[7]。枣树由于耐旱、耐瘠薄、营养价值高等优点,在黄土丘陵区的种植规模不断扩大,已经成为该区的支柱产业之一。那么种植枣树是否会在黄土丘陵区形成土壤干层,形成干层的特点和如何恢复成为人们关注的另一个重点^[8]。

在黄土丘陵区,没有补充灌水的树木基本是成林不成材,经济林的结果率也很低^[9]。针对这一问题,已有很多人对枣树生长的影响条件进行了研究。其中杨直毅^[10]、牛涛^[11]、南娟^[12]研究了不同保墒措施下枣树的生长情况,胡永翔^[13]、任玉忠等^[14]、马福生等^[15]研究了灌溉制度和不同灌水方式对枣树产量和果实品质等的影响,徐福利等^[16]、刘洁^[17]、杨阳^[18]等研究了水肥处理下枣树的生长和产量情况,为黄土丘陵区红枣高产优质栽培提供了技术参考。关于黄土丘陵沟壑区山地枣林耗水量,吴普特等^[9]利用 Penman - Monteith 公式确定了红枣生育期理论耗水量为 438.8 mm,但是树体大小不一,枣树的水分利用效率、产量也不一样。马福生等^[15]通过对树体高度为 1.5 m 的枣树进行研究,发现在果实成熟期重度调亏处理,可以明显提高水分利用效率。汪星等^[8]得出树高为 2.11 m 的样地林产量为 6 150 kg·hm⁻²,树高为 2.23 m 的样地林产量为 14 550 kg·hm⁻²,树高为 2.27 m 的样地林产量为 16 500 kg·hm⁻²。这些研究的树体都较大,那么小树体的水分变化、生长情况、产量情况到底如何,还需要深入研究。

为此,本文以树高在 1.2 m 内的矮化密植枣树为研究对象,在雨养条件下设置 4 种不同的初始土壤含水率,通过系统比较和分析在该情况下枣树的土壤水分、生长、产量情况,以期为黄土丘陵区旱作枣林生产经营提供较好的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在米脂县银州镇孟岔村山地微灌梨枣树示范基地进行,该地区属于典型的黄土高原丘陵沟壑区(109°28'E, 37°12'N),中温带半干旱性气候,年平均气温 8.5℃,年总辐射量 580.5 kJ·cm⁻²,年均日照时数 2 761 h,无霜期约为 162 d,降雨频率为

20%、50%、75%、95%降雨量分别为 480.6、413.3、350.7、276.4 mm,降雨的 80%集中在 7—9 月^[19]。昼夜温差大,四季分明,适宜农作物和果树生长。试验地土质为黄绵土,土壤容重为 1.21 g·cm⁻³,0~60 cm 计划湿润层的田间持水量为 22%(质量含水率)。

1.2 试验设计

试验于 2014 年 05 月 01 日开始,2014 年 10 月 31 日结束。监测对象为 6 年生矮化密植梨枣树,为了消除树体差异对试验结果造成的影响,选取树体长势和冠层大体一致的枣树 12 棵。采用小区试验,小区规格为长 6 m、宽 1 m、深 1 m。小区采用水泥砌墙与周围土壤隔离,底部采用塑料防渗,使小区土壤环境为封闭系统,可视为每个小区没有地下水的补给,且土壤水分没有水平方向的移动。试验共 4 个小区,单株小区,重复 3 次,完全随机排列。在枣树开花初期对枣树施肥,每个小区的施肥量相同,分别为:尿素 0.4 kg·棵⁻¹,过磷酸钙 0.8 kg·棵⁻¹,硫酸钾 0.4 kg·棵⁻¹。

2014 年 05 月 01 日之前在控水条件下形成了不同的土壤含水率,4 个小区的初始土壤含水率分别为:1 区,15.17%;2 区,14.33%;3 区,11.34%;4 区,8.61%。2014 年 05 月 01 日开始正式监测,测其在雨养条件下,土壤的水分变化,梨枣树的生长情况、耗水特征及其产量对初始土壤含水率的响应。所有试验小区除草、病虫害防治等处理均相同。4 个小区实行矮化密植,修剪高度为 0.9~1.2 m,冠幅为 0.5~0.9 m。

1.3 观测项目及方法

土壤含水率:采用平衡式土壤水分张力计(EQ15, Equilibrium tensiometer)监测土壤水势,测量范围为 -1 500~0 kPa。每个小区都安了 3 个土壤水势仪探头,埋在树与树的中间,埋设深度均为 30 cm。所有探头与 DL2 型数据采集器(英国剑桥, Delta Device)相连,每 30 min 自动记录一次数据。文中土壤含水率为测得的土壤水势值通过土壤水分特征曲线转换而来,转换公式如下:

$$\theta = \frac{0.058 + (0.402 - 0.058)}{[1 + (-B_1 \times 0.016)^{1.71}]^{1.71}}$$

式中, B_1 为土壤水势值(kPa); θ 为土壤体积含水率(%)^[20]。

叶面积(叶宽、叶长):在梨枣树东西南北 4 个方向随机各取 3 个叶片,用直尺每隔 8 d 定位测量叶片的长和宽,计算每个小区叶面积的平均值,计算公式:叶面积 = 叶宽 × 叶长 × 0.67^[21]。

枣吊长度:在枣树东西南北4个方向随机各取3个枣吊,用直尺每隔8 d定位测量枣吊长度,计算每个小区枣吊长度的平均值。

结果数量、叶片数:在果实成熟期,统计每棵树的全部枣吊数量,并在所选取的枣吊上统计结果数量和叶片数,计算每个小区的结果数量和叶片数的平均值。

气象数据:由室外自动气象站连续采集。
地上生物量:根据余檀等^[22]建立的生物量模型计算得到。

1.4 数据处理

用DPS进行数据统计分析,用SigmaPlot10.0进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理下的土壤水分动态变化

从不同初始含水率条件下,土壤体积含水率及降雨量随着时间的变化(图1)可以看出,土壤含水率受降雨的影响较大。在萌芽开花期(5月1日到6月25日),2、3、4区的土壤水分总体呈现增长趋势,分别比5月1日高2.45、0.99、2.05个百分点,而1区下降了1.35个百分点,这是因为1区的萌芽展叶和开花坐果时间都比其它区提前5 d左右且枝叶量较多,对1区截止到萌芽开花期末的地上生物量生

长量进行测定,发现1区的地上生物量生长量为3.52 kg,是2区的2.03倍,从而1区的土壤体积含水率下降的较快。在果实膨大期(6月26日到8月29日),由于7月7—9日的连续大强度降雨,导致4个小区的土壤含水率都迅速增大,4区的增大幅度尤其明显。之后在这个时期由于降雨和蒸腾等的综合影响,4个小区的土壤含水率都在逐渐下降。在果实成熟期(8月30日到10月1日),9月11日和9月16日分别有20.8 mm和25.4 mm的降雨量,使4个小区的土壤体积含水率都有不同程度提高。

在萌芽开花初期,4个小区中土壤含水率最大的为1区,最小的为4区,最大最小相差6.55个百分点,对4个小区的土壤含水率进行显著性分析,发现4个小区的土壤含水率呈现显著性差异。在萌芽开花末期4个小区土壤含水率值最大为2区,最小为4区,最大最小相差6.05个百分点。在果实膨大末期各小区的土壤水分差距进一步缩小,最大为4区,最小为3区,最大最小相差2.71个百分点。受大自然对4个小区相同作用的影响,各小区的土壤水分在不断趋向于一致。到10月31日(处于休眠期),4个小区的土壤含水率分别为1区,14.36%;2区,13.92%;3区,12.35%;4区,14.57%。最大的为4区,最小的为3区,相差2.22个百分点,此时4个小区的土壤含水率没有显著性差异。

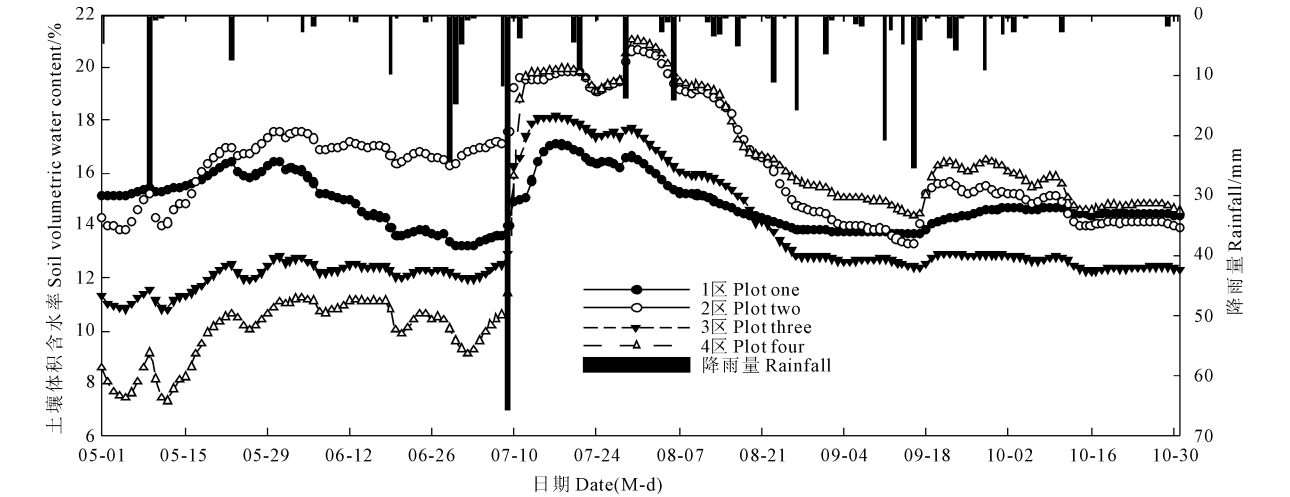


图1 不同初始含水率条件下土壤体积含水率及降雨量的变化
Fig.1 Variation of soil volumetric water content and rainfall under different initial water content conditions

2.2 不同处理对梨枣树生长、产量、叶果比的影响

2.2.1 不同处理对叶面积的影响 4个小区的叶面积随时间变化规律类似,都呈现不断增大趋势(图2)。4个小区的叶面积大小为:3区>2区>4区>1区。1区的初始土壤含水率最大,但是叶面积是最

小的,说明高初始土壤含水率处理反而不利于枣树叶面积的增长。3区的叶面积是最大的,说明比起其它区的处理,3区的初始土壤体积含水率(11.34%)处理最有利于枣树叶面积的增长。

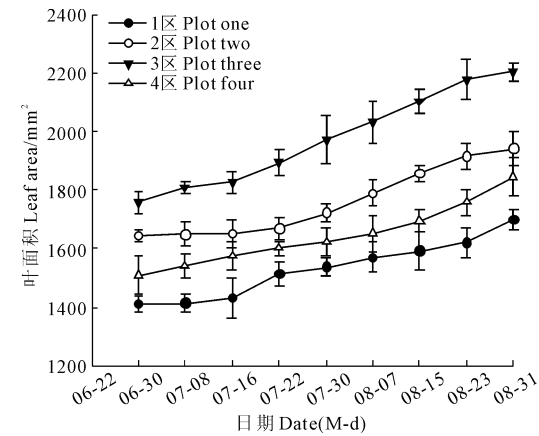


图 2 不同初始土壤含水量条件下叶面积的变化
Fig.2 Variation of leaf area under different initial water content conditions

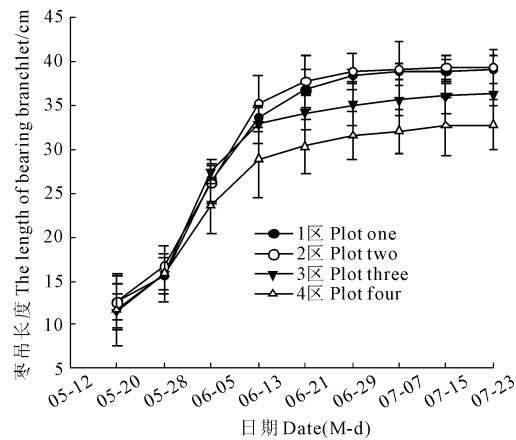


图 3 不同初始土壤含水量条件下枣吊长度的变化
Fig.3 Variation of the length of bearing branchlet under different initial water content conditions

2.2.2 不同处理对枣吊长度的影响 枣吊长度随时间推进在不断增大,但大致以 6 月 22 日为界,左侧为枣吊快速生长期,右侧为缓慢生长期(图 3)。不同初始土壤含水率条件对 4 个小区的枣吊长度影响不同,在枣树生长初期,不同小区枣吊长度差异不大,但随着枣树生长,高初始土壤含水率枣吊的生长长度明显高于低初始含水率处理。

2.2.3 不同处理对梨枣树生物量、产量、叶果比的影响 随着初始土壤含水率的减小,4 个小区的平均单棵生物量也在不断减少(表 1)。其中 1 区和 2 区、2 区和 3 区、3 区和 4 区之间差异不显著,但是 1 区和 3 区、2 区和 4 区、1 区和 4 区之间差异显著。

各小区之间平均结果数量和平均产量差异显著,且随着初始土壤含水率的减小,平均结果数量和平均产量在不断下降。平均单棵产量 1 区、2 区和 3 区、4 区差异显著,1 区、2 区处理间差异不显著,3 区、4 区处理间差异显著。平均单棵产量随着初始土壤含水率的减小在不断下降。

果树的营养生长和生殖生长都主要靠叶片的光合作用所形成的物质。叶片是影响果实增大和植物营养生长的重要器官。叶片数量过多或过少都不利于果实的成长^[23]。4 个小区的叶果比分别为 5:1、6:1、7:1、11:1,即随着初始土壤含水率的减小,叶果比在不断增大。

表 1 不同处理小区梨枣树生物量、产量和叶果比
Table 1 Biomass, yield and leaf/fruit ratio of each plot

区号 Plot	小区平均地上生物量/kg Average shoot biomass	小区平均结果数量 Average number of fruit	小区平均产量/kg The average yield	平均产量 Average yield / (kg·hm ⁻²)	叶果比 Leaf/fruit ratio
1	42.3a	1959a	39.3a	21744.9a	5:1
2	33.6ab	1680b	33.6a	18648.0b	6:1
3	25.5bc	1113c	22.2b	12354.3c	7:1
4	14.1c	600d	12.0c	6660.0d	11:1

注:不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$),下同。
Note: Different letters represent significant difference among treatments ($P < 0.05$), the same as below.

2.3 不同处理对梨枣树耗水量、水分利用效率的影响

2.3.1 不同处理下梨枣树各生育期耗水量、总耗水量、生物产量耗水量、果实产量耗水量比较 研究表明,梨枣树生育期耗水量有明显的变化特征(表 2)。不同初始土壤含水率处理下的生育期耗水量总体变化为先增加后减小,其中果实膨大期的耗水量在整个生育期最大,这是因为枣树此时果实在迅速增长,

需要的水量较大。各小区耗水量在萌芽展叶期和果实成熟期相差较小。

每个小区的耗水量在同一生育期差异明显。由显著性分析计算结果可知,萌芽开花期 1 区的耗水量最多,3 区、4 区没有显著差异,2 区的耗水量最少,为 0.45 t。在果实膨大期,1 区、3 区、4 区没有显著差异,2 区的耗水量较多,为 1.17 t。果实成熟期 4 个小区耗水量没有显著差异。总耗水量的大小

为:1 区>2 区>3 区>4 区,但 4 个小区之间总耗水量没有显著差异。

表 2 不同处理小区梨枣树耗水量
Table 2 Jujube water consumption of each plot

区号 Plot	小区耗水量/t Water consumption			小区总耗水量/t Total water consumption	小区生物产量耗水量/(kg·t ⁻¹) Biomass water consumption	小区果实产量耗水量/(kg·t ⁻¹) Fruit yield water consumption
	萌芽开花期 Bud to flowering	果实膨大期 Fruit enlargement	果实成熟期 Fruit maturity			
1	0.68a	1.00b	0.47a	2.15a	19.68a	18.27a
2	0.45c	1.17a	0.47a	2.09a	16.08b	16.08b
3	0.53b	0.98b	0.51a	2.02a	12.63c	10.98c
4	0.52b	0.97b	0.47a	1.96a	7.20d	6.12d

生物产量耗水量为消耗每吨水所产生的生物量,果实产量耗水量为消耗每吨水所结果实的重量。4 个小区的生物产量耗水量和果实产量耗水量差异显著,1 区的生物产量耗水量和果实产量耗水量最大,分别为 19.68、18.27 kg·t⁻¹。

2.3.2 不同处理对梨枣树水分利用效率的影响 4 个小区的生物产量水分利用效率差异显著(表 3)。1 区和 2 区、2 区和 3 区、3 区和 4 区的果实产量水分利用效率差异不显著,但 1 区和 3 区、1 区和 4 区、2 区和 4 区的果实产量水分利用效率差异显著。相比其它区,1 区的生物产量水分利用效率和果实产量水分利用效率最高,分别为 10 919、10 114 kg·hm⁻²·t⁻¹,4 区的最小,为 3 993、3 398 kg·hm⁻²·t⁻¹,是 1 区的 36.6%、33.6%。

表 3 不同处理小区梨枣树水分利用效率
Table 3 Jujube water use efficiency of each plot

区号 Plot	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·t ⁻¹) Water use efficiency	
	生物产量 Biomass	果实产量 Fruit yield
1	10919a	10114a
2	8922b	8922ab
3	7006c	6116bc
4	3993d	3398c

3 讨 论

本试验是在前期连续控水 5 a 的条件下,2014 年去除遮雨棚后枣林具有不同初期土壤水分情况下进行,试图探索处于不同初始土壤含水率状况下枣树依靠相同的天然降雨其生长与土壤水分变化特征。这种初始土壤水分虽然在现实中稀有,但是能够揭示春季土壤水分对当年枣树生长的作用,以及林地土壤水分依靠降雨的趋向规律。虽然本研究得出结论,但是这个结果和规律仍需以后更长久和丰

富的试验观测来证实。

试验不同初始土壤水分处理下均获得一定的果实产量,其中初始土壤水分含量高的处理产量最高,初始土壤水分含量最低的产量也是最低,这个结果似乎在人们的预料之中,但是这个显著的产量差异所消耗的水分差异不大,4 种处理下每个小区枣树总耗水量分别是 2.15 t(358 mm)、2.09 t(348 mm)、2.02 t(337 mm)和 1.96 t(326 mm)。也就是说,一年中初始土壤水分的微小差异会造成该年最终产量差异很大,说明初始(春季)枣林土壤水分对当年增产的重要程度,这个问题以往还未见报道。从枣树耗水量看,本试验各个处理下的总耗水量都很小,4 个小区的耗水量在不大于平水年降雨量(453 mm)情况下仍然获得较高的产量,说明当地雨养枣林是可行的,而且从试验获得产量来看,达到 15 000 kg·hm⁻²以上完全可以。目前生产中获得相近的产量却导致林地土壤干化^[24-25]可能是营养生长控制不到位的原因,并不是产量过高所致。

试验地多年平均降雨量 453 mm,2014 年的降雨量为 460.4 mm,二者基本接近,所以可以认为 2014 年为平水年。土壤含水率在 2014 年从开始的 1 区,15.17%;2 区,14.33%;3 区,11.34%;4 区,8.61%变为 1 区,14.36%;2 区,13.92%;3 区,12.35%;4 区,14.57%。初始最干旱的 3 区和 4 区土壤含水率分别提高了 1.01%、5.96%,所以可以说在平水年,雨养枣树,可以使该地区的土壤干层得到一定的修复。

叶果比即生长一个果实对应需要的叶片数,是衡量枣树生长的重要指标,在一定程度上也是反映枣树耗水的指标。叶果比越小,则生长一个果实所需要的叶片数就越少,这样可以使果实占叶片和果实总和的比例增大,使枣树生长向更有利人们希望的产量方向进行。在本研究中,初始土壤含水率越

大,叶果比越小,果实占的比例多,产量越大。这与 4 个小区测出的产量情况是一致的。

4 结 论

1) 对 4 个初始土壤含水率有显著性差异的小区进行相同的雨养处理,在外部环境相同的作用下,随着时间的推移,4 个小区的土壤体积分含水率在不断趋向接近,且各小区之间从开始的有显著性差异变为没有显著性差异。

2) 林地初始土壤水分不同可以造成枣树生长及其果实产量的不同,但是林地土壤水分向着相同的水平发展。也就是说高土壤水分会通过枣树的高生物量和产量来降低原有土壤水分,反过来,初期低土壤水分的枣树会降低自身的生长来节约土壤水分,促使土壤水分在降雨后补充。林地在低土壤水分情况下,可以通过自然降雨修复干层。

3) 本试验中高度为 0.9 ~ 1.2 m,冠幅为 0.5 ~ 0.9 m 的梨枣树,产量却达到最高 21 744.9 kg · hm⁻²,说明梨枣树获得高产不需要高大的树体,所以矮化密植具有很大潜力。

参 考 文 献:

[1] 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原地区水资源问题及其对策[M].北京:中国科学技术出版社,1990.

[2] Chen L D, Wei W, Fu B J, et al. Soil and water conservation on the loess plateau in China[J]. Progress in Physical Geography, 2007,31: 389-403.

[3] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J].生态学报,2005,25(10):2491-2498.

[4] 王云强.黄土高原地区土壤干层的空间分布与影响因素[D].杨凌:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2010.

[5] 侯庆春,黄旭,韩仕峰,等.黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究 I 小老树的分布及其生长特点[J].水土保持学报,1991,5(1):64-72.

[6] 王志强,刘宝元,徐春达,等.连续干旱条件下黄土高原几种人工林存活能力分析[J].水土保持学报,2002,16(4):25-29.

[7] 邹厚远,关秀琦,张信,等.黄土高原草地生产持续发展研究——Ⅳ.更新芽保护与草地合理、永续利用的关系[J].水土保持研究,1994,3:69-71,86.

[8] 汪星,周玉红,汪有科,等.黄土高原半干旱区山地密植枣林土壤水分特性研究[J].水利学报,2015,46(3):263-270.

[9] 吴普特,汪有科,辛小桂,等.陕北山地红枣集雨微灌技术集成与示范[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):1-612.

[10] 杨直毅.山地滴灌条件下保墒措施对土壤水分及枣树生长的影响[D].杨凌:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2009.

[11] 牛涛.保墒滴灌措施对山地枣园土壤水热及枣树生长的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.

[12] 南娟.不同保墒措施对山地枣林节水增产效果研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.

[13] 胡永翔.陕北黄土高原区坡地枣树灌溉制度及作物系数研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.

[14] 任玉忠,王水献,谢蕾,等.干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(22):95-102.

[15] 马福生,康绍忠,王密侠,等.调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响[J].农业工程学报,2006,22(1):37-43.

[16] 徐福利,王渭玲,林云.山地矮化密植红枣施肥技术[J].北方园艺,2013,(1):35-36.

[17] 刘洁.不同水肥处理对灵武长枣生长与果实品质的影响[D].银川:宁夏大学,2014.

[18] 杨阳.不同水分管理下施肥对陕北山地枣树生长及产量效应研究[D].杨凌:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2011.

[19] 辛小桂,吴普特,汪有科,等.山地不同树龄枣园土壤水分状况研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):85-89.

[20] 张琳琳,汪有科,韩立新,等.梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析[J].生态学报,2013,33(3):907-915.

[21] 孙波,汪有科.梨枣平茬前后萌芽开花期对土壤水势的响应[J].西北农业学报,2014,7:146-154.

[22] 余檀,有科,高志永,等.陕北黄土丘陵山地枣树生物量模型[J].水土保持通报,2015,206(3):311-316.

[23] 赵霞.黄土丘陵旱地枣林丰产技术的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.

[24] 崔宁博.西北半干旱区梨枣树水分高效利用机制与最优调亏灌溉模式研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.

[25] 王延平.陕北黄土区陡坡地土壤水分植被承载力研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.