

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.033

干化土壤中节水型修剪枣树生长与水分利用效率研究

汪有科^{1,2} 惠倩¹ 汪星² 马建鹏² 张文飞²

(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)

摘要: 在野外山地设置4种不同土壤含水率水平的定位试验小区, 试验枣树采用相同的节水型修剪标准使其保持一致的规格, 在自然降水情况下连续2年观测土壤含水率、枣树生长、产量等。不同初始含水率的土壤在自然降水条件下, 土壤含水率趋向某一个值, 该值受年降水量的影响而异, 2014平水年该值为 $(13.83 \pm 0.22)\%$, 2015偏旱年为 $(9.46 \pm 0.32)\%$ 。初始土壤干化程度不同会显著抑制枣树枣吊生长和果实个数, 在相同干化土壤中枣树的生长取决于当年的降水量, 但节水型修剪下的产量比常规矮化修剪提高36%~41%, 产量水分利用效率提高3.6倍以上。节水型修剪技术有利于提高枣树的产量水分利用效率。

关键词: 枣树; 修剪; 雨养; 土壤含水率; 水分利用效率

中图分类号: S152.7; S665.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)02-0247-08

Growth and Water Use Efficiency of Water-saving Type Pruning Jujube Tree in Dry Soil

WANG Youke^{1,2} HUI Qian¹ WANG Xing² MA Jianpeng² ZHANG Wenfei²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

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

Abstract: For a long time, the soil of artificial forest land in the loess hilly-gully region was continued to be dry, which had serious impact on the subsequent vegetation. Studying on jujube growth in the dry soil had important significance to realize forestry sustainable development in this region. Four different initial soil volumetric water content levels were set for the experiment in the open air, and the same water-saving type pruning was used to keep consistent specifications. Soil moisture, jujube growth and yield for two consecutive years were tested under a completely natural rainfall condition. Results showed that the soil moisture was tended to be a fixed value for different initial soil moisture contents under natural rainfall. And this value was depended on rainfall. Normal precipitation year soil moisture was steady at $(13.83 \pm 0.22)\%$ in 2014, partial drought year soil moisture was steady at $(9.46 \pm 0.32)\%$ in 2015. Different initial soil drying degrees would significantly inhibit the growth of branches and jujube fruit number. Jujube growth under the same dry soil was depended on rainfall. The yield under water-saving type pruning technology was 36%~41% higher than that of conventional dwarf pruning, water use efficiency was increased by more than 3.6 times. Water-saving pruning techniques would improve jujube water use efficiency. This research can solve dry jujube soil water shortage in the loess hilly-gully region and provide new basis for achieving sustainable development. This research had the important theoretical significance and value in practice.

Key words: jujube tree; pruning; rainfed; soil moisture; water use efficiency

引言

陕北黄土丘陵区地处半干旱半湿润气候带^[1], 干旱缺水 and 水土流失是限制该地区林业可持续发展

的两大瓶颈^[2-3]。为了治理水土流失改善当地恶化的生态环境, 国家长期以来大力号召植树种草, 特别是1999年进行的退耕还林工程对黄土高原水土流失治理和改变该区域的生态景观起到显著的作

收稿日期: 2016-07-02 修回日期: 2016-07-29

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAC01B03)和陕西统筹项目(2014KTCG01-03)

作者简介: 汪有科(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持和节水灌溉研究, E-mail: gjzwyk@vip.sina.com

用^[4-8]。黄土高原实施退耕还林以来,由于大面积种植高耗水的林木导致该地区土壤水分消耗增加,土壤水分生态问题——土壤干化普遍出现^[9-11]。土壤干化是指在林木种植地区,由于植被蒸腾耗水较多,天然降雨不能有效补充,致使土壤深层的水分持续严重亏缺,土壤含水率长期处于较低状况^[12]。土壤干化是北方少雨地区人工植被土壤退化的主要表现形式^[13],已经成为黄土高原广泛存在的一种水文现象^[14],关于土壤干化方面的研究已有很多^[15-22]。前期研究证明半干旱区所有无灌溉的人工乔、灌木和紫花苜蓿等多年生豆科牧草都能使土壤干化^[23]。

山地密植枣林是陕北地区自退耕还林形成的大规模特色生态经济林种,虽然枣树具有极强的抗旱能力,但是枣林地仍然普遍存在不同程度的土壤干化状况^[24-26],12龄山地密植枣林土壤干层深度达5.7 m^[27-28],说明枣林地土壤水分生态仍在持续恶化,在缺乏灌溉的丘陵地带研究减轻枣林土壤干化和提高水分利用效率十分重要。

节水型修剪技术是一种枣园管理技术^[29],它是结合当地自然降雨和土壤水分状况来确定枣树目标产量,根据目标产量对枣树进行修剪,使枣树规格控制在合理范围之内。节水型修剪不片面追求枣树产量,可以减少枣树的过量蒸腾,使陕北丘陵地区有效的水资源实现水分利用效率的最大化。魏新光等^[30-31]研究证实枣树节水型修剪可以显著降低枣树的耗水量,并可提高枣树的水分利用效率。

本文以节水型修剪下矮化密植梨枣(*Ziziphus jujube* Mill.)林为研究对象,设置4种不同土壤含水率水平,在完全自然降水情况下测定枣林的土壤水分、枣树产量、生长等指标,分析评价节水型修剪下不同土壤干化水平对枣树生长、水分利用效率的影响,以期为该地区枣树在干化土壤条件下生产管理和研究提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在陕西省米脂县孟岔村山地枣树示范基地(109°28'E,37°12'N,海拔高度870 m)进行,该地区属于典型的黄土丘陵沟壑区,中温带半干旱气候。年均日照时数2761 h,年总辐射量580.5 kJ/cm²,年平均温度8.5℃,无霜期162 d。试验区土壤为黄绵土,有效氮、磷、钾、有机质质量比为13.5、2.79、86、210 mg/kg,pH值为8.6,平均坡度为22°。多年平均降水量为451.6 mm,主要集中于7—9月份。2014年降水量460.4 mm,为平水年,2015年降水量

380.8 mm,为偏早年。表层土壤容重为1.29 g/cm³,0~60 cm 计划湿润层的田间持水量为22%(质量分数)。

1.2 试验设计

2009年设置4种水分梯度的小区试验,各小区采用水泥砌墙与周围土壤隔离,底部用厚塑料膜防渗,使各小区形成封闭土壤环境,每个小区尺寸为2 m×1 m×1 m(长×宽×深),每个小区栽植一棵枣树,重复3次,共计12个小区。试验布设如图1所示。试验区的枣树全部采取节水型修剪保持枣树长势长期一致,小区顶部建防雨棚阻挡降水降入小区。2010—2013年连续实施各小区控水,控水采用EQ15型张力计(德国Ecomatik公司生产)监测土壤含水率,结合GPI灌溉控制器实现小区土壤含水率的差异,控制的4种小区土壤体积含水率分别为:1区(15.17±0.23)%、2区(13.33±0.31)%、3区(11.34±0.19)%、4区(8.61±0.14)%。按照万素梅等^[32]土壤干化划分标准,本试验区土壤分别处于非干化土壤、轻度干化、中度干化和重度干化状态。2014年去除遮雨棚时试验区停止控水,全部试验开始在自然降水下进行观测。试验区每株树能够接收的降水量仅为大田枣树的1/3,依据前期节水型修剪经验,本试验树体控制在高度(110±3.3)cm,冠幅(100±1.8)cm×(100±2.4)cm,该规格约为大田密植枣树修剪规格的1/2。为了保持试验树体规格相对稳定不变,每7 d检查一次树体规格变化并剪除多余长度的枝条。试验观测时间为2014、2015年2个枣树生育期。

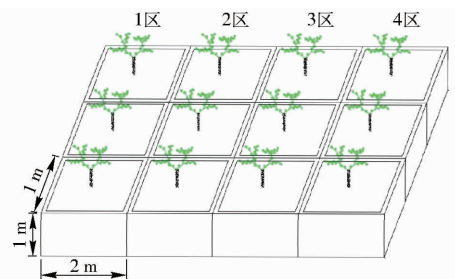


图1 试验布设图

Fig. 1 Sketch of test arrangement

1.3 试验观测项目与方法

土壤含水率测定:由EQ15型平衡式土壤水分张力计(Equilibrium tensiometer)监测土壤水势,测量范围为-1500~0 kPa。每个小区都安装土壤水势仪探头,埋在距树干10 cm处,埋设深度为30 cm。所有探头与DL2型数据采集器(Delta Device,英国)相连,每30 min自动记录一次数据。土壤含水率由测得的土壤水势通过土壤水分特征曲线转换获得,转换公式^[33]为

$$\theta = \left\{ 0.058 + \frac{0.402 - 0.058}{[1 + (-0.016B_1)^{1.71}]^{1.71}} \right\} \times 100\% \quad (1)$$

式中 B_1 ——土壤水势, kPa

θ ——土壤体积含水率, %

气象要素测定:由安装在试验地的自动气象站观测气象参数。包括降水量、风速、太阳辐射、温度、湿度等。

枣吊长度:在枣树的东、西、南、北4个方向各选3个枣吊,用卷尺每隔8d定点测量一次。

单果体积:在枣树的东、西、南、北4个方向各选3个果实,用游标卡尺每隔8d测量果实横径、果实纵径,二者的乘积为果实体积。

单果质量:在枣树果实成熟末期随机选择10个果实进行称量,取平均值。

产量测定:对枣树果实采摘称量得到平均每棵树的产量,然后根据当地枣树矮化密植的种植密度换算为每公顷的产量。

生物量测定:用卷尺、钢尺、游标卡尺等测量仪器,测量包括修剪去除的全部枝条长度、枝条枝径、枣吊长度、枣吊枝径、单棵枣吊数目、叶片纵径、叶片横径、枣吊上叶片数、果实横径、果实纵径、单棵果实数,然后用余檀等^[34]建立的模型计算生物量。

1.4 土壤耗水量与水分利用效率

试验小区的枣树耗水量用农田水量平衡法计算。小区周围有水泥砌墙阻隔,径流量计为零。小区底部用厚塑料防渗,故没有地下水的补给。试验处理为雨养,没有灌溉水量。因此,计算枣树耗水量的公式可以简化为

$$ET_a = 0.001(P - \Delta W)S\rho \quad (2)$$

式中 ET_a ——作物耗水量, m^3/hm^2

P ——降水量, mm

ΔW ——计算时段内的土壤储水量变化量, mm

S ——平均单棵枣树占地面积, $m^2/棵$

ρ ——枣树栽植密度, $棵/hm^2$

土壤储水量公式为

$$W = 0.1rvh \quad (3)$$

式中 W ——土壤储水量, mm

r ——土壤质量含水率, %

v ——土壤容重, g/cm^3

h ——土层深度, cm

枣树的水分利用效率计算公式为

$$WUE = Y/ET_a \quad (4)$$

式中 WUE ——水分利用效率, kg/m^3

Y ——枣树产量, kg/hm^2

1.5 数据处理

用DPS进行数据统计分析,用SigmaPlot 10.0作图。

2 结果与分析

2.1 节水型修剪下枣林不同干化土壤含水率变化

前期经过遮雨和控制灌溉处理形成了4种土壤含水率差异明显的小区,各小区试验枣树采用统一的节水型修剪保持树体之间差异最小化。该情况下相同的自然降水对枣树土壤含水率的影响如图2所示。由图2可以看出,2014年生育期开始,体积含水率由小到大排序为:1区(15.17%)、2区(13.33%)、3区(11.34%)、4区(8.61%),最大值和最小值相差6.56个百分点。对4种小区进行差异显著性分析,含水率有显著性差异($P < 0.05$,下同),2014年生育期结束时4种小区土壤含水率差异不显著,说明几种原来土壤含水率差异的小区经过雨季后土壤含水率在向一个共同含水率靠近。2015年降水量偏少但各处理之间的土壤含水率差异继续缩小,生育初期土壤含水率最大的为3区(10.44%),最小的为1区(9.61%),二者相差0.83个百分点。到2015年生育期结束时,4种小区的土

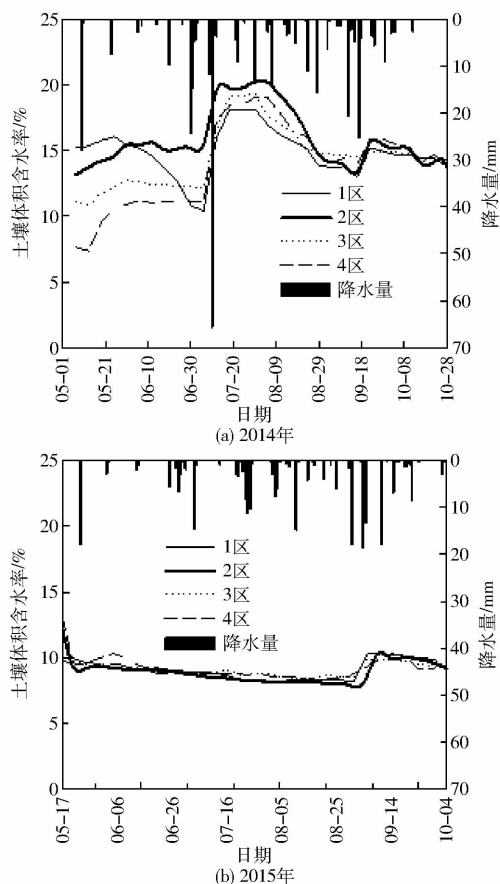


图2 不同干化土壤下枣林土壤水分变化
Fig.2 Changes of soil moisture under different soil desiccation conditions

壤含水率相差 0.62 个百分点。在枣树的生长过程中,4 种小区的土壤含水率一直在不断地接近一个稳定值。该现象说明,同一地区初始土壤含水率不同的土壤在相同的植被、立地和自然降水条件下土壤含水率差异会缩小,之前不同的土壤含水率会向着一个稳定值靠近,该稳定值由于年降水量的不同而不同,本试验期间 2014 年基本稳定在 $(13.83 \pm 0.22)\%$,2015 年稳定在 $(9.46 \pm 0.12)\%$ 。

连续 2 年的小区观测还证明土壤含水率与枣树生长存在互动关系,或双向调节作用,即土壤含水率高会促进枣树生长,枣树生长加快会降低土壤含水率。结合图 3 可知,虽然试验区枣树全部实施统一的规格及时进行修剪,但是前期几年连续的土壤含水率差异处理使得高含水率小区中的枣树整体健壮,后期修剪量会较大。2014 年 5 月 1 日—7 月 9 日之间除 1 区土壤含水率有所下降外,2 区、3 区、4 区的土壤含水率均有所增加。对照各区生物量分析可以看出,生物量(单棵地上生物量,包括修剪去除的枝量,下同)高到一定值土壤含水率即降低(如 1 区),生物量低于一定值土壤含水率会上升或者保持不变(如 2 区、3 区、4 区)。特别是修剪去除的新增量与小区土壤含水率变化关系密切。截至 2014 年 7 月 9 日各个小区剪去的枝条量为:1 区 0.72 kg、2 区 0.43 kg、3 区 0.40 kg、4 区 0.35 kg。1 区剪去的

生物量是 2 区的 1.67 倍,所以土壤水分消耗相对较多,土壤含水率下降较快,1 区土壤含水率在生长 30 d 后下降到低于 2 区土壤含水率,60 d 后下降到 4 种小区的最低值。2 区、3 区、4 区因为树势较弱,新增生物量较小,耗水量也较小,在降水的补给下,2014 年 5 月 30 日之前土壤含水率均在增加,2014 年 5 月 30 日—7 月 10 日之间土壤含水率保持不变,说明枣树耗水与同期降水持平。2014 年 7 月 10 日—8 月 2 日 4 种小区土壤含水率均处于增加阶段,该阶段主要是降水量大于枣树的生长耗水需求,之后枣树果实膨大又进入生长耗水,各小区土壤含水率开始降低,整个生育期生物量与土壤含水率相互作用,相互促进又相互制约。在生育期结束时,1 区的含水率从生育期开始到结束共下降了 0.81 个百分点,2 区下降了 1.41 个百分点,3 区上升了 1.01 个百分点,4 区上升了 5.96 个百分点,生物量总体表现为:1 区 > 2 区 > 3 区 > 4 区,这说明 1 区、2 区由于高生物量降低了土壤含水率,3 区、4 区生物量较小耗水较小从而提高土壤含水率,生物量最小的 4 区中土壤含水率增加最多,说明节水型修剪减小生物量有增加土壤含水率的作用。经过 2014 年枣树生长和土壤含水率的互动调整后,2015 年春季 4 种小区土壤含水率已经差异不大,生物量也没有显著性差异,在该情况下各小区的生物量和土壤

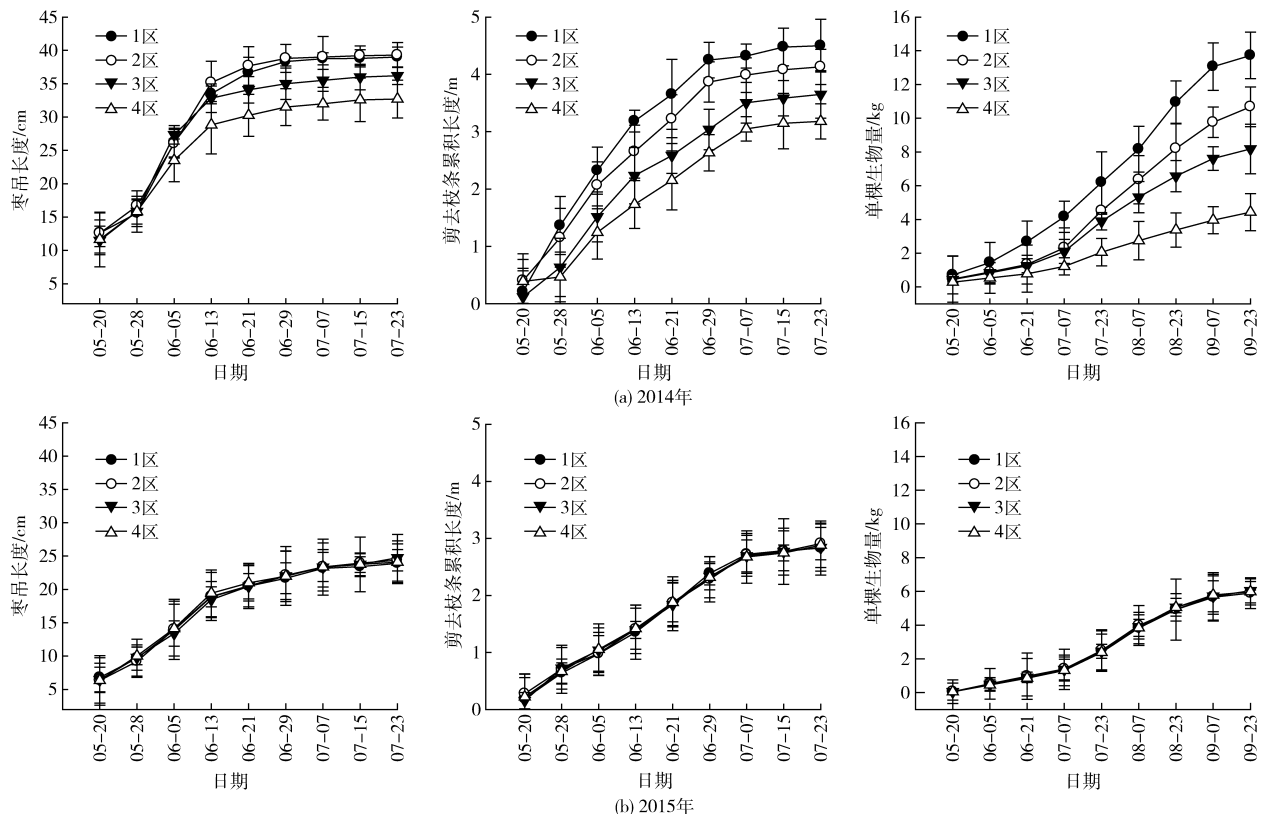


图 3 不同干化土壤对枣吊长度、剪去枝条累积长度和生物量的影响

Fig. 3 Effects of different soil desiccations on length of branches, length of cutting branches and biomass

含水率全部取决于降水量,2015年降水量仅为2014年降水量的82.7%,降水量不足造成4种小区的土壤含水率在整个生育期都处在很低的水平。试验证明,在相同的植物、规格、相同的环境和降水量条件下,初始土壤干化程度不同会产生不同的生物量,植物通过生物量的调节使得土壤含水率接近一个值。

试验观测的2年中正好遇到平水年(2014)和干旱年(2015),平水年各试验小区也只有降水集中的期间(07-10—08-02,09-18—09-30)土壤出现短暂水分较充足的现象,降水量不足时各个小区土壤很快处于干化状态。2015年4种试验小区整个生育期土壤处于中度干化状态,土壤含水率只有 $(9.09 \pm 1.20)\%$ 。所以,土壤干化缺水是该研究区主要特征,不缺水占据的时间很短。

2.2 不同干化土壤中节水型修剪枣树的生长

2.2.1 枣吊长度、剪去枝条累积长度和生物量

干化土壤对于植物生长不利表现在土壤用于植物生长可调控的水分太少,植物只能依靠当年降水和降水入渗层土壤水分来维持生长。黄土丘陵区枣树和其他人工林地一样,0~200 cm深度受降水和根系作用土壤含水率变化明显,0~100 cm土层是枣树根系密集区^[35-36]且降水入渗最多^[37]。当深层土壤严重干化后,0~100 cm土层的土壤水分是植物维持生存的最主要资源。所以本试验小区设计深度为0~100 cm,每个小区土壤体积为 2 m^3 ,土壤储水量很小,用于调控枣树生长的土壤水分十分有限,该试验中的枣树生长能够较好反映严重干化土壤中的节水型修剪枣树生长特点。2年观测中枣树采取高强度的矮化修剪以减轻枣树生长耗水量和对土壤水分的依赖,该情况下枣树生长情况如图3所示。从图3可以看出,枣吊长度、剪除枝条累积长度、生物量均随着时间的推移呈现增长—平缓的趋势。2014年枣吊长度、剪去枝条累积长度和生物量有较大差异,而且因为初始土壤含水率不同导致枣吊、枝条的生长及生物量不同。2014年4种不同干化土壤对枣吊长度、剪除枝条累积长度和生物量影响比较明显,干化程度越重,枣吊长度越短,剪去枝条长度越小,生物量越少。与1区相比,3区、4区的最终枣吊长度减小7.2%、16.2%,1区、2区的最终枣吊长度相当(图3a),说明土壤干化达到一定程度会抑制枣吊的生长。剪去枝条的累积长度1区最多,与1区相比,2区、3区、4区分别减小8.2%、20%、29.3%,说明土壤干化会抑制枝条的生长。2015年初期土壤含水率已经相近,即土壤干化程度相当,此时4种小区的枣吊长度、剪去枝条的累积长度和生

物量均无显著性差异,显示出当土壤含水率无差异时,降水量决定枣树的生长,并且生长量接近。但是2015年降水量比2014年少,导致2015年枣吊长度和剪去枝条累积长度比2014年最小的小区还小。2014年枣树生长差异主要由初始含水率决定。说明春季土壤水分的缺少仍会影响到枣树的生长,并且会造成明显的生长差异。节水型修剪枣树在0~100 cm深度的土壤空间能够生长,说明节水型修剪枣树依靠当地降水量就可以满足对水分的需求,也意味着在当地任何程度的干化土壤中采用节水型修剪枣树都能生长。

2.2.2 不同干化土壤中枣树果实的生长

表1为节水型修剪枣树不同干化土壤对果实的影响。从表1可以看出,2014、2015年4种不同干化土壤的单果体积、单果质量之间没有显著性差异,但是2014年不同干化程度对单棵果实个数影响较大,4种小区之间都有显著性差异,2015年枣树单株果实个数没有显著性差异,说明春季初始土壤含水率对枣树结果数量有较大影响。由于干化程度的不同,重度干化的枣树会利用有限的水量通过减少果实个数来维持自己的生长。干化程度对单果质量和单果体积的影响不显著,对果实个数影响显著。与1区相比,2区、3区、4区的果实个数分别减少30.3%、55.1%、64.3%。2015年初期土壤含水率基本趋于一致,4种小区之间果实个数没有显著性差异。以试验区附近同类型地块的常规矮化密植山地枣树(高度约2 m,冠幅约 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$)为对照,2014年4种小区的单果体积、单果质量、单棵树结果数量与对照均有显著性差异,2015年4种小区土壤含水率基本相同,小区之间的枣树多项生长指标接近,其中果实指标只有果实个数与对照有显著性差异,说明节水型修剪对枣树产量的作用主要是提高单株果实数量,对于枣树单个果实增大作用不明显。

表1 不同干化土壤对果实的影响

Tab.1 Effects of different soil desiccations on jujube

区号	2014年			2015年		
	单果体 积/ mm^3	单果质 量/g	果实个数/ (个·棵 ⁻¹)	单果体 积/ mm^3	单果质 量/g	果实个数/ (个·棵 ⁻¹)
1区	1 108.9 ^a	25.2 ^a	562.9 ^a	972.9 ^a	20.0 ^a	165.4 ^a
2区	1 079.9 ^a	24.5 ^a	392.0 ^b	962.6 ^a	19.1 ^a	178.9 ^a
3区	1 075.9 ^a	24.5 ^a	252.7 ^c	976.4 ^a	20.3 ^a	169.9 ^a
4区	1 081.3 ^a	24.6 ^a	185.5 ^d	982.3 ^a	20.2 ^a	164.6 ^a
对照	985.6 ^b	22.1 ^b	119.5 ^e	978.8 ^a	20.1 ^a	121.5 ^b

注:同列数值后不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。对照为试验地外10 m处常规矮化修剪的枣树,下同。

2.3 不同干化土壤中枣树的水分利用效率

无论偏旱年还是平水年,枣树水分利用效率是

一个很重要指标。节水型修剪能否提高枣树的水分利用效率是关系到该技术能否推广应用的关键。将试验区附近同类型地块的常规矮化密植山地枣树作为对照与2014、2015年试验区枣树各个处理的单株生物量、产量、耗水量以及水分利用效率进行对比分析(表2)。从表2看出,4种小区和对照的生物量水分利用效率都有显著性差异,且对照的生物量水分利用效率都高于4种小区,但4种小区的果实产量水分利用效率高于对照,说明节水型修剪比起常规矮化修剪,主要是将水分利用效率转移到枣树的生殖生长方面。2014年初始土壤含水率不同,故4种处理下的产量水分利用效率和生物量水分利用效率有显著性差异,2015年初始差异小,故没有显著性差异。2014年,无论是产量水分利用效率还是生物量水分利用效率,都是1区处理水分利用效率最高。2014年由于初始干化程度有明显差异,4种小区产量之间都有显著性差异。干化程度低的1区和2区产量分别高达18753.0、

12434.3 kg/hm²,产量水分利用效率高达15.7、10.7 kg/m³。4种小区初始干化程度(即初始土壤含水率)换算为储水量分别为151.7、143.3、113.4、86.1 mm,储水量最大值与最小值只差65.6 mm,由初始干化程度造成的产量相差12003 kg/hm²。由此看出土壤初始干化程度对于当年的枣树产量具有非常重要的作用。

2015年土壤含水率已经不存在显著性差异,这个阶段的产量和水分利用效率主要由降水量决定。2015年生育期降水量为2014年的82.7%,产量为2014年的48.4%,说明降水量对枣树产量起主导作用。

另外,本试验各小区处理下的产量和水分利用效率均较高,即使是最底的土壤含水率条件仍然可以获得6750.0 kg/hm²产量,该产量相当于当地大田枣林产量的1.5倍。说明采用精细化节水型修剪在当地枣树旱作增产技术方面具有重要价值,也说明在半干旱区降水不足时枣树仍有较大生产潜力。

表2 不同干化土壤2014、2015年的单株生物量、产量、水分利用效率比较

Tab.2 Comparisons of output, water consumption and water use efficiency of different soil desiccations in 2014 and 2015

区号	2014年				2015年					
	生物量/ (kg·棵 ⁻¹)	产量/ (kg·hm ⁻²)	耗水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	水分利用效率/(kg·m ⁻³) 产量	生物量/ (kg·棵 ⁻¹)	产量/ (kg·hm ⁻²)	耗水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	水分利用效率/(kg·m ⁻³) 产量	生物量	
1区	13.8 ^b	18753.0 ^a	1192.6 ^b	15.7 ^a	7.7 ^a	5.9 ^b	5517.2 ^a	850.5 ^b	6.5 ^a	4.6 ^b
2区	10.7 ^c	12434.3 ^b	1159.2 ^b	10.7 ^b	6.2 ^b	5.9 ^b	5681.9 ^a	834.8 ^b	6.8 ^a	4.7 ^b
3区	8.2 ^d	8547.8 ^c	1123.2 ^b	7.6 ^c	4.9 ^c	6.0 ^b	5754.5 ^a	844.5 ^b	6.8 ^a	4.8 ^b
4区	4.5 ^e	6750.0 ^d	1087.9 ^b	6.2 ^d	2.7 ^d	6.0 ^b	5536.1 ^a	835.8 ^b	6.6 ^a	4.8 ^b
对照	15.5 ^a	4403.5 ^e	1303.8 ^a	3.4 ^e	7.9 ^a	7.3 ^a	4071.6 ^b	980.5 ^a	4.2 ^b	5.0 ^a

2015年4种小区的耗水量都大于生育期的降水量,说明降水量不能满足枣树的生长需要,且需要从土壤水分补给,所以在生育期内4种小区的土壤含水率都有所降低,枣林地的土壤基本与对照一样。2015年节水型修剪下的4种小区的产量、耗水量、产量和生物量水分利用效率都与对照有显著差异。4种小区产量分别比对照提高36%、40%、41%、36%,产量水分利用效率提高3.6、3.9、3.9、3.7倍,生物量水分利用效率减小2.5%、21.6%、38.0%、65.8%。2014年产量水分利用效率提高14.3、9.7、6.9、5.6倍,生物量水分利用效率降低8%、6%、4%、4%。

3 结论

(1)初始土壤含水率不同的土壤在自然降水环境下土壤含水率会趋向某一个值发展,即土壤含水

率存在一个稳定年值,该相对稳定值因每年降水量不同而有所不同。

(2)初始土壤干化会显著抑制枣树枣吊生长和果实个数进而影响枣树产量,这意味着每年的春季土壤含水率会影响到当年的枣树产量,所以如何提高春季土壤含水率是值得研究的课题。

(3)在降水不足的半干旱黄土丘陵区,采取节水型修剪技术是提高枣树水分利用效率的有效途径。2年观测结果说明常规修剪的大田枣树生物量水分利用效率高于试验地枣树,但产量水分利用效率均为试验地枣树高于大田枣树,说明节水型修剪更有利于水分向生殖生长方向转化。节水型修剪枣树与大田枣树相比,2014年水分利用效率提高4.5倍以上;2015年水分利用效率提高3.6倍以上,证明节水型修剪技术在生产中具有较好的应用价值。

参 考 文 献

- 1 张宝庆,吴普特,赵西宁.近30 a黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J].农业工程学报,2011,27(4):287-293.
ZHANG Baoqing, WU Pute, ZHAO Xining. Detecting and analysis of spatial and temporal variation of vegetation cover in the Loess Plateau during 1982—2009 [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 287-293. (in Chinese)
- 2 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):1-6,12.
WU Pute, WANG Youke, XIN Xiaogui, et al. Integration and demonstration of the date micro-irrigation technology in the hilly of Shanbei[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008,26(4):1-6,12. (in Chinese)
- 3 吴普特,汪有科,冯浩,等.21世纪中国水土保持科学的创新与发展[J].中国水土保持科学,2003,1(2):84-87.
WU Pute, WANG Youke, FENG Hao, et al. Innovation and development of soil and water conservation science of China in 21st century[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2003,1(2):84-87. (in Chinese)
- 4 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.
ZHU Xianmo. Rebuild soil reservoir is an rational approach for soil and water conservation on the Loess Plateau[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2006,21(4):320-324. (in Chinese)
- 5 杨文治.黄土高原土壤水资源与植树造林[J].自然资源学报,2001,16(5):433-438.
YANG Wenzhi. Soil water resources and afforestation in Loess Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2001,16(5):433-438. (in Chinese)
- 6 CHEN Liding, WEI Wei, FU Bojie, et al. Soil and water conservation on the Loess Plateau in China: review and perspective [J]. Progress in Physical Geography, 2007, 31(4): 389-403.
- 7 CHEN Hongsong, SHAO Ming'an, LI Yuyuan. Soil desiccation in the Loess Plateau of China[J]. Geoderma, 2008, 143(1): 91-100.
- 8 WANG Yunqiang, SHAO Ming'an, LIU Zhipeng. Vertical distribution and influencing factors of soil water content within 21-m profile on the Chinese Loess Plateau[J]. Geoderma, 2013,193-194:300-310.
- 9 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区深层土壤干燥化与土壤水循环特征[J].生态学报,2005,25(10):2491-2498.
CHEN Hongsong, SHAO Ming'an, WANG Kelin. Desiccation of deep soil layer and soil water cycle characteristics on the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(10):2491-2498. (in Chinese)
- 10 WANG Yunqiang, SHAO Ming'an, SHAO Hongbo. A preliminary investigation of the dynamic characteristics of dried soil layers on the Loess Plateau of China [J]. Journal of Hydrology, 2010, 381(1-2): 9-17.
- 11 WANG Yunqiang, SHAO Ming'an, ZHU Yuanjun. Impacts of land use and plant characteristics on dried soil layers in different climatic regions on the Loess Plateau of China [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(4):437-448.
- 12 岳忠娜.渭北旱塬果园土壤干燥化生态修复技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.
YUE Zhongna. Researches of ecological restoration technology on the soil desiccation of apple orchard in Weibei dry plateau [D]. Yangling: Northwest A&F University,2013. (in Chinese)
- 13 杨维西.试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J].林业科学,1996,32(1):78-85.
YANG Weixi. The preliminary discussion on soil desiccation of artificial vegetation in the northern regions of China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1996,32(1):78-85. (in Chinese)
- 14 刘丙霞.黄土区典型灌草植被土壤水分时空分布及其植被承载力研究[D].北京:中国科学院研究生院,2015.
LIU Bingxia. Experimental study of soil water spatial-temporal distribution and soil water carrying capacity for vegetation of typical shrub and grass on the Northern Loess Plateau [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2015. (in Chinese)
- 15 李玉山.黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水循环的影响[J].生态学报,1983,3(2):91-101.
LI Yushan. The properties of water cycle in soil and their effect on water cycle for land in the loess region [J]. Acta Ecologica Sinica, 1983,3(2):91-101. (in Chinese)
- 16 李玉山.苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J].土壤学报,2002,39(3):404-411.
LI Yushan. Productivity dynamic of alfalfa and its effects on water eco-environment[J]. Acta Pedologica Sinica,2002,39(3):401-411. (in Chinese)
- 17 杨文治,田均良.黄土高原土壤干燥化问题探源[J].土壤学报,2004,41(1):1-6.
YANG Wenzhi, TIAN Junliang. Essential exploration of soil aridization in Loess Plateau [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(1):1-6. (in Chinese)
- 18 杨文治.关于黄土高原生态环境建设问题的探讨[J].水土保持通报,1992,12(1):1-8.
YANG Wenzhi. Discussion on the problem of eco-environmental construction on the Loess Plateau [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1992,12(1):1-8. (in Chinese)
- 19 王志强,刘宝元,路炳军.黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J].生态学报,2003,23(9):1944-1950.
WANG Zhiqiang, LIU Baoyuan, LU Bingjun. A study on water restoration of dry soil layers in the semi-arid area of Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(9):1944-1950. (in Chinese)
- 20 王志强,刘宝元,王旭艳,等.黄土丘陵半干旱区人工林迹地土壤水分恢复研究[J].农业工程学报,2007,23(11):77-83.
WANG Zhiqiang, LIU Baoyuan, WANG Xuyan, et al. Soil water restoration of different land use after artificial forest in the semi-arid area of Loess Plateau[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11):77-83. (in Chinese)
- 21 王力,邵明安,侯庆春.土壤干层量化指标初探[J].水土保持学报,2000,14(4):87-90.
WANG Li, SHAO Ming'an, HOU Qingchun. Preliminary research on measured indexes of dried soil layer [J]. Journal of Soil

- and Water Conservation, 2000, 14(4):87-90. (in Chinese)
- 22 杨新民,杨文治. 干旱地区人工林地土壤水分平衡的探讨[J]. 水土保持通报,1988,8(3):32-38.
YANG Xinming, YANG Wenzhi. Study on the soil water balance of artificial forestland in arid region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1988,8(3):32-38. (in Chinese)
- 23 侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持,1999(5):11-14.
HOU Qingchun, HAN Ruilian, HAN Shifeng. A preliminary study on the soil dry layer in the artificial forest on the Loess Plateau [J]. Soil and Water Conservation in China,1999(5):11-14. (in Chinese)
- 24 刘晓丽,马理辉,杨荣慧,等. 黄土半干旱区枣林深层土壤水分消耗特征[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(12):139-145. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20141221&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.12.021.
LIU Xiaoli, MA Lihui, YANG Ronghui, et al. Deep soil water depletion characteristic of jujube plantation in loess semiarid region [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(12):139-145. (in Chinese)
- 25 卫新东,汪星,汪有科,等. 黄土丘陵区红枣经济林根系分布与土壤水分关系研究[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(4):88-97. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150414&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.04.014.
WEI Xindong, WANG Xing, WANG Youke, et al. Root distribution and soil water dynamics of jujube plantations in loess hilly regions [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(4):88-97. (in Chinese)
- 26 牛俊杰,马树苗,赵景波,等. 陕西省延川县孙家塬经济林土壤水分和水分平衡[J]. 水土保持通报,2014,34(4):33-38.
NIU Junjie, MA Shumiao, ZHAO Jingbo, et al. Soil water content and water balance of economic trees at sunjiayuan in Yanchuan county of Shaanxi province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014,34(4):33-38. (in Chinese)
- 27 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.
WANG Xing, ZHOU Yuhong, WANG Youke, et al. Soil water characteristic of a dense jujube plantation in the semi-arid hilly regions of the loess plateau in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(3):263-270. (in Chinese)
- 28 MA Lihui, WU Pute, WANG Youke. Spatial distribution of roots in a dense jujube plantation in the semiarid hilly region of the Chinese Loess Plateau [J]. Plant and Soil, 2012, 354(1-2):57-68.
- 29 赵霞,汪有科,刘守阳,等. 两种新的旱作管理技术对山地梨枣树生长及结果的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(4):157-160,171.
ZHAO Xia, WANG Youke, LIU Shouyang, et al. Effects of two new dry-land farming technologies on growth and fruit bearing of pear jujube trees in hilly regions [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012,30(4):157-160,171. (in Chinese)
- 30 魏新光. 黄土丘陵半干旱区山地枣树蒸腾规律及其节水调控策略[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
WEI Xinguang. Law of rainfed jujube tree transpiration and water-saving control strategy in semiarid hilly areas of the Loess Plateau [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015. (in Chinese)
- 31 魏新光,陈滇豫,LIU Shouyang,等. 修剪对黄土丘陵区枣树蒸腾的调控作用[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(12):194-202. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20141229&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.12.029.
WEI Xinguang, CHEN Dianyue, LIU Shouyang, et al. Effect of trim on jujube transpiration in loess hilly region [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(12):194-202. (in Chinese)
- 32 万素梅,贾志宽,韩清芳,等. 黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干层形成及水分恢复[J]. 生态学报,2008,23(3):1045-1051.
WAN Sumei, JIA Zhikuan, HAN Qingfang, et al. Dry soil layer forming and soil moisture restoration of alfalfa grassland in the semi-humid region of Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 23(3):1045-1051. (in Chinese)
- 33 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.
ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al. Water consumption of pear jujube trees (*Ziziphus jujuba* Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,33(3):907-915. (in Chinese)
- 34 余檀,汪有科,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,2015,35(3):311-316.
SHE Tan, WANG Youke, GAO Zhiyong, et al. Biomass models for jujube in loess hilly mountain of northern Shaanxi province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015,35(3):311-316. (in Chinese)
- 35 刘晓丽,马理辉,汪有科. 滴灌密植枣林细根及土壤水分分布特征[J]. 农业工程学报,2013,29(17):63-71.
LIU Xiaoli, MA Lihui, WANG Youke. Distribution characteristic of fine root and soil water of densely jujube plantation with drip irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(17):63-71. (in Chinese)
- 36 汪星. 黄土丘陵密植枣林耗水特征及其可调控性试验研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
WANG Xing. Research on soil water characteristic and regulatory test of dense jujube plantations in the hilly regions of the loess plateau [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015. (in Chinese)
- 37 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.
BAI Shengyuan, WANG Youke, MA Jianpeng, et al. Experimental study on rainfall infiltration in semiarid region of the loess plateau [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016,34(2):218-223,231. (in Chinese)