

## 限定枣树生长下的枣林耗水特征

刘恋<sup>1</sup>,张敬晓<sup>2</sup>,靳姗姗<sup>3</sup>,孙波<sup>4</sup>,董建国<sup>3,5</sup>,汪有科<sup>3,5</sup>

(1.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;2.河北水利电力学院,河北 沧州 061000;  
3.西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100;4.湖北省水利水电规划勘测设计院,湖北 武汉 430000;  
5.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为了减少黄土高原地区枣林地水资源消耗,减轻枣林土壤干化,完善枣林地水分管理,实现可持续发展,以黄土高原地区山地枣树为研究对象,将枣树栽植在面积为6 m<sup>2</sup>,深度分别为2、3、4、5、6 m的小区,通过枣树修剪控制树体规格及枝条数量和长度,测定土壤水分含量与枣树生长指标,测算枣树的单株生物量、耗水量及水分利用效率,分析枣树生物量与耗水特性的关系,探索严格限定枣树生长情况下的枣林耗水特征。经过三年连续监测发现:修剪后的5 a枣树耗水深度约为3 m,与常规矮化密植山地5 a枣树相比减少1.4 m左右,枣树耗水深度显著降低。各小区土壤储水量的变化情况与年降水量的变化规律相同,虽然在干旱年(2015年)各小区储水量相比2014年明显下降,各小区土壤储水量均存在亏缺现象,但2016、2017年的土壤水分通过自然降水恢复,相比2014年初始土壤储水量有提升。3 a枣树平均耗水量为520.78 mm和当地平均降雨量548.40 mm基本持平,说明林地土壤水分补充与消耗基本持平。研究表明:控制枣树生长具有调控枣林地耗水的作用,证明试验采取的修剪强度符合当地降雨条件,可以作为节水型修剪的控制指标;枣树在有限的生长空间内依靠自然降雨正常生长,试验限定枣树生长并没有降低枣树产量;与常规矮化密植山地枣树相比,试验枣树的生物水分利用效率和产量水分利用效率均有所提升。恰当的修剪可以限制营养生长,促进生殖生长,从而提高枣树水分利用效率,对缓解当地深层土壤水分干化具有重要意义。

**关键词:**土壤干化;旱作枣树;生物量;耗水深度;水分利用效率

**中图分类号:**S665.1 **文献标志码:**A

## Characteristics of water consumption of jujube forests with limited growth

LIU Lian<sup>1</sup>, ZHANG Jing-xiao<sup>2</sup>, JIN Shan-shan<sup>3</sup>, SUN Bo<sup>4</sup>, DONG Jian-guo<sup>3,5</sup>, WANG You-ke<sup>3,5</sup>

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

2. Hebei College of Water Resources and Electric Engineering, Cangzhou Hebei 061000, China;

3. College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

4. Hubei Provincial Institute of Water Conservancy and Hydropower Planning, Survey and Design, Wuhan, Hubei 430000, China;

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

**Abstract:** Soil erosion is a serious problem on the Loess Plateau, and soil desiccation is common in the artificial jujube forest. In order to reduce the consumption of water resources in the jujube forest on the Loess Plateau, minimize soil desiccation, and improve water management in the jujube forest to achieve sustainable development, jujube trees in the mountainous region of the Loess Plateau were taken as the research object in this study, and the jujube trees were planted in communities with an area of 2×3 m<sup>2</sup> and depths of 2, 3, 4, 5 m and 6 m, respectively. We pruned the jujubes to control the size of the tree body and the number and length of branches, and measured soil moisture and jujube growth index. Then, the individual biomass of jujube, water consumption, and water use efficiency were calculated to analyze the relationship between jujube biomass and water consumption. Through

收稿日期:2018-10-29

修回日期:2018-11-22

基金项目:陕西统筹项目(2016KTZDNY-01-05)

作者简介:刘恋(1992-),女,山东蓬莱人,硕士研究生,主要从事经济林高效用水研究。E-mail:liulian\_1992@qq.com

通信作者:汪有科(1956-),男,研究员,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

these, we tried to reveal the characteristics of water consumption when the jujube growth was strictly limited. After 3 years' monitoring, the consuming water depth of 5 a jujubes was controlled at around 3 m, which was 1.4 m less than the dense jujube plantations. The change of water storage in each community was the same as that of precipitation. Although the water storage in each community was significantly lower in dry years (2015) than in 2014, and soil water storage in each community was deficient, the soil water in 2016 and 2017 was recovered by natural precipitation, which was an improvement over the initial soil water storage in 2014. Within 3 years, the average water consumption (520.78 mm) and local average rainfall (548.40 mm) were comparable. This showed that the supplement and consumption of soil water in forest land were basically the same. The results also showed that controlling the growth of jujube trees can regulate the water consumption of jujube forest land. It was proved that pruning intensity adopted in the experiment conformed to the local rainfall conditions and could be used as a reference for the control index of water-saving pruning. Jujube trees grew normally depending on natural rainfall in limited growth space, and the experiment did not impact the jujube yield. Compared with the conventional dwarf densely planted mountain jujube trees, the biological water use efficiency and yield water use efficiency of the tested jujube trees are improved, and the higher the water use efficiency, the more economical the water use of the jujube trees. Through these, we found a way to increase the water use efficiency which is significantly important to relieve the soil desiccation in the deep soil.

**Keywords:** soil desiccation; jujube aerobic cultivation; biomass; consuming water depth; water use efficiency

黄土高原是世界上水土流失最严重和生态环境最脆弱的地区之一。为了改善黄土高原恶劣的生态环境,我国政府开展了退耕还林还草工程,对黄土高原水土流失治理和改变该区域的生态环境起到显著的作用<sup>[1-3]</sup>,可同时也带来了深层土壤干燥化问题<sup>[4]</sup>。陕北地区在退耕还林政策的扶持下,发展了大规模的红枣人工经济林,但枣林和其他人工造林植被一样,面临着严重的土壤水分亏缺问题<sup>[5]</sup>。

长期以来,黄土高原人工植被引起的土壤干化问题一直是生态学界关注的焦点。如何解决当地植被建造所造成的土壤水分亏缺也一直是大家试图解决的热点问题。黄土高原人工林地的蒸散量大于降水量,导致土壤水分长期处于负补偿效应,经过植被多年的生长耗水根区范围土壤水分已生态失调,进而形成了一定程度的土壤干层。土壤干化导致植物生长减缓甚至大片死亡,造成土壤干燥化的趋强发展和产生林相衰败的小老树等限制当地林草植被建设的问题<sup>[6-7]</sup>。因此,在黄土高原地区发展人工林必须慎重考虑土壤水分的补偿特征,若要防治人工植被土壤干化就必须合理调控林地生产力,使植物蒸腾耗水与土壤水分补偿之间保持平衡<sup>[8]</sup>。

榆林大面积山地枣树种植年限已经有 18 a,随着树龄增加,枣林地土壤干化也在不断加重,马建鹏等的研究表明 5、15 a 枣林地耗水深度分别为 440、800 cm,出现干层的厚度分别为 100、400

cm<sup>[9]</sup>。土壤干层的形成,严重影响植被的正常生长。如何降低枣林耗水深度缓解土壤干化已成为近年学者研究的一个重点。靳姗姗和白一茹的研究证实,薄膜、地布、石子等覆盖保墒措施能够有效减少枣林地土壤水分蒸发量,从而提高土壤含水量<sup>[10-11]</sup>。蔺君等提出鱼鳞坑、聚水沟、水平阶等降雨径流拦蓄措施对于减少林地水分流失也具有重要意义<sup>[12-13]</sup>。此外,魏新光等和聂真义研究认为通过修剪、矮化密植等措施缩小树体规格减少蒸腾耗水也能够实现枣林水分利用效率的调控<sup>[14-15]</sup>。

生物量作为枣树在生态系统中积累的有机物总量,是决定枣树营养生长和生殖生长的能量基础和物质来源。旱作条件下土壤水分是影响枣树生物量的主要因子,是决定枣树产量的关键因素<sup>[16]</sup>。相反,枣树生物量也直接影响其耗水量,从而影响土壤水分,这与以往研究提出降低土地水分承载量的道理是一致的<sup>[17]</sup>。本研究在控制枣树树体规格的基础上,对枣树生物量、土壤水分与耗水特性的关系进行分析,为旱作枣林科学修剪管理和完善“节水型修剪”技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地点在陕北米脂县银州镇远志山红枣示范基地(37°12'N、109°28'E),该区域属于典型黄土高原丘陵沟壑区,平均海拔 1 049 m,地势总体西北高东南低。米脂县域西部与榆林的风沙区接壤,地

貌类型主要有峁、梁、沟、川。沟道浅而宽、梁峁起伏较大,土壤风蚀沙化明显,植被稀少,水土流失严重。土层深厚,地下水埋深在 50 m 以下,对植物根系吸水的影响较小。地属中温带半干旱大陆性季风气候,全年雨量不足,气候干燥,冬春长,夏秋短,四季分明,日照充沛,年平均气温 8.4℃,极端最高气温 38.2℃,极端最低气温-25.5℃,无霜期 162 d。年均降水量 451.6 mm,其中 7—8 月份降水量占全年降水量的 49%,8 月份最多<sup>[18]</sup>。土壤以黄土母质发育的黄绵土为主,质地为粉质沙壤土,容重  $1.24 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,田间持水量为 23%。

## 1.2 试验布设与指标测定

1.2.1 试验布设 研究设置 5 个处理,每个处理设置 4 个重复。每个处理面积为  $6 \text{ m}^2$  ( $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ) 规格的小区(如图 1 所示)。1~5 小区深度分别 2、3、4、5、6 m。各小区四周采用水泥砌墙与周围土壤隔离(衬膜),底部用塑料隔膜限制各小区深度,2013 年各小区分别栽植 1 棵枣树。2014 年枣树度过缓苗期,生长状况达到稳定状态,树体控制规格为高  $160 \text{ cm} \pm 14 \text{ cm}$ ,冠幅  $160 \text{ cm} \times 160 \text{ cm}$ ,二次枝总长度  $300 \text{ cm} \pm 10 \text{ cm}$ ,每 7 天复查修剪一次,尽量保持树体规格指标的精准化。

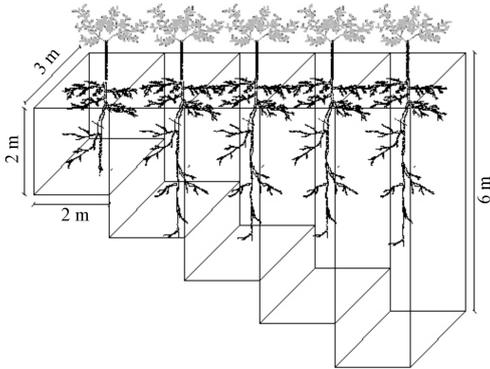


图 1 研究小区布设示意图

Fig.1 Experimental layout

1.2.2 枣树生长指标观测 在枣树生育期每隔 7 天测量一次枣树树高、冠幅东西、冠幅南北、冠幅厚度、主枝长度、侧枝总长度、枣吊长度、叶片横径、叶片纵径等各项生长指标。主枝数、侧枝数、枣吊数、叶片数通过目测得到。树高、冠幅:每月初用钢卷尺测定一次。主枝:采用钢卷尺每 7 天测量一次主枝长度,用游标卡尺测量主枝中部粗度,单位为 mm。侧枝:每 7 天在枣树四面随机选取 3 个侧枝,用钢卷尺测量侧枝长度,用游标卡尺测量侧枝中部粗度,单位 mm。枣吊:每 7 天在枣树四面随机选取 15 个枣吊,用卷尺测量枣吊长度,用游标卡尺测量

枣吊中部粗度,单位 mm。叶面积:每 7 天在枣树四周随机选取 15 片叶片,用直尺测量叶长和叶宽,通过计算求得叶面积(叶面积=叶长×叶宽×0.67)。产量测定:采摘果实称量得到每棵树的平均产量,根据当地枣园矮化密植的种植密度换算成每公顷的产量。

生物量: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<sup>[19]</sup>建立的模型计算生物量,公式如下:

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 \quad (1)$$

$$B_1 = 0.002D_1^{1.564} \times H_1^{1.016} \quad (2)$$

$$B_2 = 0.002D_2^{1.564} \times H_2^{1.016} \quad (3)$$

$$B_3 = 0.005D_3^{1.02} \times H_3^{1.078} \quad (4)$$

$$B_4 = 4.568 \times 10^{-5} Z^{1.374} \times T^{0.901} \quad (5)$$

式中, $B$  为枣树单株生物量(g); $B_1$  为主枝生物量(g); $D_1$  为主枝直径(mm); $H_1$  为主枝长度(mm); $B_2$  为侧枝生物量(g); $D_2$  为侧枝直径(mm); $H_2$  为侧枝长度(mm); $B_3$  为枣吊生物量(g); $D_3$  为枣吊直径(mm); $H_3$  为枣吊长度(mm); $B_4$  为叶片生物量(g); $Z$  为叶片纵径(mm); $T$  为叶片横径(mm)。

1.2.3 土壤含水率测定 在各小区的中心位置按测量深度分别放置 2、3、4、5、6 m 深铝管作为中子仪土壤水分测定点,采用 CNC503B 型 NP 中子仪在每月初测定一次土壤体积含水量,测定间隔 20 cm,如遇降雨则在雨停之后测定。

1.2.4 土壤储水量 土壤储水量计算公式为:

$$W = 0.1rvh \quad (6)$$

式中, $r$  为土壤质量含水率(%); $v$  为土壤容重( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); $h$  为土层深度(cm)。

1.2.5 枣树耗水量 枣树耗水量的计算公式为:

$$ET = 0.001(P - \Delta W) \rho \quad (7)$$

式中, $ET$  为作物耗水量( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $P$  为降水量(mm); $\Delta W$  为土壤储水量变化量(mm); $S$  为平均单棵枣树占地面积( $\text{m}^2 \cdot \text{棵}^{-1}$ ); $\rho$  为枣树栽植密度( $\text{棵} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。

1.2.6 水分利用效率 水分利用效率计算公式为:

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (8)$$

式中, $WUE$  为水分利用效率( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ); $Y$  为产量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $ET$  为作物耗水量( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )。

## 1.3 数据处理

数据统计分析主要采用 Excel 2012 和 IMB

SPSS Statistics 19.0 软件, 作图采用 AutoCAD 和 Origin 9.1 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 限制枣树生长下的地上生物量与土壤水分

生物量是绿色植物转换利用光能与营养物质累积的结果<sup>[20]</sup>, 旱作枣树生物量是影响半干旱区枣林土壤水分的重要指标。根据刘晓丽等的研究, 将密植枣林深层土壤剖面分别命名为: 强耗水层(2.0~4.4 m)、弱耗水层(4.4~5.0 m)及微弱耗水层(5.0~7.0 m)<sup>[21]</sup>。本研究中耗水层是指植物根系吸收水分用于植物生长与蒸腾最多的土层, 也就是观测期间土壤含水量发生明显变化的土层。在此, 对试验区 2015—2017 年枣树规格、单株地上生物量(保留部分+修剪部分)、耗水层年平均土壤含水量进行统计(表 1), 由表 1 可以看出同年各小区之间的生物量在  $P=0.05$  水平上无显著性差异, 符合试验设计要求。

由表 1 还可以看出, 尽管试验采取了相同的修剪指标控制树体规格, 限制树体自由生长, 但是不

同年份各小区的生物量表现出 2017 年>2016 年>2015 年的规律。这里可能有树龄因素也有降水量的影响, 观测期三年中的降水量 2015 年 434.80 mm, 2016 年 590.8.20 mm, 2017 年 619.60 mm, 与生物量的变化规律一致。经测算发现, 试验区枣树根系深度还受到小区深度限制, 如 1 区和 2 区处理深度只有 2 m 和 3 m, 导致枣树根系层深度无法超越小区深度, 同时, 小区深度也会限制土壤储水量, 由于缺少深层土壤水分补给, 所以 1 区、2 区供给枣树生长的土壤储水量较 3 区、4 区、5 区要少, 所以枣树生长总量较小。1 区、2 区、3 区、4 区、5 区处理深度逐渐加大, 意味着土壤储水能力和土壤储水量对枣树生长作用逐渐增加, 枣树各处理上的总生物量也呈增加的趋势并呈现一定的相关性, 三年内生物量与小区深度的 Pearson 相关系数分别为 0.986<sup>\*\*</sup>、0.921<sup>\*</sup>、0.963<sup>\*\*</sup>, 但由于我们采取修剪控制树体生长, 各处理之间的生物量差异不显著, 由此造成的各处理地上生物量与耗水层土壤水分差异也不显著, 这也证明限制枣树生长一定程度上限制了土壤水分的消耗量。

表 1 各小区枣树生长状况与水分状况

Table 1 Growth of jujube and water condition in study areas

年份 Year	小区 Plot	生长状况 Growth		生物量 Biomass	水分状况 Water condition	
		树高/cm Height	冠径/cm Diameter of crown	单株生物量/g Biomass	降雨量/mm Rainfall	耗水层土壤含水量/% Soil moisture content
2015	1	125a	125×128a	3564.59a	434.80	6.79a
	2	122a	132×127a	3614.59a		7.12a
	3	132a	129×128a	3714.85a		7.55a
	4	130a	133×131a	3784.27a		8.23a
	5	128a	134×140a	3902.11a		8.80a
	平均 Mean	127	130×130	3716.08		7.70
2016	1	125a	126×125a	4132.14a	590.80	6.84a
	2	125a	125×128a	4328.81a		7.26a
	3	134a	130×128a	4384.45a		7.69a
	4	137a	133×137a	4368.11a		8.51a
	5	128a	134×123a	4434.95a		9.23a
	平均 Mean	130	129×128	4329.69		7.91
2017	1	129a	133×125a	5193.52a	619.60	6.99a
	2	128a	131×139a	5320.86a		7.41a
	3	134a	132×126a	5286.81a		7.80a
	4	138a	131×138a	5313.32a		8.82a
	5	135a	136×138a	5426.36a		9.79a
	平均 Mean	133	133×133	5308.17		8.16

注: 同列不同字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different letters in a column are significant difference at  $P<0.05$  level.

### 2.2 限定枣树生长下的枣树耗水状况

降雨是试验区土壤水分补充的唯一途径, 各小区地表面积相同, 因此接收的降雨量也相同, 通过小区水量平衡可以计算出枣树耗水量。试验观测期间, 试验各处理土壤含水率变化见图 2。可以看

出, 2014 年枣树度过缓苗期树体较小消耗的水分少, 土壤含水率达 7% 左右。2015 年, 枣树树体达到一定规格, 生长需水量增大, 但降雨量较少, 1~2 m 土层土壤含水率接近凋萎含水量, 枣树通过吸收更深层的土壤水分维持生长, 导致 2015 年耗水深度明

显增加。2016 年降雨量增加,降雨量能够满足枣树生长需水量,土壤含水量在 0~300 cm 土层有所恢复。2017 年降雨量较大,在满足枣树生长前提下,土壤水分仍有富余,土壤含水量在 2016 年的基础上再次增加。3 区、4 区、5 区 320 cm 以下土壤水分含量有逐年增大的趋势,320 cm 以上土层各小区土壤水分变化规律基本相同,说明枣树在试验所限定的规格下土壤耗水深度均在 320 cm 左右。根据马建鹏等<sup>[9]</sup>在本地区的研究,未修剪的 5a 枣树耗水深度可达 440 cm,试验地 5 龄枣树耗水深度远低于未修

剪的枣树,说明一定强度的节水型修剪可以有效降低枣林的耗水深度。研究表明,通过控制树体规格可以调控树体的水分消耗<sup>[22]</sup>。树冠生长与根系生长和土壤水肥资源之间存在函数关系,根系吸水能力的变化可用于判断枝条生长情况<sup>[23]</sup>。并且树木地上部分各器官的形成和生长与地下部分根系的形成和生长也密切相关<sup>[24]</sup>。通过修剪导致枣树根系发生了一系列变化以平衡根-枝比,从而影响根系吸水能力,使枣树的根系分布层被限制在一定范围,进而控制枣树耗水深度<sup>[25]</sup>。

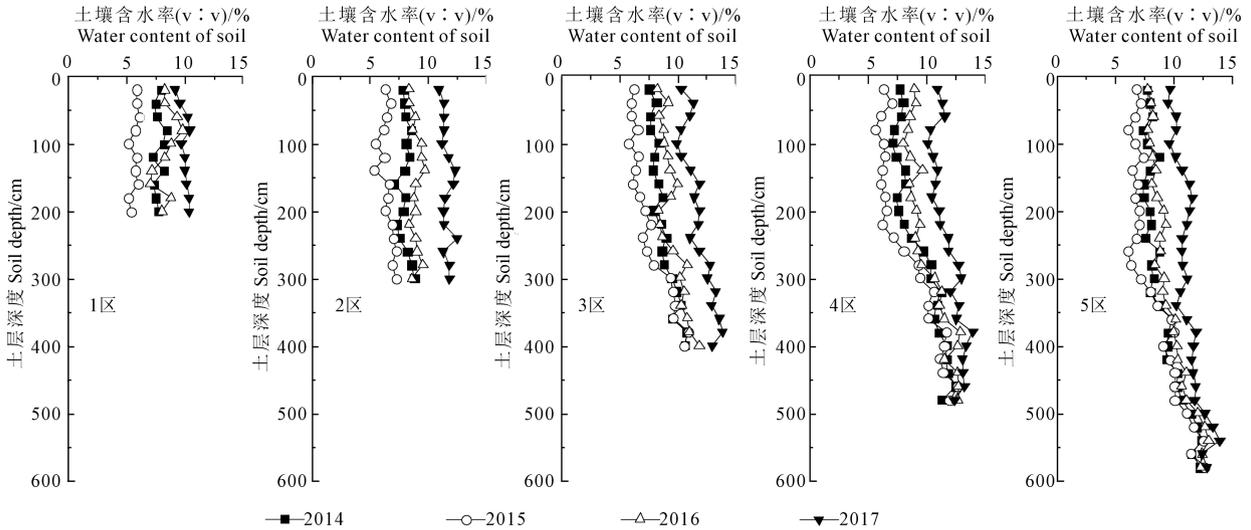


图 2 各小区 0~600 cm 土层土壤水分年际变化

Fig.2 The soil moisture in 0~600 cm soil layer under different treatments

由于小区深度不同,在相同降雨条件下小区储水量不同,使得 5 个小区存在储水量梯度。5 个小区在自然降雨条件下耗水层的土壤储水变化情况如图 3 所示。干旱年(2015 年)各小区储水量相比 2014 年呈明显下降趋势,2016、2017 年的土壤水分通过自然降水恢复,储水量的变化情况与降水量的变化规律相同,这说明在非干旱年可以通过节水型修剪雨养枣树恢复土壤干层。

由表 2 可知当降水量多土壤水分含量较高时,枣树的耗水量较大;反之,降水少土壤水分含量较低时,枣树对水分的消耗大幅降低。2015 年各小区耗水量分别为 456.00、470.60、469.99、488.88、482.66 mm,该年降水量 434.8 mm 低于当年枣树耗水量,水分严重亏缺,枣树生长消耗的土壤水分不能被降水及时补充,造成土壤干化。2016、2017 年试验枣树耗水量分别为 546.77、517.45、522.96、530.19、539.62 mm 和 567.41、560.08、551.56、558.33、549.21 mm,枣树耗水量均低于当年降水量,降水能够满足枣树生长需求。三年试验期间枣树平均耗水量为 520.78

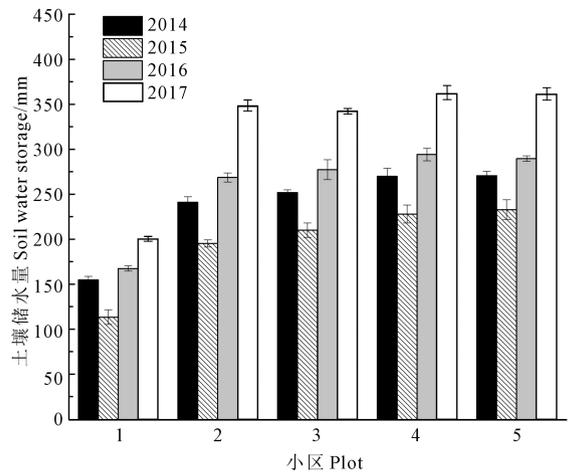


图 3 各小区耗水层土壤储水量逐年变化

Fig.3 Annual change of soil water storage in water-consuming layer of different test plot

mm,接近平均降雨量 548.40 mm,说明试验采取的修剪强度符合当地降雨条件,可以作为节水型修剪的控制指标。在非干旱年降水量能够满足枣树生长耗水需求。

### 2.3 限定枣树生长下的枣树水分利用效率

陕北地区干旱少雨,因此提高枣树的水分利用效率是实现枣林地生态可持续发展的关键,水分利用效率高,说明枣树对水分的利用更加经济。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2015、2016、2017年试验区各处理的产量和水分利用

效率进行了对比分析(表3)。表3可以看出,4个小区无论是生物量水分利用效率还是产量水分利用效率都明显高于对照,说明节水型修剪可以提高枣树水分利用效率。此外,枣树的产量还受年降水量的影响,水分充足的2017年平均产量接近2015年两倍,说明降水量对枣树产量仍然起主导作用。

表2 各小区2015-2017年降雨量、储水量变化量和耗水量比较

Table 2 Comparisons of rainfall, changes in water storage and water consumption from 2015 to 2017

区号 Plot	2015			2016			2017			总 Total		
	P	$\Delta W$	ET	P	$\Delta W$	ET	P	$\Delta W$	ET	P	$\Delta W$	ET
1		-21.20	456.00	44.03	546.77		52.19	567.41		75.02	1570.18	
2		-35.80	470.60	73.35	517.45		59.52	560.08		97.07	1548.13	
3	434.80	-35.19	469.99	590.80	67.84	522.96	619.60	68.04	551.56	1645.20	100.69	1544.51
4		-54.08	488.88	60.61	530.19		61.27	558.33		67.80	1577.40	
5		-47.86	482.66	61.18	539.62		70.39	549.21		83.71	1571.49	

表3 各小区产量及水分利用效率比较

Table 3 Comparisons of output and water use efficiency of different test plot

区号 Plot	2015			2016			2017		
	产量 Production $/(kg \cdot hm^{-2})$	水分利用效率/ $(kg \cdot m^{-3})$ Water efficiency		产量 Production $/(kg \cdot hm^{-2})$	水分利用效率/ $(kg \cdot m^{-3})$ Water efficiency		产量 Production $/(kg \cdot hm^{-2})$	水分利用效率/ $(kg \cdot m^{-3})$ Water efficiency	
		产量 Production	生物量 Biomass		产量 Production	生物量 Biomass		产量 Production	生物量 Biomass
1	5 288.81a	9.28a	6.72a	6 516.45a	9.53a	9.02a	6 921.73a	9.76a	9.51a
2	5 381.20a	9.15a	7.04a	6 796.37a	10.51a	9.72a	7 018.54a	10.03a	9.86a
3	5 654.91a	9.63a	6.84a	6 857.88a	10.49a	9.91a	6 863.75a	9.96a	9.95a
4	5 936.53a	9.71a	6.92a	6 789.62a	10.24a	9.75a	7 079.43a	10.14a	9.70a
5	5 865.12a	9.72a	7.05a	6 687.94a	10.10a	9.88a	7 182.68a	10.46a	10.24a
ck	4 071.64b	4.23b	5.06b	4 403.15b	4.43b	5.15b	4 603.15b	4.87b	6.23b

## 3 讨论与结论

1) 植被耗水所导致的土壤水分亏缺是形成土壤干层的主因,深入研究枣林的耗水特征是维系枣林生态系统稳定的关键。经过研究发现采用修剪限定枣树生长具有明显的限制枣树耗水量的作用。虽然在土壤水分较充足或者降雨量大的年份时枣树耗水量还是略有增加,枣树生物量也会略有增加,但限定枣树生长的修剪仍然可以作为防治土壤水分过度消耗的措施。

2) 随着林龄的增长,修剪后枣林耗水深度小于自然生长下的枣林。试验所采取的修剪规格,5a生枣树耗水深度约为3m,这个深度可以通过丰水年得到恢复并且可以补充下层的土壤水分,所以3m土壤干化的深度可以看成临时性干层,也就是可允许的干层深度。汪星等的研究也证实了在陕北黄土丘陵区,矮化密植枣林根系分布深度和消耗土壤水分的深度比传统的稀植枣林浅,说明矮化密植措施

降低了枣林根系深度,具有对枣树根系调控的作用<sup>[25]</sup>。试验区观测期各处理的平均耗水量为520.78mm,接近当地平均降雨量548.40mm,林地土壤水分补充与消耗基本持平,说明试验采取的修剪强度符合当地降雨条件,可以作为节水型修剪的控制指标。水分亏缺的干旱年我们还可以在节水型修剪的基础上,增加灌溉、覆盖保墒等其他措施,尽量限制枣园水分无效消耗,对实现枣林可持续发展,防控枣林土壤的干化具有重要意义。

3) 枣树在有限的生长空间内依靠自然降雨正常生长,试验限定枣树生长的规格并没有降低枣树产量。不同年份枣林产量受降雨量影响,水分充足的年份产量较高,水分亏缺的年份产量相对较低。与常规矮化密植山地枣树相比,试验枣树的生物水分利用效率和产量水分利用效率均有所提高,水分利用效率高,意味着枣树对水分的利用更加经济。说明节水型修剪在生产中具有一定的应用价值,所以试验采用的修剪规格可作为当地生产管理的参考。