

韩莹莹,李 宏,程 平,等. 不同灌溉条件下幼龄枣园土壤蒸发试验研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):220-223.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.065

# 不同灌溉条件下幼龄枣园土壤蒸发试验研究

韩莹莹<sup>1</sup>, 李 宏<sup>2</sup>, 程 平<sup>2</sup>, 刘 帮<sup>3</sup>, 张志刚<sup>3</sup>, 李长城<sup>3</sup>, 孙明森<sup>3</sup>

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆乌鲁木齐 830054;2. 新疆林业科学院,新疆乌鲁木齐 830000;

3. 新疆农业大学,新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:**利用 Micro-Lysimeter 法,通过测量地表滴灌( $I_1$ )、井式灌溉( $I_2$ )和漫灌( $I_3$ )条件下幼龄红枣的地表土壤蒸发,比较 3 种不同灌溉条件下幼龄红枣园土壤的蒸发特性,为林木井式节水灌溉方法提供科学依据。结果表明:(1)在幼龄红枣的不同生育时期, $I_1$  条件下在距树干长 20、60、100 cm 的地表日均蒸发量均极显著小于  $I_3$ , $I_1$  和  $I_2$  条件下无极显著差异,3 种处理条件下土壤蒸发量由大到小为  $I_3 > I_1 > I_2$ ;(2)从不同生育时期蒸发总量看,幼龄红枣的土壤蒸发量为坐果期 > 开花期 > 展叶期 > 膨大期 > 成熟期 > 落叶期,3 种处理方式下土壤蒸发量为  $I_3 > I_1 > I_2$ ;(3)气象因子对不同灌溉条件下幼龄红枣园土壤蒸发的影响为太阳辐射 > 风速 > 温度 > 相对湿度 > 降水,其中相对湿度与土壤蒸发呈负相关,相对湿度越大蒸发量越小,其他因子与土壤蒸发均呈正相关。3 种灌溉条件下,林木井式灌溉蒸发量最小。

**关键词:**幼龄红枣;地表滴灌;井式灌溉;漫灌;土壤蒸发

**中图分类号:** S723.6;S665.107

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2016)01-0220-04

红枣喜光、抗旱、抗寒等,是我国山、沙、碱、旱地区最具特殊利用价值的生态经济树种。新疆光、热资源丰富,所以红枣产业在新疆发展很快,2014 年全疆特色林果类种植面积达到 146.7 万  $\text{hm}^2$ ,其中红枣达到 46.7 万  $\text{hm}^2$ ,目前红枣已成为新疆环塔里木盆地绿洲带的最主要栽培果树之一<sup>[1]</sup>。新疆红枣主产区之一的阿克苏地区红枣达到 13.3 多万  $\text{hm}^2$ <sup>[2-3]</sup>,红枣成为该地区农民经济收入的一个重要来源,而环塔里木盆地年降水量不足 100 mm<sup>[4]</sup>,因此水资源严重短缺是制约枣树生长与发育的重要因素<sup>[5-6]</sup>,也决定着其产量和品质。当前环塔里木盆地的幼龄枣园大多采用地面灌溉,灌溉定额超过 15 000  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,容易形成地表积水,田间无效耗水量大,造成了水资源的严重浪费<sup>[7-8]</sup>。

土壤蒸发是农田水分循环过程中的无效耗水,不参与作物的生理和生产过程,属于非生产性耗水,因此合理减少田间非生产性耗水、提高作物水分利用效率是节水灌溉的一条重要途径<sup>[9]</sup>。林木井式节水灌溉方法<sup>[10]</sup>作为一种新型灌溉技术,在地面滴灌基础上,通过盲管将水引入带孔竖井管<sup>[11]</sup>内部,再从井管壁孔横向渗漏将水分直接输送至林木根系分布区,此过程中地表保持了较干燥状态,也有效控制了地表径流,因此提高了水的利用效率,达到了节水的目的。

微型蒸渗仪(micro-lysimeters,简称 MLS)作为测量土壤蒸发行之有效的一种小型观测器皿,具有无扰动、可移动、操作方便等优点,利用导热率较小的 PVC 材料制作的微型蒸发

器测量土壤蒸发简单有效,在干旱半干旱地区有很大利用价值<sup>[12-13]</sup>。

本试验地点选择在新疆林业科学院佳木试验站幼龄枣园,通过分析对比地表滴灌、林木井式灌溉、漫灌条件下幼龄红枣园地表的蒸发特性,为林木井式灌溉节水方法提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验在新疆阿克苏地区温宿县境内的新疆林业科学院佳木试验站进行,地理位置  $80^\circ 32' \text{N}$ ,  $41^\circ 15' \text{E}$ ,海拔 1 103 m。基地呈长方形,地势北高南低,西高东低,南北长 1 600 m,东西长 650 m,地下水埋深 2.8 ~ 3.3 m;属于大陆性干旱荒漠气候,昼夜温差大;春季较短,多大风降温天气,时常有倒春寒现象发生,夏季炎热而干燥,蒸发强烈;降水量稀少,四季分配不均,降水量年际变化大,年均降水量不足 100 mm;年均气温  $10.1^\circ \text{C}$ ,极端低温  $-27.4^\circ \text{C}$ ,年均日照时数 2 747.7 h,  $\geq 10^\circ \text{C}$  积温 2 916.8 ~ 3 198.6  $^\circ \text{C}$ ,无霜期 196 d。

### 1.2 样地选择

在试验站幼龄红枣园中选择 3 块样地,采用地表滴灌、井式灌溉和漫灌灌溉方式各 1 块,样地规格均为 20 m  $\times$  20 m。枣树均为地径( $3 \pm 0.3$ ) cm 的 4 年生灰枣树,按东西方向栽培,株间距为 1 m,行间距为 4 m,采用小冠疏层型整形方式,平均株高为 1.91 m,平均冠幅为 1.3 m,树势基本一致,树体生长发育良好,无病虫害。3 块试验样地除灌水方式不同外,施肥、病虫草害防治等田间管理措施均与当地相同。为防止漫灌样地水分的侧渗影响试验结果,在地表滴灌和井式灌溉样地边缘挖掘深度为 2.0 m 的壕沟,用防渗膜隔开,并在四周高出地面 60 cm 以上的土垄,以防止周围果园灌水对样地的影响。

收稿日期:2015-08-06

基金项目:国家公益性行业(林业)科研专项(编号:201304701-2)。

作者简介:韩莹莹(1989—),女,甘肃平凉人,硕士研究生,研究方向为绿洲生态建设与规划。E-mail:1679628375@qq.com。

通信作者:李 宏,研究员,博士生导师,研究方向为森林培育。E-mail:hong1962@126.com。

1.3 试验设计

1.3.1 试验处理 试验于 2014 年 5 月初至 10 月下旬在佳木试验站红枣园中进行。试验分 3 个处理,处理 1:采用地面滴灌(I<sub>1</sub>)方式,滴头流量为 12 L/h,每次灌水 72 L/株<sup>[14]</sup>,全生育期灌水 24 次,灌水日期如表 1 所示。处理 2:采用井式灌溉(I<sub>2</sub>)方式,采用自制带孔竖井管(内径 10 cm,高 20 cm,上端 5 cm 封闭,出水孔大小 0.3 cm)安装在距树干 10 cm 处,在处理 1 供水系统基础上采用滴头(12 L/h)用毛管将水引入井管内,每次灌水 72 L/株,全生育期灌溉 24 次,灌水日期如表 1 所示。处理 3:采用漫灌(I<sub>3</sub>)方式,每次灌水定额 120 m<sup>3</sup>,全年灌溉 8 次,每次灌水时间间隔的长短根据枣树不同生育期的需水情况来定<sup>[10]</sup>,全年灌水日期如表 2 所示。

表 1 全生育期幼龄枣园滴灌、井式灌溉灌水日期	
生育期	日期(月-日)
展叶期	05-11,05-15,05-20,05-25,06-01,06-05
开花期	06-10,06-16,06-22,06-28,07-02,07-08
坐果期	07-13,07-19,07-25,08-01,08-07
膨大期	08-12,08-18,08-26,09-05
成熟期	09-15
落叶期	10-16

表 2 幼龄枣园漫灌灌水日期	
生育期	日期(月-日)
展叶期	05-08,05-20
开花期	06-05,06-26
坐果期	07-25
膨大期	08-20
成熟期	09-02
落叶期	10-16

1.3.2 土壤蒸发量测定方法 制作 2 种微型蒸发器。MLS-1:用 PVC 制作,内径 10 cm,高 40 cm,底部用堵头封底,堵头底部打有 30~40 个孔以保持土壤通透性,堵头底部粘 1 层薄布防止土粒外漏;每个 MLS 都有内径 11 cm,高 40 cm 的 PVC 制作的套管放置于土壤中,方便称质量时内桶的取出;采用自制土钻(内径 10 cm,高 20 cm)取土,分 2 次将完整土柱放入微型蒸发器中。MLS-2:用 PVC 制作,内径 10 cm、高 20 cm,用堵头封底;套管规格为内径 11 cm、高 20 cm。

3 种灌溉方式下的土壤蒸发过程均分为水体蒸发和土壤蒸发,处理 1 灌溉时形成半径 25 cm 左右的湿润面,此阶段水体蒸发用 MLS-2 测量,灌水 12 h 后,土壤水分完成再分布至下次灌水之前,采用 MLS-1 测量;处理 2 灌溉时竖井管内有积水,此阶段水体蒸发用 MLS-2 测量,灌水 12 h 后,土壤水分完成再分布至下次灌水之前,采用 MLS-1 测量;处理 3 灌溉时有地表积水,此间水体蒸发用 MLS-2 测量,灌水 12 h 后,土壤水分完成再分布至下次灌水之前,采用 MLS-1 测量。

MLS-1:处理 1、处理 2 均在距离树干 20、60、100 cm 的行间布设,处理 3 在距离树干 20、60、100、140 cm 的行间布设,各重复 3 次;MLS-2:处理 1 在距离树干 10 cm 处放置 1 个,处理 2 在竖井管位置放置 1 个,处理 3 在距离树干 20、60、100 cm 的行间布设,各重复 3 次。根据不同生育期枣树需水供水情况分别测定 2~4 次灌水周期的土壤蒸发量,取均值作

为该生育期的蒸发量。

1.3.3 数据采集 据本试验过程记录与研究目的,新疆阿克苏地区 2014 年幼龄红枣生育期的划分如表 3 所示<sup>[15-16]</sup>。

表 3 2014 年阿克苏地区幼龄红枣树生育期划分		
生育期	日期(月-日)	经历时间(d)
展叶期	05-07—06-10	36
开花期	06-10—07-13	33
坐果期	07-10—08-08	29
膨大期	08-08—09-15	38
成熟期	09-15—10-10	25
落叶期	10-10—10-30	20

土壤蒸发测定:用电子台秤(精度 1 g)于每天 08:00 和 21:30(北京时间)称质量,8 月中旬后,08:40 和 21:00 称质量,利用 2 次之间的质量差和土柱横截面积换算得土壤蒸发量。为了防止夜间露水和沙子进入管中,每晚用黑色塑料膜遮盖,早上日出前半小时揭掉塑料膜。

气象因素的测定:样地内安装 HOBO 小气候仪,对枣园的气象因素进行测定,主要包括太阳辐射、空气湿度、温度、风速、降水量,数据采集时间间隔 10 min。

1.3.4 数据处理与分析 枣园土壤蒸发计算方法:枣园土壤蒸发按照长方体计算,处理 1、处理 2 距离树干 0~100 cm 利用 MLS-1 和 MLS-2 的表面积进行换算。根据前期枣树根系和土壤水分湿润模型的研究,处理 1 和处理 2 土壤水分运移范围在距离树干 0~100 cm 范围内,因此在距离树干 100~200 cm 处的土壤蒸发忽略不计。处理 3 距离树干 0~200 cm 采用 MLS-1 和 MLS-2 进行换算。

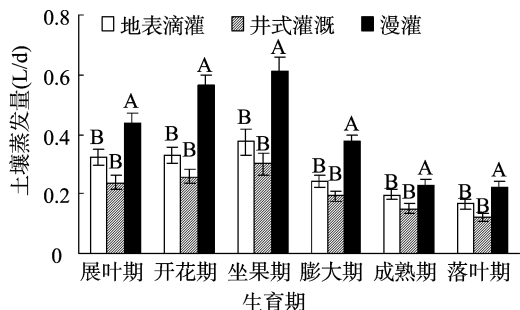
方差分析应用 SPSS 17.5 统计软件;绘图应用 Microsoft Excel 2003。

2 结果与分析

2.1 3 种灌溉条件下幼龄红枣各生育期距树干不同距离的日均蒸发特性

3 种处理条件下距树干长 20 cm 的地表不同生育期日均蒸发量对比见图 1。从图 1 可看出,总体来看,幼龄枣树的土壤蒸发量为坐果期>开花期>展叶期>膨大期>成熟期>落叶期;I<sub>3</sub> 和 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub> 条件下不同生育期日均蒸发量均存在极显著差异(P<0.01),3 种处理方式下土壤蒸发量为 I<sub>3</sub>>I<sub>1</sub>>I<sub>2</sub>;距树干长 60、100 cm 的地表各生育期的日均蒸发量呈现的规律性(图 2、图 3)与距树干长 20 cm 的地表一致,其中 I<sub>2</sub> 条件下距离树干长 20、60、100 cm 的地表全生育期日均蒸发量比 I<sub>1</sub> 条件下平均减少了 23%、23%、27%。

由图 4 可以看出,I<sub>1</sub> 条件下坐果期、开花期、展叶期的日均蒸发量之间没有显著差异(P>0.05),膨大期、成熟期、落叶期两两之间差异显著(P<0.05),前 3 个生育期日均蒸发显著高于后 3 个时期(P<0.05);I<sub>2</sub> 条件下不同生育期日均蒸发量呈现的规律性与 I<sub>1</sub> 条件下的一致;I<sub>3</sub> 条件下坐果期和开花期的日均蒸发量没有显著差异(P>0.05),展叶期、膨大期、成熟期、落叶期两两之间差异显著(P<0.05),同样,I<sub>3</sub> 条件下前 3 个生育期的日均蒸发显著高于后 3 个时期(P<0.05)。



柱上不同小写字母、大写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。下同

图1 不同灌溉条件下幼龄红枣不同生育期距树干长20 cm的地表日均蒸发对比

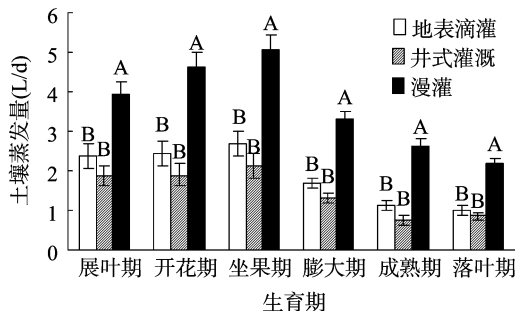


图2 不同灌溉条件下幼龄红枣不同生育期距树干60 cm的日均蒸发对比

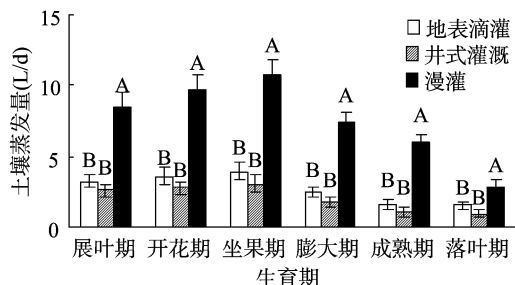


图3 不同灌溉条件下幼龄红枣不同生育期距树干100 cm的日均蒸发对比

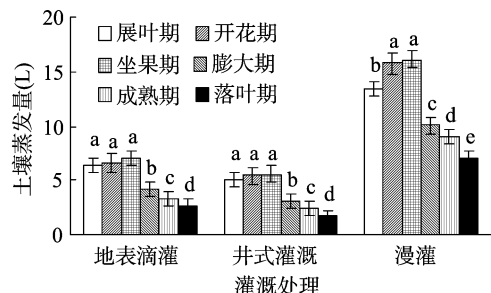


图4 不同灌溉条件下幼龄红枣全生育期日均蒸发变化

## 2.2 3种灌溉条件下幼龄红枣不同生育期蒸发总量比较

由图5可以看出,  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  条件下幼龄枣树在各生育期的蒸发强度一致表现为坐果期 > 开花期 > 展叶期 > 膨大期 > 成熟期 > 落叶期。根据2014年试验期间的气象资料分析, 其主要原因是坐果期是枣树幼果迅速生长阶段, 该阶段蒸腾旺盛, 为满足幼果生长, 灌水次数在全生育期中最多, 故该时期表层土壤含水量也高, 从而促进了土壤蒸发, 同时此阶段的气温日均值也达到了一年中的最大值( $27^\circ\text{C}$ ), 所以坐果期阶段的蒸

发总量最大, 3种处理下坐果期土壤蒸发总量均值分别为190.4( $I_1$ )、146.2( $I_2$ )、366 L/株( $I_3$ ); 开花期期间, 一方面枣树枝叶已大部分形成, 枣树蒸腾量较大, 另一方面枣树花量大, 如果水分供应不足, 枣树会出现焦花落花现象, 还会降低后期坐果率, 因此花期枣树需水量也较多, 且该阶段气温已升高, 太阳辐射平均值也达到了年内最大值( $410 \text{ W/m}^2$ ), 加速了土壤蒸发, 3种处理下开花期土壤蒸发总量均值分别为153( $I_1$ )、120.4( $I_2$ )、348.8 L/株( $I_3$ ); 展叶期期间, 由于大部分枣树枝叶还未形成, 枣园土壤裸露面积较大, 且该阶段大风天气较多, 风速的平均值达到年内最大( $0.337 \text{ m/s}$ ), 土壤蒸发强烈, 因此该阶段土壤蒸发总量也较大, 3种处理下开展叶期土壤蒸发总量均值分别为149.6( $I_1$ )、105.6( $I_2$ )、296.6 L/株( $I_3$ ); 膨大期期间, 由于该阶段枣树叶面积系数最大, 所以土壤裸露面积最小, 且该阶段气温、地温已逐渐降低, 因此土壤蒸发总量较小, 3种处理下果实膨大期土壤蒸发总量均值分别为105.5( $I_1$ )、75.4( $I_2$ )、249.7 L/株( $I_3$ ); 成熟期期间, 太阳辐射较小, 昼短夜长, 气温较低, 该阶段灌水量也少, 因此该阶段土壤蒸发量小, 3种处理下果实膨成熟期土壤蒸发总量均值分别为90.5( $I_1$ )、55.8( $I_2$ )、206.7 L/株( $I_3$ ); 落叶期, 该阶段日平均气温  $10^\circ\text{C}$ , 日均太阳辐射量达到全生育期最小值( $292 \text{ W/m}^2$ ), 因此落叶期的蒸发总量最小, 3种处理下落叶期土壤蒸发总量均值分别为76.4( $I_1$ )、43.8( $I_2$ )、111.7 L/株( $I_3$ )。

由图5还可看到,  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  条件下的不同生育期蒸发总量两两对比均差异极显著( $P < 0.01$ ), 土壤蒸发由大到小顺序为  $I_3 > I_1 > I_2$ 。

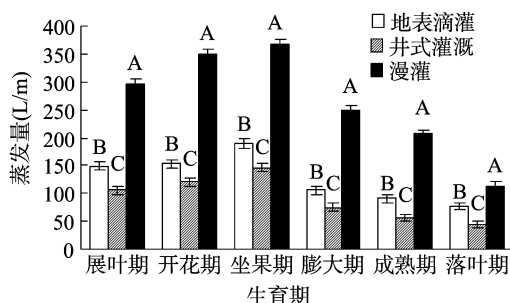


图5 不同灌溉条件下幼龄红枣不同生育期蒸发总量对比

## 2.3 3种灌溉条件下幼龄枣园全生育期土壤蒸发与主要气象因子的相关性分析

灌溉条件会影响枣园土壤蒸发大小, 同时, 土壤蒸发也受到太阳辐射、温度、风速、空气湿度等气象因子的影响<sup>[17]</sup>。表4为通过SPSS 17.5对  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  条件下幼龄枣园不同生育期蒸发量与气象因子的相关性分析结果, 可以看到  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  条件下不同生育期蒸发量与气象因子相关关系均一致, 表现为太阳辐射 > 风速 > 温度 > 相对湿度 > 降水, 其中相对湿度与幼龄枣园土壤蒸发呈负相关, 即相对湿度越大土壤蒸发量越小, 且  $I_1$  条件下太阳辐射、风速与土壤蒸发量呈极显著相关( $P < 0.01$ );  $I_2$  条件下太阳辐射与土壤蒸发量呈极显著相关( $P < 0.01$ ), 风速与土壤蒸发呈显著相关( $P < 0.05$ );  $I_3$  条件下太阳辐射、风速与土壤蒸发量均呈显著相关( $P < 0.05$ )。太阳辐射、风速、温度是影响幼龄枣树土壤蒸发的主要因素, 试验地年降水量稀少, 所以降水量对该试验影响很小。

表 4 不同灌溉条件下幼龄红枣不同生育时期蒸发量与主要气象因子的相关性

灌溉处理	统计指标	温度	辐射	风速	降水	相对湿度
I <sub>1</sub>	相关系数	0.710	0.976 **	0.932 **	0.093	-0.633
	显著性(双侧)	0.114	0.001	0.007	0.861	0.177
I <sub>2</sub>	相关系数	0.717	0.956 **	0.911 *	0.082	-0.643
	显著性(双侧)	0.109	0.003	0.012	0.877	0.168
I <sub>3</sub>	相关系数	0.767	0.913 *	0.895 *	0.286	-0.559
	显著性(双侧)	0.075	0.011	0.016	0.583	0.249

注:  $n=6$ ; “\*”表示显著相关( $P<0.05$ ), “\*\*”表示极显著相关( $P<0.01$ )。

3 结论与讨论

本试验通过分析比较全生育期幼龄红枣园 3 种灌溉条件下的地表土壤蒸发特性,结果表明,3 种灌溉条件下幼龄枣树整个生育期的土壤蒸发强度均一致,表现为坐果期 > 开花期 > 展叶期 > 膨大期 > 成熟期 > 落叶期;枣园灌溉方式的不同会直接影响到其土壤蒸发的大小,具体表现为不同灌溉条件下幼龄灰枣树在距离树干长 20、60、100 cm 的地表的各生育期日均土壤蒸发大小顺序均为  $I_3 > I_1 > I_2$ ;3 种灌溉条件下幼龄枣树不同生育期的平均蒸发总量大小为  $I_3 > I_1 > I_2$ ,故井式灌溉条件下的土壤蒸发量最小,而土壤蒸发属于田间无效耗水,不参与作物生长过程,造成了水资源的浪费,因此林木井式灌溉方法减少了田间无效消耗水量,提高了水分利用效率。

外界气象环境也会影响土壤蒸发,通过分析得出,太阳辐射、风速、温度是影响幼龄枣园土壤蒸发的主要因素,太阳辐射、风速和气温(值)越大,土壤蒸发也越大,反之则越小。

井式灌溉作为一种新的地下渗灌灌溉方式,与植物吸收根分布<sup>[18]</sup>相结合,将水分通过井管直接输送到植物主要根系分布区域,降低了地表土壤含水量,减少了土壤蒸发,有效解决了传统漫灌、地表滴灌等产生的无效耗水量大的问题<sup>[9]</sup>。在我国水资源严重缺乏的旱作区农林业灌溉中,井式灌溉应用空间非常广阔。

本试验所用 Micro-Lysimeter 制作材料、内径、长度以及封底情况可能对所测量的土壤蒸发大小均会有影响,但由于受试验客观条件的限制未能对实际测量的数值进行可靠性的验证;另外,由于幼龄枣树不同生育期灌水定额小,灌溉次数也多,因此测得的平均每株枣树的蒸发量可能要比实际蒸发偏大一些,这些都需要今后继续深入研究。

参考文献:

[1] 宋峰惠,吴正保,史彦江. 枣棉间作生态系统内根系和棉花产量分布及土壤养分时空变化[J]. 东北林大学学报 2012,40(1): 48-53.  
[2] 于 熙. 新疆特色林果种植面积 2200 万亩红枣、杏居全国首位

[EB/OL]. (2015-02-09) [2015-08-01]. [http://www.chinadaily.com.cn/dfpd/xj/2015-02/09/content\\_19529048.htm](http://www.chinadaily.com.cn/dfpd/xj/2015-02/09/content_19529048.htm).  
[3] 王 星. 新疆红枣产业调查[EB/OL]. (2014-09-10) [2015-08-01]. [http://news.ts.cn/content/2014-09/10/content\\_10505286.htm](http://news.ts.cn/content/2014-09/10/content_10505286.htm).  
[4] 阿布都卡迪尔·艾海提,乌斯曼·马木提,古丽木·阿不拉. 新疆干旱区骏枣丰产栽培技术研究[J]. 北方园艺,2008(4):44-45.  
[5] 史 册,范文波,朱红凯,等. 不同灌水量对尖果沙枣耗水特性及生长的影响[J]. 干旱区研究,2012,25(4):635-640.  
[6] 唐数红. 对新疆水问题的基本认识[J]. 干旱区研究,2010,27(5):657-662.  
[7] 胡安焱,魏光辉,董新光,等. 干旱区幼龄枣树滴灌耗水规律研究[J]. 人民黄河,2011,33(6):95-96,99.  
[8] 徐 迪,张 丹,孙东轩,等. 滴灌条件下日光温室“艳红”桃需水规律研究[J]. 节水灌溉,2010(7):27-31.  
[9] 陈素英,张喜英,陈四龙,等. 种植行距对冬小麦田土壤蒸发与水分利用的影响[J]. 中国农业生态学报,2006,14(3):86-89.  
[10] 李 宏. 林木井式节水灌溉方法:中国,ZL201210314848.2[P]. 2015-04-29.  
[11] 李 宏. 林木节水灌溉用竖井管:中国,CN202697416U[P]. 2013-08-30.  
[12] 孙宏勇,刘昌明,张永强,等. 微型蒸发器测定土面蒸发的试验研究[J]. 水利学报,2004(8):114-118.  
[13] 李王成,王 为,冯绍元,等. 不同类型微型蒸发器测定土壤蒸发的田间试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(10):6-13.  
[14] 张志刚,李 宏,李 疆,等. 地表滴灌条件下滴头流量对土壤水分入渗过程的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(4):53-58,84.  
[15] 柴仲平,王雪梅,孙 霞,等. 滴灌条件下枣树生育期长势与产量监测[J]. 节水灌溉,2012(4):8-10,14.  
[16] 唐 都. 南疆幼龄枣树需肥规律及合理施肥量的研究[D]. 阿克苏:塔里木大学,2014.  
[17] 王政友. 土壤水分蒸发的影响因素分析[J]. 山西水利,2003(2):26-27.  
[18] 李 宏,杨婵婵,郭光华,等. 幼龄期红枣根系生物量空间分布特征[J]. 中南林业科技大学学报,2013(5):59-64.