

# Research on Regulation Techniques of Soil Moisture in a Dense Jujube Plantation in Loess Hilly Region

Zhitong Wang, Lihong Wang, Zhihua Gao

Inner Mongolia Alashan Zuoqi Agriculture and Animal Husbandry Bureau, Zuoqi Inner Mongolia  
Email: 1071288413@qq.com

Received: Apr. 11<sup>th</sup>, 2017; accepted: Apr. 25<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

There are many researches on soil moisture deficit of artificial forest and grass in Semiarid Loess Hilly Area, but a few studies are focused on the recovery of soil moisture deficit in this region. In this study, 12 old mountain in Northern Shaanxi jujube forest planting of straw mulch and water retaining agent, a small amount of irrigation ditch, poly, dwarfing close planting, soil moisture reduced tree pruning measures under the experiment observation, combined with forest root investigation, study the controlling effect of several measures on soil moisture in jujube forest. Results showed that the soil water content depths under straw mulching, water-retaining agent and rainwater harvesting ditch treatments can reach 260 cm, 160 cm, and 300 cm, respectively, but the rainwater harvesting ditch has stronger effect on soil moisture regulation. Dwarf and dense planting jujube can shoal the rooting depths and reduce deep soil water deficit, while sparse planting jujube plantations have deeper root system. A little supplemental irrigation would promote jujube growth, but has little effect on soil moisture restoration. Transpiration water consumption of jujube can be effectively reduced by pruning trees to control specifications and lowering leaf area index, which is beneficial to soil water regulation. Combined applied water-saved pruning and rainwater harvesting ditch technique, dwarfed dense Jujube plantations would effectively regulate soil moisture in Semiarid Loess Hilly Areas. The study is significant to soil moisture ecological restoration as well as sustainable development of forestry.

## Keywords

Loess Hilly Area, Dense Jujube Plantation, Soil Moisture, Artificial Forest

---

# 黄土丘陵区枣林土壤水分调控技术研究

汪治同, 王莉红, 高志华

内蒙阿拉善左旗农牧局, 内蒙古 左旗

Email: 1071288413@qq.com

收稿日期: 2017年4月11日; 录用日期: 2017年4月25日; 发布日期: 2017年4月30日

## 摘 要

针对黄土丘陵半干旱区大面积人工林草地土壤干化严重问题, 而有关专门进行土壤水分亏缺的恢复试验研究缺乏的问题。本研究在陕北12龄山地密植枣林对秸秆覆盖、保水剂、聚水沟、少量补灌、矮化密植、缩小树体修剪措施下的土壤水分进行了定位试验观测, 并结合林地根系调查, 研究了多种措施对枣林土壤水分的调控作用。结果表明: 秸秆覆盖、保水剂、聚水沟措施可分别影响0~260 cm、0~160 cm、0~300 cm土层的土壤水分含量, 聚水沟措施具有更强的土壤水分调控功能; 稀植枣林由于根系深度超过矮化密植枣林根系, 从而增加了林地土壤深层水分亏缺; 少量补充灌水会促进树木生长, 而对土壤水分的恢复没有明显作用; 通过修剪控制树体规格降低叶面积指数可以较好地减小枣树蒸腾耗水量, 有利于土壤水分的调控, 是土壤水分调控的新途径; 研究认为在黄土丘陵半干旱区, 可以尝试在矮化密植枣林结合应用聚水沟技术以及根据当地降雨调控枣树产量的节水型修剪技术, 达到恢复土壤水分为目的的调控土壤水分手段。该研究对半干旱区旱作林草地土壤水分调控及可持续发展具有十分重要的意义。

## 关键词

黄土丘陵区, 密植枣林, 土壤水分, 人工林

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在黄土丘陵山区, 干旱缺水与水土流失并存是制约其植被建设和可持续发展的两大瓶颈, 也是导致该区生态环境脆弱的主导因素[1] [2] [3]。国家退耕还林(草)工程在黄土丘陵区获得了举世瞩目的生态景观效应[4]。但是, 几乎所有以往的研究都证明, 黄土高原半干旱区人工林(草)植被建设会造成当地土壤水分的亏缺, 随着人工植被生长年限的增加, 深层土壤干化加重[5]-[11]。因此, 规模宏大的退耕还林工程, 虽然使黄土高原地表景观生态和水土保持效益得到提升, 但是也加剧了人们对该区域林地土壤水分生态恶化和后续植被建造困难的担忧[12] [13] [14] [15] [16]。

黄土高原林草地的土壤水分一直是土壤与水文生态研究的热点[17]-[22], 特别是王志强等研究得出人工林造成土壤干化层可达到 20 m 以下, 认为人工林死后作为牧草地利用每年土壤水分恢复深度仅有 0.5~3.7 mm, 而作为农地利用土壤水分恢复深度也只有 15 mm [23] [24]。充分说明林草地土壤干化的严重性。总体看, 对黄土高原人工林地的土壤干化问题研究较多, 而以防止土壤干化和消除土壤干层为目标的研究未见报道。本研究拟计划根据近年来在陕北山地密植红枣林的试验资料对密植枣林地土壤水分的人为调控性进行讨论, 以期今后有更多针对林地土壤水分的恢复和调控方面的理论与技术研究。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

研究区域位于典型的黄土高原丘陵沟壑区陕西省米脂县孟岔村(119°49'E, 37°5'N)枣林中。研究区属

中温带半干旱性气候区，降雨量少且年内分布不均，年平均降雨量 450 mm，7~9 月降雨量占全年降雨量的 50% 以上，在研究期间，2012 年降雨 512.3 mm，2013 年降雨 521.6 mm，2014 年 1~8 月降雨 476.4 mm。研究区土壤属于粉质砂壤土，0~1 m 土壤容重平均为 1.30 g/cm<sup>3</sup>，1~5 m 土壤容重有所增加，平均为 1.31 g/cm<sup>3</sup>，田间持水量平均为 21.9%。土壤较为贫瘠，0~1 m 土层有效氮、磷、钾含量分别为 34.71、2.90、101.8 mg/kg，有机质质量分数为 2.1 g/kg，pH 值为 8.6。研究区所处的林区面积约 1 km<sup>2</sup>，由于多年来每年都有新增面积，所以研究区有各个年龄的成片枣林，本研究的枣林主要从 12 龄开始，植树密度为 2 m × 3 m，部分枣林有补灌条件，采用滴灌方式，每年生育期灌溉 3 次，每次灌溉 8~10 h，年灌水量约 24 L/株，林下经常除草保持地面无杂草生长。

## 2.2. 研究方法

研究主要是基于不同处理下的定位试验观测分析。试验包括枣林地覆盖保墒处理、聚水保墒沟处理、不同修剪强度处理、不同栽培方式(稀植枣林、密植枣林及密植枣林少量补灌)林地水分观测。试验地块选择 2012 年达 12 龄的枣林，同时具有相同坡向坡位，连片树木达百株以上的林地。每种处理试验周围开沟 2 m，在沟内埋入大棚顶覆盖用的塑料膜进行隔离，防止试验处理与周围的土壤水分流动交换，不同处理试验如图 1、图 2 所示。另外在试验附近选择坡耕地和不做覆盖处理林地同时测定土壤水分做对照分析，该样地不做隔离处理。

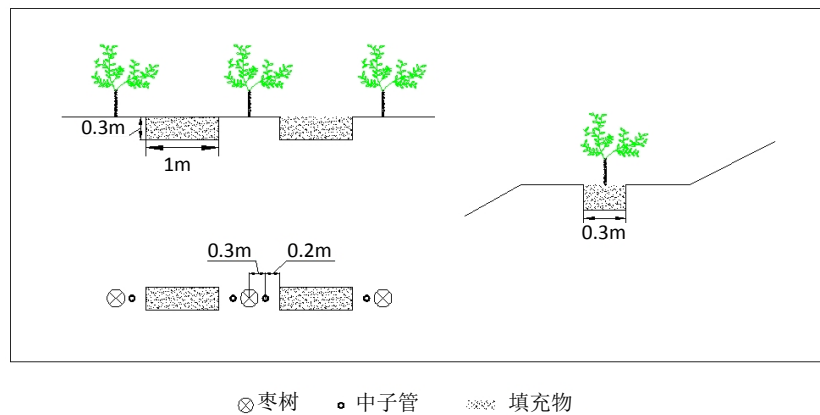


Figure 1. Set of gathering ditches and soil moisture measuring point

图 1. 聚水沟的布设及土壤水分测点位置

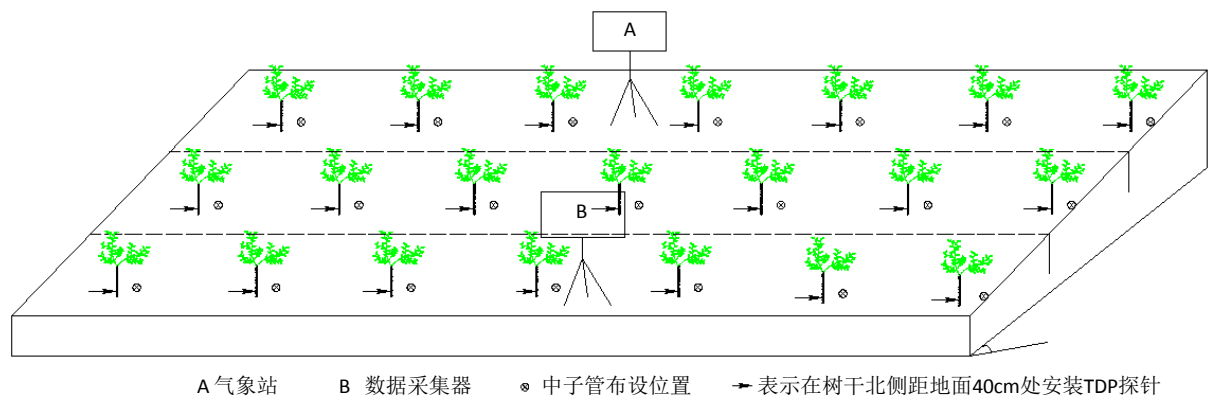


Figure 2. Jujube transpiration arrangement

图 2. 枣树蒸腾测定布置图

### 2.2.1. 覆盖保墒土壤水分试验

覆盖保墒试验包括碎树枝覆盖试验和保水剂应用试验。碎树枝长度在 2~5 cm, 覆盖厚度约 15 cm, 每种覆盖范围约 200 m<sup>2</sup>, 包括 33 棵树, 每种覆盖布设 2 个重复, 土壤水分测定点设在覆盖试验区的中部。保水剂应用试验包括 9 株树, 在枣树的株间和行间挖深度 100 cm 的沟, 长度 50 cm, 沟宽 40 cm, 然后将保水剂和土壤混合后填入沟内 20~100 cm 深度范围, 每年在春季 4 月份施入保水剂一次, 每次施入量与土壤比例为 1:20。土壤水分观测点设在施入保水剂的沟的中间位置, 采用中子管定位观测, 每 10 天测定一次, 测定深度为 300 cm。土壤含水量为体积含水量。

### 2.2.2. 聚水保墒土壤水分试验

2012 年 4 月份沿等高线方向, 在两株树的中间布设聚水沟, 规格为 100 cm × 30 cm × 30 cm, 沟内填埋长度约 10 cm 的树枝。2012 年 5 月开始测定土壤水分, 采用中子管测定, 测定深度为 300 cm, 设测点 5 个作为重复, 土壤含水量为体积含水量。聚水沟的布设及土壤水分测点的两个位置如图 1 所示, 两个测点的平均值代表聚水沟的土壤水分。

### 2.2.3. 不同栽培下的土壤水分观测

2012 年 4 月在上述试验地附近选定 12 龄枣林, 立地相似的稀植枣林、密植枣林及密植枣林少量补灌三块林地, 每块 200 m<sup>2</sup> 面积, 样地周边进行与上述试验相同的隔离处理, 2012 年 9 月采用洛阳铲调查了 3 种栽植方式下的枣林根系和土壤水分, 每块地取三个调查点, 测点深度 1000 cm, 每隔 20 cm 取一个样。稀植枣林株行距为 4 × 5 m, 密植枣林株行距为 2 × 3 m, 密植枣林少量补灌, 每次灌水时间为 8~10 小时, 每年灌水总量约 24 L/株, 即试验区控制量为 8 L/株, 每年灌水 3 次。

### 2.2.4. 枣树生长测定

主要监测不同处理下枣树当年的生长情况, 所测枣树包括 9 棵有补灌的枣树和 9 棵无补灌的枣树, 属于栽培管理方式对土壤水分的影响。主要测定指标有: 距离地面 50 cm 高度的树干直径的新增茎粗、当年树的新增垂直高度、新增冠幅、新增枝条长度、单株平均产量, 其中新增垂直高度、新增冠幅和新增枝条长度等于 2012 年 9 月实测值加上当年修剪去除的长度之和。生长指标监测时间为 2012 年和 2013 年。土壤水分含量在 2012 年 9 月采用土钻取样烘干法测定(土钻只有在是指稀植、密植和密植补灌三个样地配合根系取样调查采用, 中子仪是在其他定位观测点长期测定中使用), 测点重复 5 次。

### 2.2.5. 根系测定

林地根系测点选择株行距的中央位置, 即四株树中间处。每个样地测定三个点, 即三个重复, 将稀植、密植和密植补灌三个样地取根位置的根样求得平均值, 换算为单位体积(m<sup>3</sup>)土体内的根重。根系测定采用洛阳铲取根, 经过筛网结合水冲洗, 选出根直径小于 5 mm 的根系, 再烘干称重, 得到根系干重。本试验选用的洛阳铲获得的土芯直径为 16 cm。

### 2.2.6. 枣树蒸腾耗水测定

对选择的观测树进行不同强度的树冠修剪处理, 尽量保持同一处理的树冠规格不变, 每周用加拿大 REGENT INSTRUMENTS INC 公司生产的 WinsCanopy2005a 冠层分析仪监测冠层郁闭度、叶面积指标以便分析与树体蒸腾耗水量的关系。为探索林地少量补灌对林地土壤水分的影响, 在选取的 21 株梨枣树干北侧, 距离地表 40 cm 处各安装一组热扩散式探针(Thermal Diffuse Probe)(如图 2), 利用 CR1000 数据采集器, 每 10 min 收集一次瞬时树干液流速率, 并结合测定的树干导水面积(边材面积)计算树体的蒸腾耗水[25]。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 不同保水措施对土壤水分的调控

前期研究证明枣林地土壤水分逐月变化明显,且每年有重复的规律,其中经过雨季后9月属于一年中土壤水分最高的月份[26]。我们选取连续三年的9月土壤水分以比较几种保墒措施下最好结果。经过2012年9月、2013年9月和2014年8月连续3个年份测定3种保水措施和对照枣林及山坡农地0~300 cm土层深度的土壤水分,用各处理3年平均土壤体积含水量作图3反映不同保水措施对土壤水分的调控效果。

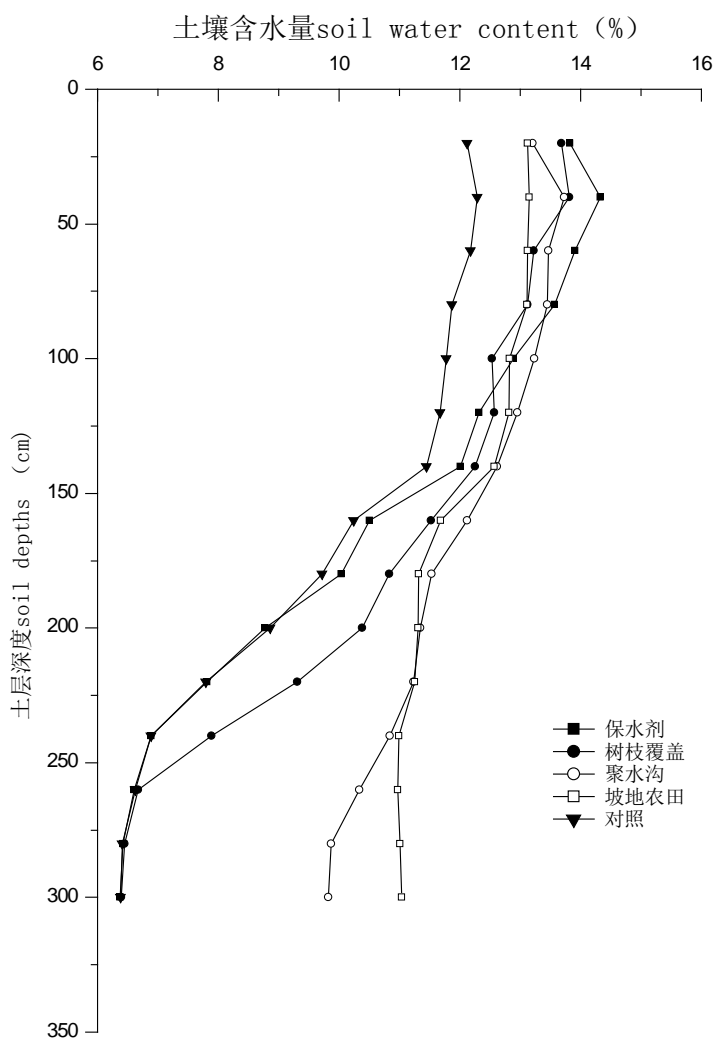
由图3可见,与对照相比,碎树枝覆盖、保水剂、聚水沟三种措施下的土壤水分均有提高,即不同保水措施对不同深度土层的土壤水分有一定的调控作用,但是调节作用不同。与对照比较,保水剂约在170 cm深处与对照土壤水分线相交后重合,表明保水剂可以提高0~170 cm土壤层次的水分;碎树枝覆盖对照比较,在260 cm深处与对照土壤水分线相交后重合,表明碎树枝覆盖后可以提高0~260 cm土壤层次的水分;聚水沟土壤水分与对照比较显示出在测定范围的0~300 cm土壤层次内都较高,表明聚水沟措施可以提高超过300 cm深度的土壤水分,聚水沟对土壤水分的调控效果明显好于保水剂处理和碎树枝覆盖处理。农地土壤水分常常用来分析林地土壤水分亏缺程度,这里聚水沟处理的土壤水分在0~230 cm范围高于农地,也再次说明聚水沟措施能够提高土壤水分的能力较强。保水剂的主要影响范围与其使用深度有关,而且使用保水剂后遇到降雨入渗时,在保水剂存在层吸收大量水分,形成一个相对高水分层,不利于土壤水分的下渗,所以土壤水分只能在施入保水剂附近一个较小范围得到提升;地表覆盖碎树枝后不会对土壤水分的下渗产生阻碍作用,因此其水分下渗深度大于保水剂措施的,但碎树枝对地表径流的拦蓄作用小于聚水沟,遇到大雨或暴雨产生超渗径流时还是有地表径流发生,也就是会有一部分降雨不能入渗到土壤下面;而聚水沟有较好的拦蓄雨水和径流的作用,不但可以接受全部降雨就地入渗,而且可以拦蓄坡上部的径流,还有其沟底在距离地表30 cm深度位置,也有利于土壤水分向更深处运移,所以较其他措施更能使较多的水分下渗,从而具有更强的土壤水分调控功能。

为了解方差分析即用数学方法证明各层次土壤水分存在的显著性,做表1来做比较。从表1可以看出,在保水剂,树枝覆盖,聚水沟三种不同处理下,土壤水分均有不同程度的提高(与对照相比),聚水沟 > 树枝覆盖 > 保水剂。施用保水剂后,300 cm内土壤含水量的变化在0~140 cm与对照呈显著水平( $P < 0.05$ ),而在140 cm以下,差异不显著( $P > 0.05$ ),说明保水剂对140 cm以上的土壤起到一定的保水作用,而对140 cm以下的土壤含水量几乎没什么影响;树枝覆盖在0~260 cm以内与对照差异性显著( $P < 0.05$ ),在260 cm以下,则差异不显著( $P > 0.05$ ),说明采取树枝覆盖的措施后,对土壤水分的影响更深,能够达到260 cm,较保水剂相比,更能起到保水的作用,这个结果与图3所示结果相同;聚水沟和农田与对照相比,在300 cm以内差异显著( $P < 0.05$ ),说明聚水沟和农田相似,能够有效的提高300 cm内土壤含水量,且影响深度超过300 cm。

#### 3.2. 不同栽植方式对枣树根系深度的调控

栽植方式不同,适宜枣树生长的空间不同,枣树地上部和地下部的生长均会受到影响;而根系的伸长深度会影响到对深层土壤水分的利用。本研究在2012年9月,实地调查了3种栽植方式——包括自然旱作条件下的稀植(株距4~5 m)、旱作矮化密植(株距2~3 m)、生长季节有3次补灌(滴灌)约24 L/株的12年生枣林根系生长情况,结果如图4所示。

由图4可见,相同树龄的稀植枣林(600株/ha)根系深度较密植枣林(1665株/ha)根系深度超出约260 cm,而有补灌的密植枣林根系比旱作密植枣林根系的深度稍浅,本次调查约小40 cm。在根系调查深度



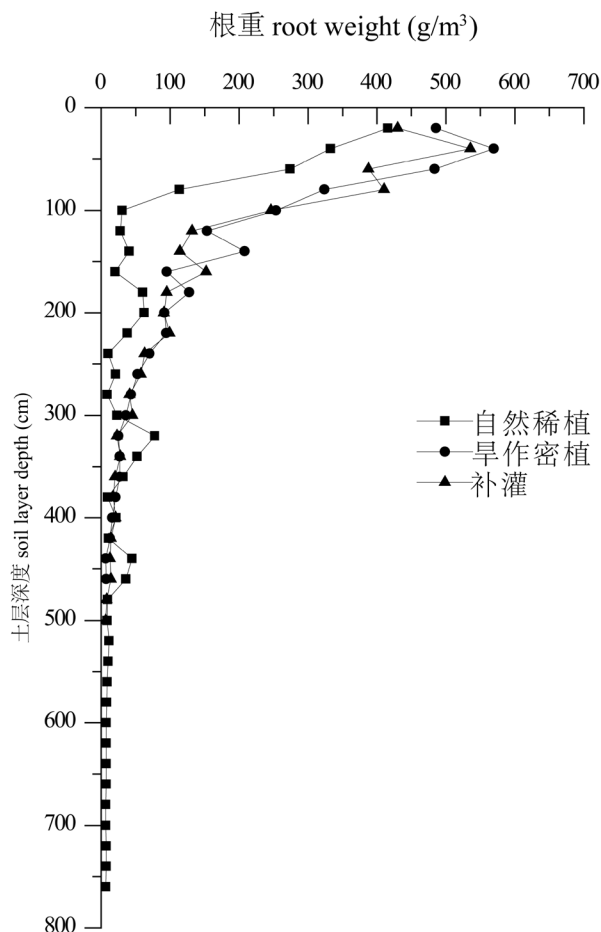
**Figure 3.** Soil moisture distribution in jujube forest under several mulching  
**图 3.** 几种覆盖保墒下枣林地土壤水分分布

**Table 1.** Significance analysis of soil water in different water-saving treatments

**表 1.** 不同保水措施对土壤水分的显著性分析

土层深度 (cm)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
保水剂	13.82a	14.33a	13.91a	13.57a	12.89b	12.32b	12.21ab	10.5c	10.04bc	8.78c	7.81c	6.89c	6.61c	6.42c	6.37c
树枝覆盖	13.68a	13.81b	13.22bc	13.12b	12.53c	12.25ab	12.45a	11.52b	10.83ab	10.38b	9.31b	7.89b	6.67c	6.45c	6.39c
聚水沟	13.21b	13.73b	13.47b	13.45a	13.23a	12.95a	12.62a	12.12a	11.53a	11.35a	11.23a	10.84a	10.34b	9.87b	9.82b
对照	12.12c	12.29d	12.18d	11.87c	11.78d	11.67c	11.15b	10.24c	9.72c	8.86c	7.79c	6.89c	6.63c	6.41c	6.38c
坡地农田	13.12b	13.15c	13.12c	13.11b	12.82b	12.81a	12.5a	11.68b	11.32a	11.31a	11.25a	10.99a	10.97a	11.01a	11.04a

注：表中数据为 3 次重复的平均值，在同一列中用不同的字母 a,b,c,d 表示 LSD 检验中，各分类土层中土壤含水率之间的差异显著( $P < 0.05$ )。



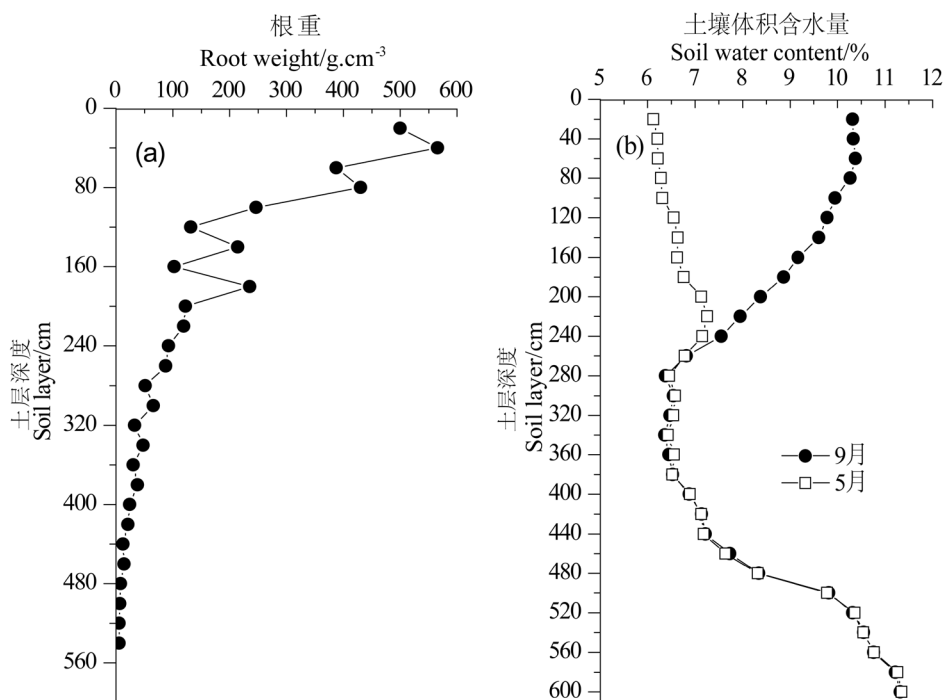
**Figure 4.** Comparison of jujube forest roots in different planting model of sparse-dry, close-dry and close-irrigating

**图 4.** 稀植旱作、密植旱作、补灌密植枣林根系对比

范围，根系密度是每单位体积土壤中的根系总重量，根系密度总和是稀植枣林最小为 1938.87 g，有补灌和旱作条件下的密植矮化枣林根系密度总和分别为 3249.38 g 和 3076.9 g。这个结果证明，矮化密植枣林根系消耗土壤水分的深度较传统稀植枣林要浅，而根系重量密度表现为矮化密植枣林大于稀植枣林。这也说明，矮化密植措施具有对枣树根系调控的作用，主要作用为降低了枣林根系深度，而对根系重量密度起到了促进作用。补灌矮化密植枣林根系深度较旱作稍浅，主要是采用滴灌，灌水只有 3 次，每次约 8L/株，灌水量也较小，如果灌水次数能增加，则对枣林根系深度还会进一步降低。所以，我们认为灌溉也是一项对根系具有调控作用的措施，这一特点值得我们研究并将林地补灌与消除土壤干化结合考虑，在有土壤干化问题的区域灌水不仅仅要考虑产量目标，也要考虑土壤干化这个生态问题。有关的作用机理和量化指标十分值得研究。

### 3.3. 密植栽培枣林垂直根系与土壤水分

树木通过根系吸收和消耗土壤水分[27]-[32]，根系的生长受到周围土壤水分的影响；反之，土壤水分的变化情况亦可通过根系的生长情况反映出来。为了解密植枣林根系和林地土壤水分间的关系，我们于 2012 年 9 月对 12 年生密植枣林土壤水分监测点附近的根系进行了调查，将 12 年生密植枣林根系作图 5(a)，再选取当地土壤水分最低的 5 月和土壤水分最高的 9 月作图 5(b)。



**Figure 5.** Distribution of vertical roots and soil water in jujube forest  
**图 5.** 枣林垂直根系与土壤水分分布

比较分析图 5(a)和图 5(b)可以得出,12 年生密植枣林在根层范围的土壤水分在 5 月份最低值接近 6%,根系耗水深度达 540 cm,根系在土壤中随着深度的增加而减少,在根系接近消失的深度位置土壤水分耗水较少,根系未达到的土层土壤水分保持高值。

由图 5(b)还可以看出,大约在 0~200 cm 土层是根系最多的范围,也是当年降雨可以达到的深度;在 5 月份土壤水分处于最低值时,这个范围的土壤水分达到根系层土壤水分的最低值,经过一个雨季,到了 9 月份 0~200 cm 土层土壤水明显回升。从土壤水分的周期变化看,密植枣林 0~200 cm 土层的根系耗水和降雨补水形成一种季节性互动关系;也就是说,在雨季土壤水分补给大于根系耗水,雨季后还会表现为根层耗水增加土壤水分降低的过程。虽然,0~200 cm 土层的土壤水分经过雨季可以得到一定程度的恢复,在此期间 0~200 cm 土壤水分处于一个高值,但是 5 月份该层次土壤水分与 200 cm 以下土壤水分相近,说明每年的全部有效降雨入渗到土壤中的水分基本被该层内的根系消耗完,所以根系在此范围消耗的水分是最多的。

12 年生密植枣林根系耗水可分为三层,0~200 cm 是根系耗水主要层,该层由于根系耗水,和降雨补充土壤水分呈现季节性波动;200~440 cm 根系耗水形成的土壤水分稳定层,该层土壤水分由于根系吸收降低到接近 6% 水平,降雨很难达到该层,根系也很难继续吸收土壤中的水分,所以保持一个稳定的土壤水分值;440~540 cm 是根系轻度消耗土壤水分层,该层根系稀少,相对消耗土壤水分较少。总体来看,根系数量和根系达到的深度是影响土壤水分含量的重要因素,所以,根系调控土壤水分要从调控根系深度或者数量出发。当然,土壤水分降低也有土壤蒸发的作用,土壤蒸发作用多大还有待研究确定。

### 3.4. 补充灌溉对土壤水分的调控

众所周知,灌溉能有效补充土壤水分,关于少量补灌对土壤水分影响方面的研究很多[33] [34] [35] [36] [37],但这些研究对土壤干层和土壤水分的调控作用未见报道。我们在 2012 年 9 月,用土钻取样烘



干法分别调查了有补灌和无补灌的 12 年生矮化密植枣林 0~300 cm 土层的土壤水分含量, 研究有灌溉和无灌溉条件对土壤水分的影响(图 6)。

由图 6 可见, 在矮化密植枣林, 有无灌溉条件下的土壤水分含量基本一样, 补灌措施没有使土壤水分得到明显提升。究其原因, 可能是目前采取的滴灌方式和灌溉制度不能给尚处于严重缺水的林地土壤充分补水, 供给的少量水分只能弥补枣树生长所需的部分水分, 所以由滴灌方式补给的少量水分优先被枣树生长吸收利用并消耗, 优先促进了枣树的生长, 而对土壤中的水分含量并没有明显的提升。

无灌溉条件下的 18 棵 7 年生枣树的生长情况见表 2。在 2012 年生育期, 有补灌的枣树各个生长指标都高于无灌溉下的枣树, 说明补充灌溉能明显促进枣树的生长发育, 提高枣果产量。

### 3.5. 修剪强度对枣树蒸腾耗水的调控

树木有很强的蒸腾耗水作用, 而蒸腾由叶片完成[38] [39] [40] [41] [42]。我们 2012 和 2013 年通过对 21 棵枣树进行人工修剪控制树冠形状, 并连续观测树干茎流。对每棵树在整个生育期的累计耗水量与枣树生育期内的最大叶面积进行回归分析, 作图 7。

由图 7 可知, 在枣树生育期, 其蒸腾耗水量和叶面积间存在较为明显的正相关关系, 2012 和 2013 年的决定系数  $R^2$  分别达到了 0.87 和 0.75。随着树体叶面积的增加, 蒸腾耗水量逐渐增大, 叶面积为 3000  $\text{cm}^2$  时, 蒸腾耗水量仅为约 80 mm, 当叶面积增大到 25,000~27,000  $\text{cm}^2$  的时候, 蒸腾耗水量达到约 500 mm。两年生育期总蒸腾均在 80~500 mm 之间波动。据此, 可以通过修剪控制枣树总叶面积大小来控制枣树蒸腾耗水量, 从而减少枣树对土壤水分的消耗, 即使在不能补充灌水的条件下仍能达到对土壤水分的调控。

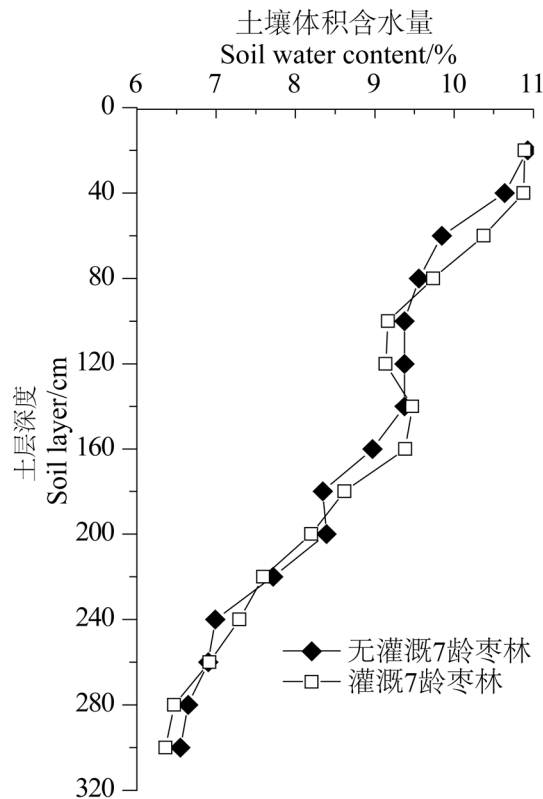
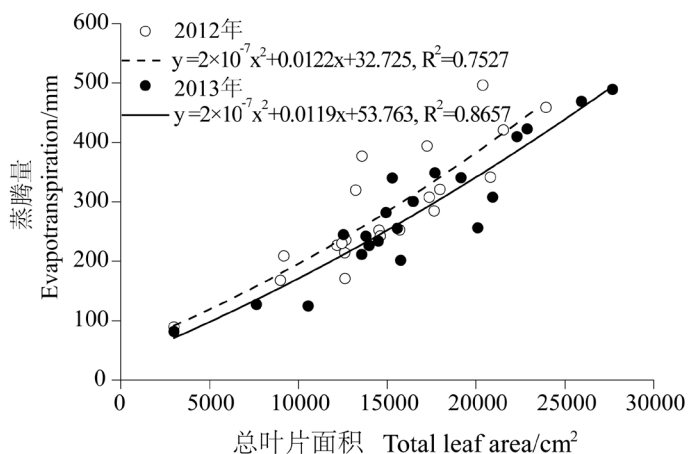


Figure 6. Soil water under the conditions of irrigated and no-irrigate

图 6. 有无补灌条件下的土壤水分状况

**Table 2.** Effects on jujube growth in close-planting forest with irrigation or no irrigation**表 2.** 有无补灌对密植枣树生育期生长的影响

项目 Items	新增茎粗 New stem diameter/cm	新增高度 New height/cm	新增冠幅 New crown/cm	新增枝长累计 Length of cumulative branch/cm	单株平均产量 Average yield per plant/Kg/株	备注 Note
有补灌 Irrigation	1.23 ± 0.34	274 ± 35	215 ± 33	2446 ± 153	12.64 ± 2.64	9 株树平均值 Average yield of 9 trees
无灌溉 No irrigation	1.15 ± 0.25	227 ± 30	195 ± 34	2397 ± 148	10.86 ± 2.42	9 株树平均值 Average yield of 9 trees
差值 Difference value	0.08	47	20	49	1.78	

**Figure 7.** Relationship between the leaf area and the transpiration water consumption of jujube**图 7.** 枣树叶面积与蒸腾耗水量关系

#### 4. 结论与讨论

碎树枝覆盖、保水剂、聚水沟这 3 项措施都有一定的保水作用，均能在一定深度不同程度地增加土壤水分。其中，聚水沟措施对土壤水分的影响深度最大，可超过 300 cm；其次是碎树枝覆盖，对 200 cm 以下土壤水分影响明显；保水剂则主要与其施入深度有关，本试验影响深度为 0~160 cm 土层的土壤水分。在具体应用中，可以根据土壤水分调控深度目标来选择相应的施入保水剂的深度。

矮化密植技术会使枣林根系深度降低，从而减少了对深层土壤水分的吸收利用，所以矮化密植技术也是一项有效的土壤水分调控技术。这项技术过去没有被人们重视，所以也未见报道。受矮化密植枣林根系较同龄的稀植枣林浅启示，我们开展了不同强度修剪树冠的处理并进行了树木蒸腾观测，定位观测证明不同强度的树冠修剪对蒸腾耗水有很强的调控作用，我们由此提出节水型修剪技术，即通过树体修剪控制树冠规格，进而控制树叶总面积大小，从而达到减少树木蒸腾耗水的目的，因此采用节水型修剪是进行土壤水分调控的可行的技术路线。

有条件的地方，可以实施灌溉措施来调控土壤水分，但是在半干旱区如果灌溉水量不充足时，补充的少量灌水首先会被树木吸收用于生长消耗，而不能对土壤水分的恢复起到作用。

综上所述,多种技术都有调控土壤水分的作用,但是如何有效应用或者综合应用各种技术来达到调控土壤水分的研究还十分薄弱,特别是针对消除林草地土壤水分干层的研究需要引起人们足够的重视。在黄土丘陵半干旱地区,可以尝试在矮化密植枣林结合应用节水型修剪与聚水沟技术,在有效控制枣林蒸腾耗水的同时,使得深层土壤水分减少亏缺甚至提高,从而达到调控土壤水分的目的。关于几种措施的综合应用技术与机理仍需进一步的研究探讨。

## 基金项目

陕西统筹项目:陕北风沙区设施枣树节水提质增效技术研究(2016KTZDNY-01-05)。

## 参考文献 (References)

- [1] Wu, P., Wang, Y.K., Xing, X.G. and Zhu, D.L. (2008) Integration and Demonstration of the Date Micro-Irrigation Technology in the Hilly of Shanbei. *Agricultural Research in the Arid Areas*, **26**, 1-6.
- [2] Shi, N.H. (1985) Discussion the Gully and Water on the Loess Plateau. *Journal of Chinese Historical Geography*, **1**, 341-375.
- [3] Xu, X.X. (2001) Soil Water Resources and Its Bearing Capacity of Vegetation on Loess Plateau: Yangling. Northwest A&F University, Xianyang.
- [4] Chen, L.D., Wei, W., Fu, B.J. and Lü, Y.H. (2007) Soil and Water Conservation on the Loess Plateau in China: Review and Perspective. *Progress in Physical Geography*, **31**, 389-403.  
<https://doi.org/10.1177/0309133307081290>
- [5] Yang, W.Z. and Li, B.C. (1982) The Scientific Experiment Problem of Soil and Water Conservation on Loess Hilly Area of Northern Shaanxi. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, **6**, 15-20.
- [6] Yang, W.Z. (1983) Development of Forest, Grassland and Dry Farming on Loess Hilly Area of Northern Shaanxi. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, **6**, 58-63.
- [7] Li, Y.S. (1983) The Properties of Water Cycle in Soil and their Effect on Water Cycle for Land in the Loess Region. *Acta Ecologica Sinica*, **3**, 91-101.
- [8] Fu, J., Hao, M.D. and Shao, M.A. (2004) Water Consumption of Deep Soil Layers and Eco-Environmental Effects of Agricultural Ecosystem in the Loess Plateau. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **20**, 61-64.
- [9] Cheng, H.S., Shao, M.A. and Wang, K.L. (2005) Desiccation of Deep Soil Layer and Soil Water Cycle Characteristics on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, **25**, 2491-2498.
- [10] Cao, Y., Li, J., Zhang, S.H., Wang, Y.L., Cheng, K., Wang, X.C., Wang, Y.L. and Tahir, M.N. (2012) Characteristics of Deep Soil Desiccation of Apple Orchards in Different Weather and Landform Zones of Loess Plateau in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **28**, 72-79.
- [11] Zhang, C.C., Shao, M.A. and Wang, Y.Q. (2012) Spatial Distribution of Dried Soil Layers under Different Vegetation Types at Slope Scale in Loess Region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **28**, 102-108.
- [12] Cao, S.X., Wang, G.S. and Chen, L. (2010) Questionable Value of Planting Thirsty Trees in Dry Regions. *Nature*, **465**, 31. <https://doi.org/10.1038/465031d>
- [13] Chen, H.S., Shao, M.A. and Li, Y.Y. (2008) Soil Desiccation in the Loess Plateau of China. *Geoderma*, **143**, 91-100.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.013>
- [14] Wang, Y.Q., Shao, M.A. and Liu, Z.P. (2013) Vertical Distribution and Influencing Factors of Soil Water Content within 21-M Profile on the Chinese Loess Plateau. *Geoderma*, **193**, 300-310.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.011>
- [15] Shukla, J. and Mintz, Y. (1982) Influence of Land-Surface Evapotranspiration on the Earth's Climate. *Science*, **215**, 1498-1501. <https://doi.org/10.1126/science.215.4539.1498>
- [16] Liu, J.G. and Diamond, J. (2005) China's Environment in a Globalizing World. *Nature*, **435**, 1179-1186.  
<https://doi.org/10.1038/4351179a>
- [17] Yang, W.Z. (1992) Discussion on the Problem of Eco-Environmental Construction on the Loess Plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, **12**, 1-8.
- [18] Yang, W.Z., Shao, M.A., Peng, X.D. and Xia, W.S. (1998) The Relationship between Water and Drought Environment on the Loess Plateau. *Science in China (Series D)*, **28**, 357-365.

- [19] Yang, W.Z. and Tian, J.L. (2004) The Exploration of Soil Desiccation Problem on the Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 41, 1-6.
- [20] Cheng, H.S., Wang, K.L. and Shao, M.A. (2005) A Review on the Effect of Vegetation Rehabilitation on the Desiccation of Deep Soil Layer on the Loess Plateau. *Cientiasilvaesinicae*, 41, 155-161.
- [21] Guo, Z.S. and Shao, M.A. (2003) Soil Water Carrying Capacity of Vegetation and Soil Desiccation in Artificial Forestry and Grassland in Semi-Arid Regions of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 23, 1640-1647.
- [22] Wang, Z.Q., Liu, B.Y. and Lu, B.J. (2003) A Study on Water Restoration of Dry Soil Layers in the Semi-Arid Area of Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 23, 1944-1950.
- [23] Wang, Z.Q., Liu, B.Y., Liu, G. and Zhang, Y.H. (2009) Soil Water Depletion Depth by Planted Vegetation on the Loess Plateau. *Science in China: Earth Sciences*, 52, 835-842. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0087-y>
- [24] Wang, Z.Q., Liu, B.Y., Wang, X.Y. and Hang, Y.F. (2007) Soil Water Restoration of Different Land Use after Artificial Forest in the Semi-Arid Area of Loess Plateau. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 23, 77-83.
- [25] Wei, X.G. (2014) Law of Rainfed Jujube Tree Transpiration and Water-Saving Control Strategy at Semiarid Hilly Areas of the Loess Plateau. Northwest A&F University, Xianyang.
- [26] Jin, S.S., Wang, X., Wang, Y.K. and She, T. (2016) Effects of Typical Mulching Patterns on Soil Water Loss in Jujube Land during Dormancy Period. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32, 153-160.
- [27] Shan, C.J. and Liang, Z.S. (2006) Relationship between Root Distribution of Locust Plantation and Soil Water in the Loess Plateau. *Journal of Central South Forestry University*, 26, 19-22.
- [28] Zhao, Z., Cheng, X.R., Xue, W.P., Wang, D.H. and Yuan, Z.F. (2006) Difference of Fine Root Vertical Distribution of Robinia pseudoacacia under the Different Climate Regions in the Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 42, 1-7.
- [29] Silva, E.V., Bouillet, J.P., Gonçalves, J.L.M., Junior, C.H.A., Trivelin, P.C.O., Hinsinger, P., Jourdan, C., Nouvellon, Y., Stape, J.L. and Laclau, J.P. (2011) Functional Specialization of Eucalyptus Fine Roots: Contrasting Potential Uptake Rates for Nitrogen, Potassium and Calcium Tracers at Varying Soil Depths. *Functional Ecology*, 25, 996-1006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01867.x>
- [30] Kizito, F., Dragila, M., Sène, M., Lufafa, A., Diedhiou, I., Dick, R.P., Selker, J.S., Dossa, M., Kouma, M., Badinae, A. and Ndiaye, S. (2006) Seasonal Soil Water Variation and Root Patterns between Two Semi-Arid Shrubs Co-Existing with Pearl Millet in Senegal. *West Africa Journal of Arid Environments*, 67, 436-455. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.021>
- [31] Nepstad, D.C., Carvalho, C.R.D., Davidson, E.A., Jipp, P., Lefebvre, P.A., Negreiros, G.H., Silva, E.D., Stone, T.A., Trumbore, S.E. and Vieira, S. (1994) The Role of Deep Roots in the Hydrological and Carbon Cycles of Amazonian Forests and Pastures. *Nature*, 372, 666-669. <https://doi.org/10.1038/372666a0>
- [32] Wang, Z.Q., Liu, B.Y. and Zhang, Y. (2009) Soil Moisture of Different Vegetation Types on the Loess Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 19, 707-718. <https://doi.org/10.1007/s11442-009-0707-7>
- [33] Tang, M. (2003) Application of Surge Irrigation Technology. *Water Saving Irrigation*, 6 24-26.
- [34] Li, M.S., Kang, S.Z. and Sun, H.Y. (2006) Relationships between Dripper Discharge and Soil Wetting Pattern for Drip Irrigation. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 22, 32-35.
- [35] Li, P.H., Wang, Y.K., Ma, L.H., Zhao, Y.N. and Duan, X.S. (2009) Study on Eigenvalues of Wetted Soil under Surge Root Irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 23, 190-194.
- [36] Cheng, H.J., Wang, Q.J., Bai, Y.G., Cai, J.S. and Zeng, C. (2010) Influence of Line Source Length of Vertical Line Source Irrigation on Wetted Soil Change Characteristics. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 32-37.
- [37] Zhao, W.X., Zhang, Z.H., Cai, H.J. and Xie, H.X. (2010) Characteristic Parameters of Soil Wetted Volume under Indirect Subsurface Drip Irrigation. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 87-92.
- [38] Guo, M.X., Bi, H.X., Liu, X., Li, J., Guo, C.Y. and Lin, J.J. (2006) Review on the Water Consumption of Tree Transpiration. *Science of Soil and Water Conservation*, 4, 114-120.
- [39] Chen, R.S., Kang, E.S., Zhao, W.Z., Zhang, Z.H., Yang, J.P. and Zhang, J.S. (2004) Trees Transpiration Response to Meteorological Variables in Arid Regions of Northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 24, 477-485.
- [40] Kong, J.J., Jia, L.M. and Li, G.D. (2007) Advances in the Researches of Exterior Effect Factors on Tree Water Consumption. *World Forestry Research*, 20, 16-21.
- [41] Wang, M.B., Li, H.G., Chai, B.F. and Feng, C.P. (1999) A Comparison of Transpiration, Photosynthesis and Transpiration Efficiency in Four Tree Species in the Loess Region. *Acta Phytoecologica Sinica*, 23, 401-410.
- [42] Chen, L.X., Li, Z.D., Zhang, Z.Q., Zhang, W.J., Zhang, X.F., Dong, K.Y. and Wang, G.Y. (2009) Environmental Responses of Four Urban Tree Species Transpiration in Northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20, 2861-2870.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)