# 在腾格里沙漠东南缘应用沙漠造林器栽植柠条的试验研究

唐希明[1]，李敏岚[2]，屈建军[3]，宋乃平[2]，孟 晨[2]

（1.中卫市自然资源局中卫市治沙林场，宁夏 中卫 7550001；2.宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地，宁夏 银川 750021；3.中国科学院西北生态环境资源研究院 敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站/沙漠与沙漠化重点实验室，甘肃 兰州 730000）

**摘 要**：[目的] 探究在腾格里沙漠东南缘应用沙漠造林器栽植苗木的保水效果，观测其沙漠造林器是否更有利于苗木成活，同时为提高沙漠地区苗木栽植成活率提供科学支持。[方法] 通过采用对比两种栽植方式（铁锹和沙漠造林器）下不同土层土壤含水量，并使用相应公式计算，从土壤有效含水量、土壤水分亏缺程度、土壤水分变异系数等方面进行综合分析，评定哪种栽植方式更好。[结果] ①在草方格内进行人工栽植，采用沙漠造林器会大大降低各土层土壤水分的损耗风险，并且造林器作用下的土壤含水量均高于铁锹，最高达 1.42 倍，最低是 1.04 倍。②两种栽植方式深度不同，以致柠条根系所在土层不同，进而对水分的利用策略不同。铁锹组柠条主要利用 15—40 cm 土层土壤水，造林器组柠条主要利用 20—50 cm 土层土壤水。造林器组柠条根系所对应的土层土壤水分亏缺程度较轻，更有利于柠条的初期生长。③铁锹栽植苗木成活率为 45%～55%，沙漠造林器栽植苗木成活率为 70%～75%，提高了 25%左右。沙漠造林器栽植苗木成活率更高。[结论] 从土壤水分保持以及对应的所栽柠条成活率等方面综合来看，相比铁锹栽植，使用沙漠造林器栽植柠条效果更好。

**关键词**：栽植方式；沙漠造林器；土壤水分；腾格里沙漠

**文献标识码**：B **文章编号**：1000-288X(2021)02-0135-07 **中图分类号**：S728.3

**文献参数**：唐希明，李敏岚，屈建军，等.在腾格里沙漠东南缘应用沙漠造林器栽植柠条的试验研究[J].水土保持通报，2021，41(2)：135-141.DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.018；Tang Ximing，Li Minlan，Qu Jianjun，et al. Cultivation of *Caragana korshinskii* in southeastern edge of Tengger Desert [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2021，41(2)：135-141.

# Cultivation of *Caragana Korshinskii* in Southeastern Edge of Tengger Desert

Tang Ximing[1]，Li Minlan[2]，Qu Jianjun[3]，Song Naiping[2]，Meng Chen[2]

（1.*Zhongwei City Sand Control Forest Farm，Zhongwei City Natural Resources Bureau，Zhongwei，Ningxia* 755000，*China*；2.*Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education，Ningxia University，Yinchuan，Ningxia* 750021，*China*；3.*Dunhuang Gobi and Desert Ecology and Environment Research Station/Key Laboratory of Desert and Desertification，Northwest Institute of Eco-environment and Resources，Chinese Academy of Sciences，Lanzhou，Gansu* 730000，*China*）

**Abstract**：[Objective] The water retention effect of planting seedlings with desert planters on the southeastern edge of the Tengger Desert was explored to observe whether the desert planters are more conducive to the survival of seedlings，in order to provide scientific support for improving the survival rate of seedlings in desert areas. [Methods] Soil water content of different soil layers under two planting methods (shovel and desert afforestation device) was compared. The corresponding formula was used to calculate effective soil water content，soil water deficit degree and soil moisture variation coefficient，to comprehensively assess which planting method was better. [Results] ① The risk of soil moisture loss in each soil layer could be

**收稿日期**：2020-12-11 **修回日期**：2021-01-11

**资助项目**：宁夏回族自治区重点研发计划项目“可装备化防沙治沙新材料新技术新工艺研发”(2019BFG02010)

**第一作者**：唐希明(1966—)，男(汉族)，宁夏回族自治区中卫市人，高级工程师，主要从事防沙治沙和荒漠化治理。Email：1049056225@qq.com。

greatly reduced by using desert afforestation devices in grass square, and the soil moisture content under the action of afforestation devices was higher than that of shovel, with the highest being 1.42 times and the lowest being 1.04 times. ② The depths of the two planting methods were different, so that the roots of *Caragana korshinskii* distributed differently in soil layers, and thus the water use strategies were different. *Caragana korshinskii* in the shovel group mainly used soil water in the 15—40 cm soil layer, while *Caragana korshinskii* in the afforestation group mainly used soil water in the 20—50 cm soil layer. The soil moisture deficit of *Caragana korshinskii* roots in the afforestation group was less, which was more conducive to the initial growth of *Caragana korshinskii*. ③ In terms of the survival rate of planted seedlings, the survival rate of seedlings planted by shovel was 45%—55%; the survival rate of seedlings planted by desert afforestation tools was 70%—75%, which was increased by about 25%. The survival rate of seedlings planted by desert afforestation tools was higher. [Conclusion] According to soil moisture retention and the survival rate of the planted *Caragana korshinskii*, compared with shovel planting, the effect of planting *Caragana korshinskii* with desert afforestation equipment is better.

**Keywords: planting mode; desert afforestation apparatus; soil moisture; Tongger Desert**

沙漠化一直是社会关注的焦点问题之一,其危害程度从最初的地表植被逐渐破坏到小面积流沙出现,最后可发展成地表粗化,土壤含水量降低,风蚀严重,进而造成可利用土地资源减少、土地生产力严重衰退、自然灾害加剧等系列问题,对农业、牧业和人民造成严重损失[1]。随着我国在防沙治沙过程中多年的经验累积,目前可将防沙治沙造林技术分为飞播造林、容器苗固沙造林、大苗深植、“六位一体”栽植、扦插倒坑、高杆造林、沙地直播、设立沙障等技术[1]。根据各沙区的立地条件可自由选择,本研究区主要采用设立沙障技术。该技术原理是通过机械沙障对下垫面粗糙程度的改变,从而降低底层风速,减弱输沙强度,最后使流沙表面达到稳定的效果[2-5]从而为苗木根部创造生根条件,使大量根系萌生深入沙层促进水分吸收。由于研究区沙障材料为麦草,其有效使用年限仅 4 a[6],故后期灌木的栽植及成活尤为重要,是该区域防沙治沙成功的关键所在[2]。现今,在造林过程中对于灌木的栽植主要有种子撒播和苗木栽植两种方式[8-9]。因沙漠环境严酷恶劣,降水稀少,灌木种子萌发率较低,故造林时多采用苗木栽植的方式。干旱、半干旱地区沙漠造林多为无灌溉造林,水分是沙漠植物成活及生长的主要限制因素[10],而该地区植物所需水分主要靠土壤水分供给,所以要在无灌溉区的沙漠进行成片灌木种植,就必须避免原土壤中不必要的水分散失。如今,造林常用栽植方式为传统栽植(即铁锹)——挖坑种树。其实施过程为先用铁锹挖坑,待每条行带的树坑全部挖完后领取苗木再进行栽植填埋。该过程中铁锹的挖坑动作,会使原先土层结构破坏,将深层土壤翻动至表层,并且由于作业顺序所出现的晾晒行为会使深层湿沙土壤水分蒸发,造成严重的水分丧失,最终可能导致苗木成活率下降。针对这一问题,有专家发明了新型栽植工具——沙漠造林器,此工具采用直插式栽植原理,可最大限度保证土壤土层结构完整性,在允许范围内避免部分土壤水分丧失,由此提高苗木成活率。理论上确实如此,但具体两种栽植方式的差距还没有一个量的定论。本次试验则是通过测定两种栽植方式不同土层土壤水分,并将其进行数据处理分析,探究哪种栽植方式的保水效果更好,更有利于苗木的成活,为将来大批量高效率栽植提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于宁夏回族自治区中卫市境内的腾格里沙漠东南缘世行贷款项目区(37.32—37.26N,105.03—104.4E)。腾格里沙漠东南缘地处阿拉善高原荒漠与荒漠草原的过渡地带,属于草原化荒漠。因受内蒙古高气压的影响,冬春季节寒冷、干燥、多西北风,但也有短暂时间受东南季风的影响。夏秋季节降雨集中,东北风和偏南风转盛,故兼有大陆性气候和季风降雨的特点。年平均气温 9.6 ℃,极低温为 -25.1 ℃,极高温为 38.1 ℃,昼夜温差大;年平均降水量为 186.2 mm,主要集中在 5—9 月;年蒸发量是2 300～2 500 mm,空气平均相对湿度为 40%,最低为 10%;年平均风速 2.8 m/s,大于 5 m/s 的沙风天气约 200 d 左右。土壤基质为风沙土,地下水埋深达80 m。地貌形态以格状沙丘为主,主梁呈东北—西南走向,副梁呈西北—东南走向,主梁是连续的,副梁往往被主梁隔断。迎风坡向西北,坡度 5°～10°,背风坡向东南,坡度 30°～32°。其间栽植植被主要有:灌木柠条(*Caragana korshinkill*)、半灌木油蒿(*Artemisia ordosica*)。草本植物主要有雾冰藜

(*Bassia dasyphylla*)、小画眉草(*Eragrostis poaeoides*)、虫实(*Corispermum hyssopifolium*)、虎尾草(*Chloris virgata*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)。

### 1.2　研究方法

研究样地选择在中卫"世行贷款"项目区 2017 年所扎设的草方格片区内。其原因是,与 2018 年所扎草方格片区相比,该区沙面条件稳定,可降低部分环境因素对次此试验的干扰。并且该区物种丰富度低,尤其没有多年生草本植物沙蒿,排除了其他灌木物种以及沙蒿对本次栽植物种的影响。试验时间为 2019 年 9 月 22 日至 2019 年 10 月 7 日,试验时间和每年实际栽植苗木时间相一致。所选苗木也是"世行贷款"项目区的主要灌木物种——柠条,具体参数详见表 1。苗木栽植规格以世行项目统一规格为准,是 1 m×3 m。采用 2 种栽植方式:一是传统方式即铁锹栽植;二是新型方式即沙漠造林器栽植。为达到试验效果,完成试验目的,特在该片区无植被的草方格中设置 1 组对照(CK:对照组全程不栽植植物),共计 3 种处理。

**表 1　所栽苗木的基本特征**

| 栽植苗木 | 苗龄/a | 苗木高度/cm | 根长/cm | 地径/cm | 病虫害 | 机械损伤 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 柠条 | 2 | ≥50 | 15～20 | 0.3～0.5 | 无 | 无 |

根据试验目的要求,试验栽植操作过程及养护管理措施与实际栽植完全一致。具体操作如下:铁锹组先挖苗木栽植坑,大小约为 35 cm×35 cm×25 cm,然后使栽植坑暴露阳光下晾晒 30 min,最后将柠条植入坑中并完成填坑;沙漠造林器组栽植时主要利用植苗铲末端叉住树苗根部,双手握住手柄,一脚踩住脚蹬顺势将苗木向下直插,进入草方格中央土壤,最后向上提起沙漠造林器,栽植完成。

两组栽植同时进行,试验期间也未对其进行浇水、施肥等养护管理。此次共栽植柠条 48 棵,每组 24 棵,栽植完成后使用铝盒对 3 种处理下的土壤水分进行分层取样,然后用烘干法(105 ℃,24 h)测定土壤含水量。因铁锹挖掘深度为 30—38 cm,沙漠造林器深度为 50 cm,所以取样深度设置为 0—5,5—10,10—15,15—20,20—25,25—30,30—35,35—40,40—50 cm。取样间分别为 0,1,3,5,7 和 10 d。为降低试验误差,每次取样均在距柠条 5 cm 处取样,且重复 2 次。

### 1.3　数据分析方法

1.3.1　土壤含水量　土壤含水量(土壤含水率)是指土壤中绝对含水量,该试验所测定的是土壤重量含水量,计算公式为:

$$\text{土壤含水量(重量/\%)}=\frac{\text{原土重}-\text{烘干土重}}{\text{烘干土重}}\times 100\% \tag{1}$$

1.3.2　土壤有效含水量　利用土壤有效含水量测定土壤中可被植物吸收利用的水分含量,其计算公式为:

$$\text{土壤有效含水量}=\text{土壤含水量}-\text{凋萎湿度} \tag{2}$$

1.3.3　单个样地不同土层土壤水分亏缺程度评价　利用土壤水分相对亏缺指数(compared soil water deficit index, CSWDI),评价单个样地不同土层土壤水分相对亏缺程度[11]。

$$\text{CSWDI}_i=\frac{\text{CP}_i-\text{SM}_i}{\text{CP}_i-\text{WM}} \tag{3}$$

式中:$i$ 为第 $i$ 土层;$\text{CP}_i$ 为对照样地第 $i$ 土层土壤湿度;$\text{SM}_i$ 为样地第 $i$ 土层土壤湿度;WM 为凋萎湿度。

1.3.4　变异系数 $C_v$　利用变异系数 $C_v$[12]对土壤水分垂直变化层次进行划分,表示各层次土壤水分的稳定性。

$$C=\frac{s}{x} \tag{4}$$

$$S=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2} \tag{5}$$

式中:$x$ 为观测样本(土壤重量含水量)平均值;$n$ 为样本总个数;$x_i$ 为样本的第 $i$ 个观测值。

采用 Microsoft Excel 2016 完成数据处理后,使用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析,Surfer 13.0 绘制土壤水分垂直分布图。

## 2　结果与分析

### 2.1　不同处理下土壤水分垂直变化规律

数据经统计处理,在采用两种不同方式栽植柠条后,其土壤水分整体表现为,铁锹、造林器 0—50 cm 土层中土壤平均含水量分别是 0.87%,1.08%。与 CK 土壤含水量相比,铁锹减少了 0.14%,造林器增加了 0.07%,并且单因素方差分析结果显示 3 者并无显著性差异($p>0.05$)。将 3 种处理下土壤含水量分层展示,结果如图 1 所示。3 者的土壤水分垂直动态均表现出,土壤含水量随土层深度的增加呈先增大—后减小—再增大的波动型变化,其波动范围为:CK(0.4%～1.45%)、铁锹(0.38%～1.32%),造林器

(0.43%～1.48%)。且铁锹和造林器的土壤含水量变化趋势相一致,2 者都在 10—15 cm 土层到达第一个峰值,土壤含水量分别是 1.08%,1.48%,然后下降,直到 25—30 cm 土层到达最小值(0.66%,0.83%)开始上升。整个过程中,造林器土壤含水量均高于铁锹,最高达 1.42 倍,最低是 1.04 倍。

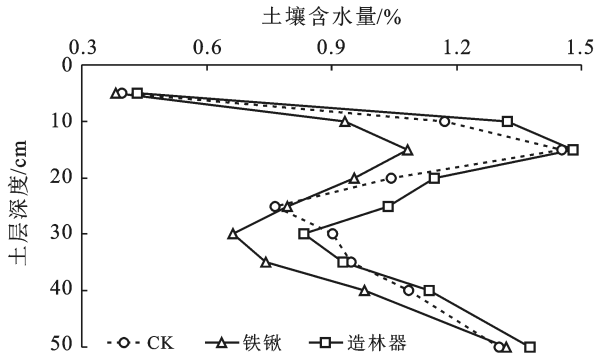



**图 1 3 种处理下各土层土壤含水量**

## 2.2 不同处理下土壤有效含水量垂直变化规律

沙漠地区土壤含水量一般都相对较低,可被植物吸收利用的土壤水较少,通常该区域土壤凋萎湿度为 0.6%[13],使用土壤有效含水量公式进行计算,结果为没有柠条栽植的 CK 组在试验期间 0—5 cm 土层土壤有效含水量-0.2%,即土壤中含水量不满足植物的吸收与利用;而在 10—15 cm 土层中土壤有效含水量最大是 0.85%;在 0—50 cm 土层中土壤有效含水量范围在 0.16%～0.85%(图 2)。铁锹组在试验期间 0—5 cm 土层土壤有效含水量-0.22%,同样无法满足该土层中植物对土壤水的吸收及利用;并且 10—15 cm 土层中土壤有效含水量 0.48%并非是最大有效含水,其最大值出现在 40—50 cm 土层,值为 0.72%;整个土层(0—50 cm)土壤有效含水量范围在 0.06%～0.72%。造林器组在试验期间 0—5 cm 土层土壤有效含水量-0.17%,也无法满足植物需求;但 10—15 cm 土层中土壤有效含水量 0.88%,是 3 种处理下土壤有效含水量最高值;在 0—50 cm 土层中土壤有效含水量范围是 0.23%～0.88%。总体而言,通过对比 3 种处理下的土壤有效含水量可以得出 CK、铁锹及造林器 0—5 cm 土层的土壤含水量皆是无效含水,都无法供给植物正常生长生理所需,并且无效程度大小排序:铁锹>CK>造林器。在整个土层(0—50 cm)中土壤有效含水量范围大小顺序为:造林器>CK>铁锹。3 种处理的土壤有效含水量不仅最大值与最小值不同,其出现的土层也不尽相同。CK 最小值出现在 20—25 cm 土层,而铁锹和造林器都出现在 25—30 cm 土层中;CK 和造林器最大值表现在 10—15 cm 土层,铁锹则是在 40—50 cm 土层。

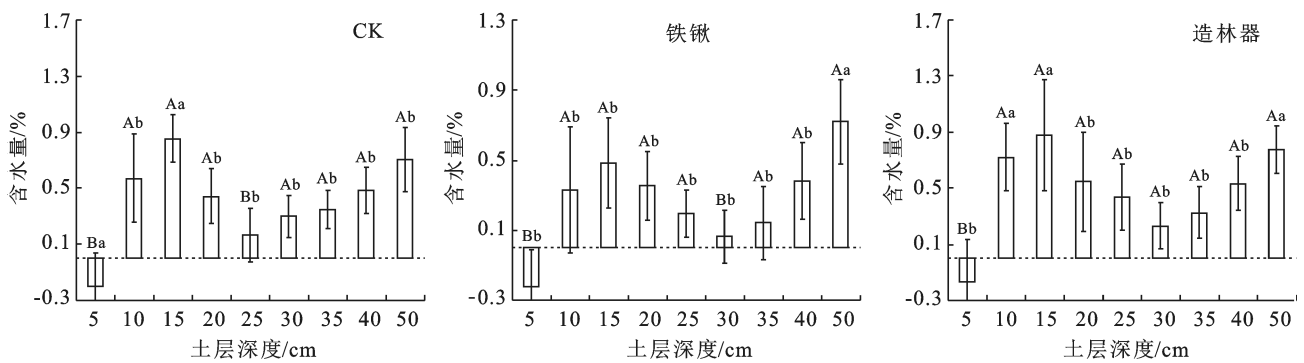



**图 2 3 种处理下各土层土壤有效含水量**

## 2.3 不同处理下各土层土壤水分相对亏缺特征

土壤水分相对亏缺指数(CSWDI)是具体评价土壤水分是否缺失的一个衡量指标,可以清楚的评估出土壤剖面上不同层次土壤水分相对亏缺的程度,一般 CSWDI 值越大,表明土壤水分亏缺越严重,若值小于 0,表示土壤水分没有亏缺[8,14]。图 3 是两种栽植方式作用下各土层土壤水分的相对亏缺指数,CK 作为参照样地,铁锹组的 CSWDI 值波动较大,且土壤水分亏缺土层较多。其中亏缺严重的是 20—25 cm 土层,CSWDI 值达到 5.64;10—15,25—30,30—35,35—40 cm 土层属于轻微亏缺,CSWDI 值分别是0.2,0.34,0.43,0.48;40—50 cm 土层 CSWDI 值为 0,土壤水分没有亏缺也没有补充,处于临界状态;0—5,5—10,15—20 cm 土层土壤水分得到轻微补充,CSWDI 值分别是-0.04,-0.54,-0.02。相较铁锹组的土壤水分相对亏缺指数而言,造林器的波动幅度较小,并且土壤水分亏缺土层相对较少。CSWDI 最大出现在 5—10 cm 土层,值为 2.15,土壤水分亏缺程度较为严重;10—15,25—30,30—35 cm 土层土壤水分属轻微亏缺,CSWDI 值分别为 0.21,0.18,0.07;0—5,15—20,

20—25,35—40,40—50 cm 土层土壤水分均不同程度得到水分补充,CSWDI 值为－0.23,－0.37,－0.44,－1.24 和－0.62,其中 35—40 cm 土层土壤水分补充量相对最高。整体来看,铁锹组土壤水分得到补充的土层大多出现在表层,如 0—5,5—10,15—20 cm 土层,而随着土层深度的增加土壤水分反而出现亏缺。造林器组的土壤水分相对亏缺指数变化规律不明显,其土壤水分的亏缺与补充随土层深度的增加呈交替嵌套式存在。

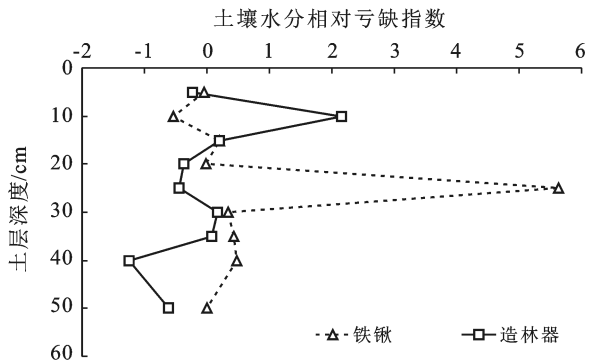



**图 3　2 种栽植方式下各土层土壤水分相对亏缺指数**

## 2.4　不同处理下各土层土壤水分变异系数变化

由表 2 可见,试验期间 CK 样地中土壤含水量最大值在 5—10 cm 土层,为 2.2%;最小值在 0—5 cm 土层,为 0.08%。铁锹样地土壤含水量最大值在 5—10 cm 土层,为 2.58%;最小值在 0—5 cm 土层,为 0.08%(表 3)。造林器样地土壤含水量最大值在 10—15 cm 土层,为 2.66%;最小值在 0—5 cm 土层,为 0.04%(表 4)。3 种处理下土壤含水量最低值均出现在 0—5 cm 土层,而 CK 与铁锹的最大值都出现在 5—10 cm 土层,造林器则出现在 10—15 cm 土层。根据剖面(0—50 cm)土壤水分垂直变化变异系数划分:速变层($C_v \geqslant 30\%$)、活跃层($C_v$:20%～30%)、次活跃层($C_v$:10%～20%)以及相对稳定层($C_v \leqslant 10\%$)[15-16]因而,对 CK 样地,铁锹样地以及造林器样地土壤含水量垂直变异分层分别为:0—5,20—25 cm 为变速层,5—10,15—20 cm 为活跃层,10—15,25—50 cm 为次活跃层;0—10,15—30 cm 为变速层,10—15,30—40 cm 为活跃层,40—50 cm 为相对稳定层;0—5,10—15,30—35 cm 为变速层,25—30,35—40 cm 为活跃层,5—10,15—25,40—50 cm 为次活跃层。由于在沙漠环境下 0—50 cm 土层土壤含水量相对稳定性较差,加之人为扰动因素影响,所以试验中经 3 种处理所得到的不同土层土壤含水量变异系数差别较大,其划分结果规律性不强。

**表 2　CK 处理土壤水分的统计特征**

| 土层深度/cm | 最大值 | 最小值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数/% |
|---|---|---|---|---|---|
| 0—5 | 1.60 | 0.08 | 0.52 | 0.20 | 36.19 |
| 5—10 | 2.20 | 0.20 | 1.41 | 0.36 | 25.45 |
| 10—15 | 1.83 | 0.87 | 1.60 | 0.28 | 18.69 |
| 15—20 | 1.76 | 0.59 | 1.17 | 0.28 | 26.13 |
| 20—25 | 1.47 | 0.21 | 0.85 | 0.27 | 33.65 |
| 25—30 | 1.30 | 0.36 | 0.87 | 0.09 | 11.91 |
| 30—35 | 1.44 | 0.47 | 0.97 | 0.12 | 16.68 |
| 35—40 | 1.55 | 0.36 | 1.08 | 0.11 | 10.29 |
| 40—50 | 1.97 | 0.38 | 1.30 | 0.19 | 17.78 |

**表 3　铁锹处理土壤水分的统计特征**

| 土层深度/cm | 最大值 | 最小值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数/% |
|---|---|---|---|---|---|
| 0—5 | 1.43 | 0.08 | 1.14 | 1.11 | 39.91 |
| 5—10 | 2.58 | 0.18 | 1.03 | 0.21 | 32.51 |
| 10—15 | 2.16 | 0.41 | 1.29 | 0.31 | 22.19 |
| 15—20 | 1.71 | 0.26 | 1.04 | 0.38 | 42.38 |
| 20—25 | 1.16 | 0.22 | 0.99 | 0.43 | 50.27 |
| 25—30 | 1.16 | 0.21 | 0.84 | 0.26 | 32.92 |
| 30—35 | 1.64 | 0.22 | 0.85 | 0.18 | 25.06 |
| 35—40 | 1.64 | 0.13 | 1.09 | 0.19 | 23.98 |
| 40—50 | 1.94 | 0.42 | 1.37 | 0.11 | 8.48 |

**表 4　造林器处理土壤水分的统计特征**

| 土层深度/cm | 最大值 | 最小值 | 平均值 | 标准差 | 变异系数/% |
|---|---|---|---|---|---|
| 0—5 | 1.95 | 0.04 | 0.35 | 0.32 | 49.80 |
| 5—10 | 1.92 | 0.37 | 1.23 | 0.15 | 11.41 |
| 10—15 | 2.66 | 0.49 | 1.40 | 0.39 | 35.17 |
| 15—20 | 2.55 | 0.27 | 1.15 | 0.13 | 13.46 |
| 20—25 | 1.85 | 0.27 | 0.95 | 0.12 | 11.92 |
| 25—30 | 1.22 | 0.29 | 0.76 | 0.15 | 23.85 |
| 30—35 | 1.56 | 0.37 | 1.88 | 1.62 | 44.55 |
| 35—40 | 1.69 | 0.47 | 1.03 | 0.25 | 26.35 |
| 40—50 | 1.94 | 0.94 | 1.29 | 0.21 | 16.72 |

## 2.5　不同处理下各土层土壤含水量随时间的变化

为进一步探究两种栽植方式对土壤含水量的具体影响,本试验将连续测定的各土层土壤含水量按时间顺序将整理,绘制出图 4。由图 4 可知,在栽植当天 CK 土壤表层含水量在 1%以上的土层为 0—15 cm,随着时间的推移表层土壤含水量下降,15—20 cm 土层土壤含水量增加,到了试验第 7 天 CK 组 5—50 cm 土层土壤含水量明显增加,均大于 1.1%并一直持续到试验第 10 d。相比 CK 组,试验初期铁锹组表层土壤水分大于 1.1%的土层在 0—25 cm,而 25—50 cm 土

层土壤水分不足 1%，最小为 0.27%，在试验第 5 d 时所有土层土壤含水量都低于 1%，除 20—25 cm 土层外，其他土层土壤含水量都不足 0.5%，直到试验第 7 d各土层土壤含水量有所回升，仅 35—50 cm 土层土壤含水量超过 1.4%。使用造林器栽植当天土壤表层含水量在 1%以上的土层同样出现在 0—15 cm，由于人为扰动较小整个土层在试验第 3 d 土壤含水量明显增加，随时间推移从试验第 8 d 开始各土层土壤含水量略有下降，并一直到试验结束。

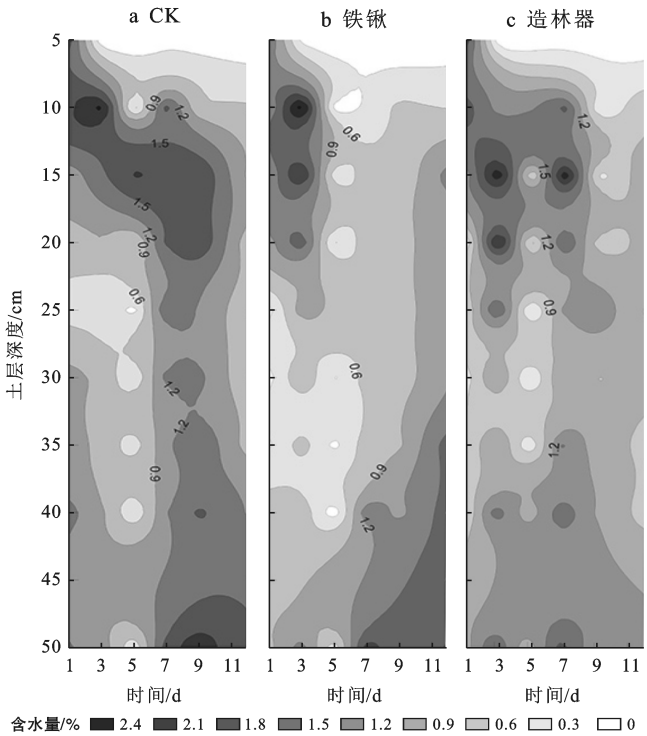



**图 4 3 种处理下各土层土壤含水量时间变化**

## 3 讨 论

根据气象数据显示，研究区在试验前 3 d 有降雨事件发生，降雨量约为 13 mm，对于腾格里沙漠流动沙丘土壤入渗而言，属于有效降雨量(>6.4 mm)[17]。所以第一次取样时，土表 0—15 cm 土层土壤含水量均相对较高。但由于铁锹组在苗木栽植过程中的挖掘及晾晒操作，致使 25—40 cm 土层土壤水分蒸发、流失，土壤含水量降低。在后期完成栽植填坑后，含水量较高的土壤大多堆积在 0—20 cm 土层中，使其含水量较其他土层略高一些。根据刘新平等[18]对流动沙丘的研究发现，0—20 cm 属于沙丘的干沙层范围，因此在植被尚未稳定建立时，该土层变异系数较大，随着时间推移，土壤水分受蒸发量的影响而降低[19]。这与试验后续的试验结果相吻合。沙漠造林器组栽植方式以直插式为主，操作简单，扰动小，大大降低了各土层土壤水分的损耗风险，故该组作用下的土壤含水量均高于铁锹组，最高达 1.42 倍，最低是 1.04倍。而铁锹组栽植时因其作业特点使部分土壤水分丧失以致其各土层土壤含水量均低于 CK 组，最大减少 26.36%。以 CK 为对照，3 种处理下的土壤水分垂直动态规律总体表现为，土壤含水量随土层深度的增加呈先增大—后减小—再增大的波动型变化，但变化土层不同。这主要和试验处理方法有关。

干旱、半干旱沙漠地区环境严酷恶劣，光热资源丰富，水资源却严重匮乏。对于该地区生活的植物，水是限制其生长的主要因素[20-21]，合理有效利用有限水资源已成为植被长期稳定和可持续发展的前提基础[22]。据研究表明，不同植物类型在其各生长阶段的水分利用策略不同[23-24]。对于柠条而言，贾志清等[25]认为 5 a 生植株主要利用 20—50 cm 土层的土壤水，而 9 a 和 25 a 生的植株则主要利用 30—50 cm 土层的土壤水。结合试验所用柠条参数及栽植深度确定，铁锹组柠条主要利用 15—40 cm 土层土壤水，造林器组柠条主要利用 20—50 cm 土层土壤水。经过数据统计分析发现，铁锹组 15—40 cm 土层，平均土壤含水量为 0.96%；造林器组 20—50 cm 土层，平均土壤含水量为 1.18%。二者对比后可知，造林器组可为植物多提供 1.2 倍的土壤水。从土壤水分亏缺方面来看，以 CK 为准，铁锹组 CSWDI 值波动较大，土壤水分亏缺土层较多，特别是 20—25 cm 土层亏缺严重，10—15，25—30，30—35，35—40 cm 土层属轻微亏缺；造林器组 CSWDI 值波动幅度较小，土壤水分亏缺土层较少，亏缺程度较为严重的是 5—10 cm 土层，10—15，25—30，30—35 cm 土层属轻微亏缺，对柠条生长影响较小。

通过各土层土壤水分连续监测结果可知，在试验中除表层土壤含水量随时间推移一直降低外，其他土层土壤含水量均有增加情况出现，但因栽植方式不同，其增加时间、持续时间以及增加的土层都有所不同，以致对土壤水分影响程度不同，进而栽植苗木成活率也不相同。据统计，对同年不同栽植方式的柠条林进行多次抽检，其结果为铁锹栽植苗木成活率为 45%～55%；沙漠造林器栽植苗木成活率为 70%～75%，提高了 25%左右。

## 4 结 论

(1) 在草方格内进行人工栽植，采用沙漠造林器栽植会大大降低各土层土壤水分的损耗风险。造林器作用下的土壤含水量均高于铁锹，最高达 1.42 倍，最低是 1.04 倍。

(2) 两种栽植方式深度不同,以致柠条根系所在土层不同,进而对水分的利用策略不同。铁锹组柠条主要利用 15—40 cm 土层土壤水,造林器组柠条主要利用 20—50 cm 土层土壤水。经分析得出造林器组所对应的土层土壤水分亏缺程度较轻,更有利于柠条的初期生长。

(3) 在栽植苗木成活率方面,铁锹栽植苗木成活率为 45%～55%;沙漠造林器栽植苗木成活率为 70%～75%,提高了 25%左右。沙漠造林器栽植苗木成活率更高。

## [ 参 考 文 献 ]


[1] 刘海鹰.防沙治沙造林技术[J].现代农业科技,2014(11):182-183.

[2] 屈建军,凌裕泉,俎瑞平,等.半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究[J].中国沙漠,2005,25(3):329-335.

[3] 马瑞,王继和,屈建军,等.不同结构类型棉秆沙障防风固沙效应研究[J].水土保持学报,2010,24(2):48-51.

[4] Borges A R, Viegas D X. Shelter effect on a row of coal piles to prevent wind erosion [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1988, 29 (1/3): 145-154.

[5] Sang-Joon Lee, Ki-Chul Park, Cheol-Woo Park. Wind tunnel observations about the shelter effect of porous fences on the sand particle movements [J]. Atmospheric Environment, 2002,36(9):1453-1463.

[6] 胡英娣.方格沙障麦草致腐因素与防腐方法的研究[J].干旱区资源与环境,1988(1):82-91.

[7] 李敏岚,屈建军,唐希明,等.高密度聚乙烯(HDPE)蜂巢式沙障对土壤水分的影响[J].中国沙漠,2020,40(1):136-144.

[8] 白成栋,高治军.毛乌素沙漠直播造林技术研究[J].宁夏农林科技,2011,52(12):83-84.

[9] 郭小丽.毛乌素沙地柠条植苗造林试验初报[J].现代农业科技,2019(14):135-138.

[10] 黄子琛,沈渭寿.干旱区植物的水分关系与耐旱性[M].北京:中国环境科学出版社,2000.

[11] 杨磊,卫伟,莫保儒,等.半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺[J].生态学报,2011,31(11):3060-3068.

[12] 何秀珍,宋乃平,刘孝勇,等.荒漠草原区不同类型草地土壤水分特征研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(4):117-122.

[13] 刘新平,张铜会,赵哈林,等.流动沙丘干沙层厚度对土壤水分蒸发的影响[J].干旱区地理,2006,29(4):523-526.

[14] 赵亚楠,于露,周玉蓉,等.宁夏东部荒漠草原灌丛引入对土壤水分动态及亏缺的影响[J].生态学报,2020,40(4):1305-1315.

[15] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J].生态学报,2005,16(10):1853-1857.

[16] 刘鑫.晋西黄土区不同立地类型下土壤水分时空异质性研究[D].北京:北京林业大学,2007.

[17] Wang Xinping, Cui Yan, Pan Yanxia, et al. Effects of rainfall characteristics on infiltration and redistribution patterns in revegetation-stabilized desert ecosystems [J]. Journal of Hydrology, 2008, 358(1/2): 134-143.

[18] 刘新平,张铜会,赵哈林,等.流动沙丘降雨入渗和再分配过程[J].水利学报,2006,37(2):166-171.

[19] 侯连涛,焦念元,韩宾,等.不同覆盖方式对土壤水分分布的影响[J].灌溉排水学报,2007,26(1):47-50.

[20] 赵文智,程国栋.干旱区生态水文过程研究若干问题评述[J].科学通报,2007(1):1851-1857.

[21] 王志,王蕾,刘连友,等.毛乌素沙地沙丘干沙层水分特征初步研究[J].干旱区研究,2006,23(1):89-92.

[22] Wang X P, Berndtsson R, Li X R, et al. Water balance change for a revegetated xerophyte shrub area/Changement du bilan hydrique d'une zone replantée d'arbustes xérophiles [J]. Hydrological Sciences Journal, 2004, 49(2):283-295.

[23] Xu Qing, Li Harbin, Chen Jiquan, et al. Water use patterns of three species in subalpine forest, Southwest China: The deuterium isotope approach [J]. Ecohydrology, 2011,4(2):236-244.

[24] Jia Guodong, Yu Xinxiao, Deng Wenping. Seasonal water use patterns of semi-arid plants in China [J]. The Forestry Chronicle, 2013,89(2):169-177.

[25] Jia Zhiqing, Zhu Yajuan, Liu Liying. Different water use strategies of juvenile and adult *Caragana intermedia* plantations in the Gonghe Basin, Tibet Plateau [J]. PLoS One, 2012,7(9):e45902.