不同立地条件下沙棘土壤水分分布特征及动态生长研究

闵梓骁[1,2]，张建新[3]，范文波[1,2]，杨海梅[1,2]，乔长录[1,2]，许忠宇[1,2]

(1.石河子大学水利建筑工程学院，新疆 石河子 832000；
2.石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室，新疆 石河子 832000；3.新疆农垦科学院，新疆 石河子 832000)

摘要：为探究不同立地条件下沙棘土壤水分分布特征和生长情况，采用样地试验，设置 2 种坡向(阴坡、阳坡)和 3 种坡位(坡顶、坡中、坡底)进行研究。研究表明：(1)各样地内的土壤水分季节变化可划分为消耗期(5—6 月)、快速补充期(6—7 月)和消退期(7—9 月)，天然降水对土壤含水率影响较大；(2)各样地内的土壤水分垂直分布为土壤水分显著变化层(Cv＞0.2)、土壤水分次变化层(0.2＞Cv＞0.1)和土壤水分相对稳定层(Cv＜0.1)；(3)不同立地条件对土壤水分及植株的生长具有显著影响。阴坡土壤水分明显高于阳坡，土壤水分由坡顶向坡底呈递减趋势；沙棘的生长指标及存活率表现为阴坡＞阳坡，不同坡位表现为坡底＞坡中＞坡顶。研究结果可为玛纳斯县前山地带沙棘造林提供参考和理论依据。

关键词：立地条件；时间变化；水分垂直分布；动态生长

中图分类号：S152.7　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1009-2242(2022)04-0204-07

DOI：10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.04.026

Soil Moisture Distribution and Dynamic Growth of *Hippophae rhamnoides* Under Different Site Conditions

MIN Zixiao[1,2], ZHANG Jianxin[3], FAN Wenbo[1,2], YANG Haimei[1,2],
QIAO Changlu[1,2], XU Zhongyu[1,2]

(1.*College of Water and Architecture Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832000;
2.*Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation of Xinjiang Production and Construction Group, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832000; 3 *Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Shihezi, Xinjiang* 832000)

Abstract: In order to explore the soil moisture distribution characteristics and growth conditions of *Hippophae rhamnoides* under different site conditions, the plot experiment was adopted, and two slope directions (shade slope and sunny slope) and three slope positions (slope top, middle and bottom) were set up. The results showed that: (1) Seasonal variation of soil moisture could be divided into consumption period (May-June), rapid supplement period (June-July) and regression period (July-September). Natural precipitation had great influence on soil moisture content. (2) The vertical distribution of soil moisture in each sample plot was soil moisture significantly changed layer (Cv＞0.2), soil moisture sub-change layer (0.2＞Cv＞0.1) and soil moisture relatively stable layer (Cv＜0.1). (3) Different site conditions had significant influence on soil moisture and plant growth. The soil moisture of shady slope was significantly higher than that of sunny slope, and the soil moisture decreased from slope top to the bottom. The growth index and survival rate of *H. rhamnoides* followed the order of shady slope＞sunny slope), bottom＞middle＞top. The results could provide reference and theoretical basis for the afforestation of *H. rhamnoides* in the front mountainous zone of Manas County.

Keywords: site conditions; time variation; vertical distribution of water; dynamic growth

土壤水是水文循环的重要组成部分，是植物生长的重要影响因素，同时也是 SPAC 中不可或缺的纽带[1]。土壤水分受到地域、气候及季节变化的影响使其具有明显的时空变异性[2]，并且在偏小的区域范围

收稿日期：2021-12-20
资助项目：国家自然科学基金项目(51569028,51769030,41761064)；第九师农田灌溉水利用系数测算分析项目
第一作者：闵梓骁(1998—)，男，硕士研究生，主要从事水土资源高效保持研究。E-mail:945666090@qq.com
通信作者：范文波(1975—)，男，教授，主要从事水土保持及农业水土环境相关研究。E-mail:fwb205@163.com

内,不同地形基准下土壤水分存在显著空间异质性[3]。新疆地处西北边陲,干旱少雨,日照时间长且蒸发较大,土壤含水情况常年处于亏缺状态,天然降雨为该地区主要土壤水分补给[4]。沙棘针状落叶形灌木,有着抗旱耐寒,可在盐渍化土地生存和需水量少等特点[5-6]。用作水土保持、荒漠化治理和防风林的先锋树种被广泛种植于干旱半干旱地区,尤其是新疆。由此探究沙棘土壤水分分布对改善其生长环境有着重要意义。

目前,前人对于土壤水分的研究大多在于植物年限对土壤水分的影响,土地类型与土壤水分的关系以及土壤水分对不同林地类型和种植密度的响应等。罗珠珠等[7]研究发现,随着紫花苜蓿栽种年限的增长,土壤水分消耗速率加剧,其中 3 年苜蓿的水分消耗速率最大;马鹏毅等[8]对不同苹果树龄土壤水分情况进行研究发现,8 年苹果树土壤水分情况较好,土壤贮水量较高,17 年及 25 年苹果树的水分情况则明显降低;唐敏等[9]基于不同土地类型土壤水分变化开展研究显示,枯水年土壤水分情况为梯田>草地>耕地,平水年为草地>梯田>耕地;杜康等[10]揭示了不同土地利用方式有着显著的时间特征和滞后效应,其土壤水分情况为梯田>草地>林地;赵丹阳等[11]研究水分对不同林地类型的响应认为,天然次生林的年平均土壤储水量情况均优于人工刺槐林;王莉等[12]研究认为,在青海高寒地区华北落叶林适宜种植在水分较亏缺地区作为水土保持树种,青海云杉则适宜种植在水分条件较好地区作为水源涵养林;程一本等[13]揭示了黄土丘陵风沙区土壤水分垂直分布规律,提出该区域柽柳的合理种植密度为 1 923 株/km^2。但是针对立地条件的基准下土壤水分变化的研究较少。因此,本文选用沙棘作为试验树种,研究其在不同立地条件下的土壤水分分布特征及生长情况,以期为该地区荒山治理、造林选地和生态建设提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

玛纳斯县地属新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州,属于典型的中温带大陆性干旱半干旱性气候,冬季严寒且时间长,夏季干旱且时间短。年日照时间长达 2 750 h。由图 1 可知,降雨主要集中在 5—9 月,年平均降水量 173.3 mm,占全年降水量的 27%,年均蒸发量约 1 500～2 000 mm;年平均气温为 4.7～5.7 ℃,且季节性气温相差较大,夏季极端气温高达 43.1 ℃,冬季极端气温低达－42.8 ℃。

1.2　试验地布置

开始机械整地前对试验地土壤环境进行分析,做好整地的各项准备工作,为林木的生长发育提供一个较为良好的环境。用小型挖掘机在造林地挖出排列整齐的树坑,后通过人工将树坑修筑成规格为60 cm×60 cm×80 cm 的鱼鳞坑。由于造林地为坡地,所以根据坡向在鱼鳞坑的下侧部分填筑较多的土,防止雨水冲垮,上侧部分则不需要填土。鱼鳞坑的行间距为 3 m×2 m,在鱼鳞坑的上侧部分进行整平,两侧进行填土加高,使其修筑成长为 2 m、宽为 1 m 的长方形集水区,同时覆盖集水膜,使天然降水能够汇流在鱼鳞坑上侧的集水区,沿地势向下流动,在集水区汇集流入鱼鳞坑。为满足集水区需面积一致的试验要求,对集水区的整平及覆盖集水膜均需进行核验。

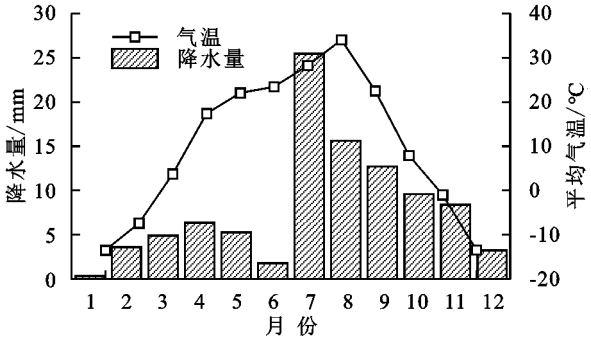

图 1　试验地气象数据

1.3　研究方法

1.3.1　气象资料　查询中国气象网,每日记录最高气温、最低气温、降水量等信息。

1.3.2　土壤水分测定　于 2021 年 3 月 25 日在每块样地鱼鳞坑内布置 TRIME—TDR 测管,同年 5—9 月采用 TRIME—TDR 测定仪测定土壤体积含水率,分别于每月上旬、中旬及下旬对土壤体积含水率进行测定,监测最大深度为 1 m,10 cm 为 1 层监测指标,重复 3 次,采用土钻取土样,取土深度与仪器监测深度相同,采用烘干法对仪器探头所测数据进行标定,标定方程为:$y=-0.0062x^2+0.1822x+19.415$,$R^2=0.956$。

1.3.3　生长指标测定　平均地径:采用十字交叉法(东西、南北方向)对植株逐一挂牌标记测量试验植株地径;新枝长度:每个处理选取长势均匀的 3 棵沙棘,从新枝开始生长时,在不破坏新枝生长的状况下在每棵试验树种上标记一处新枝用卷尺进行长度积累量观测;植株株高:将试验植株逐一自地表到株冠测定高度;存活率=存活沙棘数/沙棘总数

1.3.4 土壤储水量　计算公式为:

$$W=\sum_{i=1}^{n}Q_i\times D_i$$

式中:W 为一定深度的土壤储水量(mm);n 为划分的土壤层数;Q_i 为土层体积含水率(%);D_i 为第 i 层土壤厚度(mm)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 进行数据处理，使用 SPSS 20 软件对数据进行统计分析、单因素方差分析及 Duncan 多重统计分析，采用 Origion 2018 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 立地条件下沙棘土壤水分的时间分布

2.1.1 坡向对沙棘土壤水分时间的变化影响 由图 2 可知，阴阳两坡土壤储水量大体呈正弦趋势变化，5—6 月土壤储水量呈不同速率的下降趋势，阳坡较阴坡下降速度快；6—7 月土壤储水量开始一致大幅度提高；7—9 月土壤储水量表现出不同程度波动，其中阳坡下降幅度较大。

在 0—100 cm 的土层中，随着时间变化，不同月份下土壤储水量阴坡均大于阳坡，2 块沙棘样地土壤储水量的峰值皆出现在 7 月，其中阴坡最大储水量为 183.07 mm，较阳坡的最大储水量多 11.14 mm，土壤储水量的谷值均出现在 5 月底，其中阳坡的最小储水量为 121.10 mm，较阴坡的最小储水量少 16.19 mm。两坡向土壤储水量振幅由大到小分为阴坡(31.62 mm)，阳坡(29.70 mm)，土壤平均储水量阴坡为 157.82 mm，阳坡为 146.47 mm。采用单因素方差分析法对阴阳两坡沙棘土壤储水量进行分析，结果显示差异性极显著($p<0.01$)，表明阴坡更有利于蓄积土壤水分。

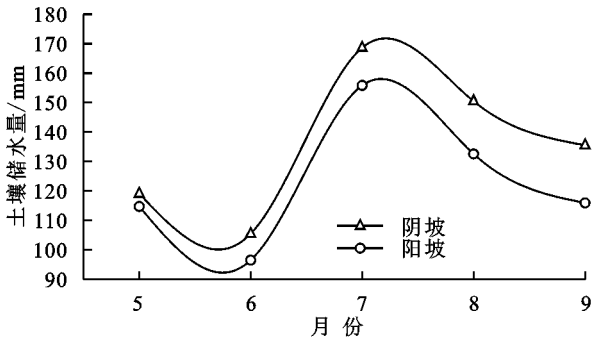

图 2 不同坡向土壤储水量

2.1.2 坡位对沙棘土壤水分时间的变化影响 由图 3 可知，坡顶、坡中及坡底沙棘土壤储水量大体呈正弦变化趋势，5—6 月，3 块样地土壤储水量呈不同速率下降趋势，下降速率由大到小分别为坡顶、坡中和坡底；6—7 月，土壤储水量开始一致快速上升；7—9 月，储水量逐渐降低，其中坡底和坡中下降较快。

在 0—100 cm 的土层中，随着时间变化，坡底沙棘土壤储水量显著高于坡顶，坡顶沙棘的平均土壤储水量为 111.34 mm，坡中沙棘为 126.87 mm，坡底为 146.47 mm，在 5 个月中坡底的储水量均高于坡中及坡底。研究区内的 3 块样地土壤储水量的峰值均出现在 7 月，分别为171.93，155.82，138.66 mm；6 月均出现土壤储水量的谷值，分别为 121.10，96.43，73.48 mm。3 块样地土壤储水量振幅由大到小分为坡底(32.59 mm)、坡中(29.70 mm)、坡顶(25.42 mm)，采用单因素方差分析法和 Duncan 多重统计分析对坡顶、坡中及坡底沙棘土壤储水量进行分析，差异性极显著($p<0.01$)，坡底沙棘的土壤储水量明显高于坡顶($p<0.01$)，其他样地之间差异性不显著($p>0.05$)，表明坡底土壤水分较好。

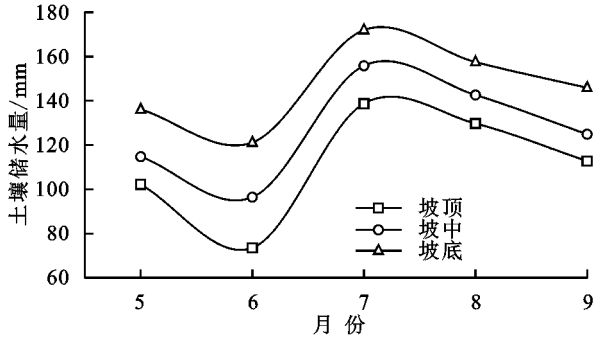

图 3 不同坡位土壤储水量

2.1.3 立地条件下土壤水分季节性划分 观察土壤储水量的变化可以将土壤水分按照季节划分，结果为消耗期(5—6 月)、快速补充期(6—7 月)和消退期(7—9 月)。消耗期：气温升高，土壤蒸发加快伴随着植株的生长，开始消耗土壤储水量；快速补充期：7 月气温升高，虽然沙棘的蒸腾耗水和土壤表层的蒸发消耗大量的水分，但是降雨量的增大对土壤中的水分充分补给并且提高，使得储水量达到最高峰值；消退期：8 月气温达到峰值同时降雨减少，土壤蒸发和沙棘蒸腾耗水旺盛，导致土壤水分减小，9 月降雨量减少，土壤蒸发减弱，沙棘耗水减小，沙棘即将进入休眠期停止生长，土壤储水量进入消退期。

2.2 立地条件下沙棘土壤水分垂直分布

2.2.1 坡向对沙棘土壤水分垂直变化的影响 图 4 为研究区内沙棘生长季(5—9 月)不同坡向的土壤水分垂直分布情况。5 月土壤水分垂直变化显著，阴坡沙棘于 0—40 cm 土层的含水率持上升状态，40—100 cm 土层的含水率持下降状态；阳坡于 0—50 cm 土层含水率持上升状态，50—100 cm 土层持下降状态；6 月土壤水分垂直变化剧烈，阴坡沙棘 0—60 cm 土层含水率快速上升，60 cm 后土壤含水率快速下降；阳坡沙棘 10—50 cm 土层含水率快速上升，50 cm 后土壤含水率快速下降；7 月土壤水分垂直分布变化明显，阴坡沙棘于 0—40 cm 土层土壤含水率呈上升状态，40—60 cm 土层土壤含水率呈快速下降状态，后 60—100 cm 土层呈稳步下降趋势；阳坡沙棘于 0—70 cm 土层土壤含水率上升后下降，70—100 cm 土层呈稳步下降；阳坡含水率在 0—60 cm 随土层深度的加深呈快速增加后再迅速下降，60—100 cm 土层呈稳定下降趋势。9 月阴阳坡土壤水分变化趋势大致相同，阳坡含水率呈先增大后减小趋势，阴坡土壤含水率在 0—30 cm 土层之间

出现波动,呈先增大后稳步减小的趋势。

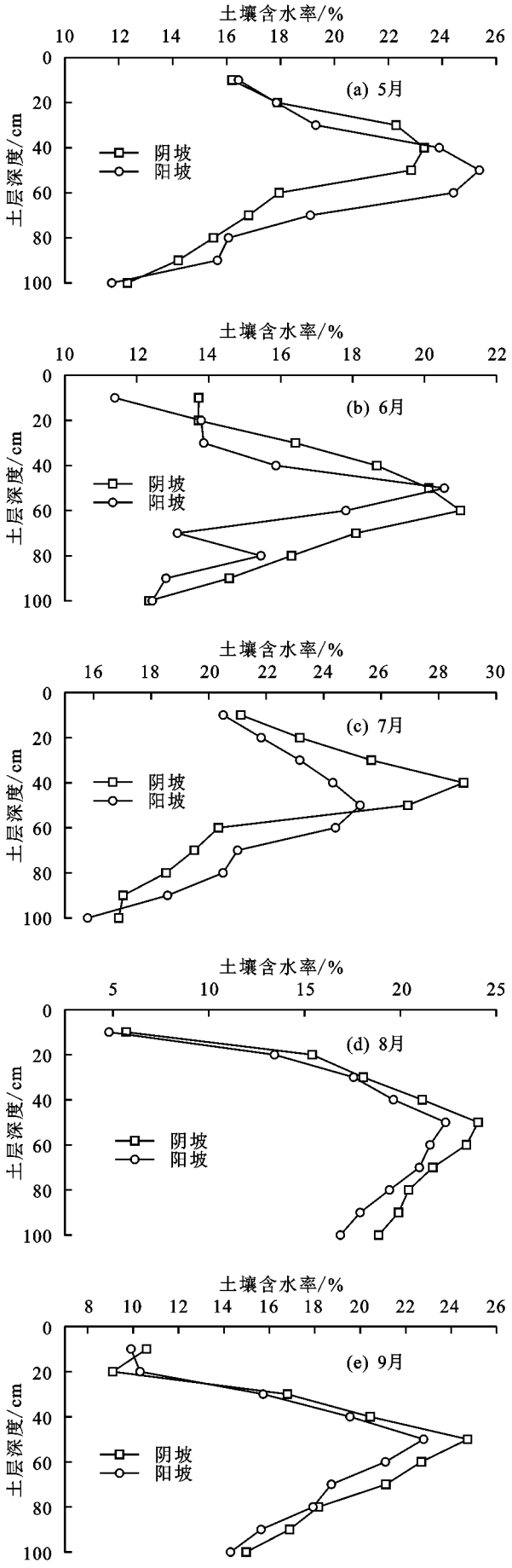

图 4　不同坡向沙棘土壤水分垂直分布

在 0—100 cm 的土层中,阴坡沙棘平均含水率为 18.47%,阳坡沙棘平均含水量为 16.88%,阴阳坡沙棘含水率最大值均出现在 40—60 cm 土层,最小值均出现在 100 cm 土层。采用单因素方差分析法分析阴阳坡沙棘在垂直方向对土壤含水率差异水平,结果显示差异性极显著($p<0.01$),证明土壤水分的垂直分布变化在坡向不同的基础上具有显著影响,同时表明阴坡沙棘土壤含水率均高于阳坡。

2.2.2　坡位对沙棘土壤水分垂直变化的影响　图 5 为试验区内沙棘样地不同坡位土壤在 5—9 月的垂直分布情况。5 月,坡顶沙棘 0—50 cm 土层土壤含水率快速上升,在 50—70 cm 土层则呈下降趋势,70—100 cm 下降速度变缓;坡中沙棘在 0—50 cm 呈波动增长,50—100 cm 含水率波动下降;坡底沙棘土壤含水率于 0—50 cm 呈不同速率增长,50 cm 后缓慢下降;6,7,8 月,不同坡位的土壤水分垂直分布趋势相似。6 月坡顶的沙棘在 0—50 cm 土壤含水率增大,50—100 cm 逐步减小,坡中及坡底沙棘于 0—60 cm 土壤含水率快速上升,60—100 cm 下降;7 月坡顶、坡中及坡底土壤含水率较 6 月和 5 月总体增大,其土壤含水率在 0—50 cm 增大,50—100 cm 减小;8 月土壤含水率较 7 月减小,0—50 cm 坡顶、坡中及坡底土壤含水率增长呈递增状态,50—100 cm 减少;坡顶、坡中及坡底减小速率呈递减状态;9 月土壤水分垂直分布大致呈波动增长后快速减小趋势,坡顶沙棘 10—50 cm 快速增长,随后至 100 cm 减小;坡中及坡底于 0—60 cm 呈不同程度增长,坡底增长速率明显高于坡中,60—100 cm 呈不同速率减小,坡中减小速率明显高于坡底。

在 0—100 cm 的土层中,坡顶、坡中及坡底沙棘平均含水率分别为 14.32%,16.72% 和 18.84%。3 块样地土壤含水率峰值皆出现在 50—60 cm 土层范围内,谷值则皆出现在 100 cm 处。采用单因素方差分析法和 Duncan 多重统计分析对坡顶、坡中及坡底沙棘土壤含水率垂直剖面进行分析,结果显示差异性极显著($p<0.01$),证明土壤水分的垂直分布变化在坡位不同的基础上具有显著的影响,同时表明坡底水分条件较好,坡中及坡顶次之。

2.2.3　立地条件下土壤水分垂直分层　根据宋小林等[14]、李增尧等[15]和韩晓阳等[16]对土壤水分垂直分布的划分研究,结合沙棘的根系分布情况,采用变异系数法对研究区内各个沙棘样地 0—100 cm 土层进行垂直划分,分别为显著变化层($Cv>0.2$)、次变化层($0.2>Cv>0.1$)及相对稳定层($Cv<0.1$),划分情况见表 1 和表 2。

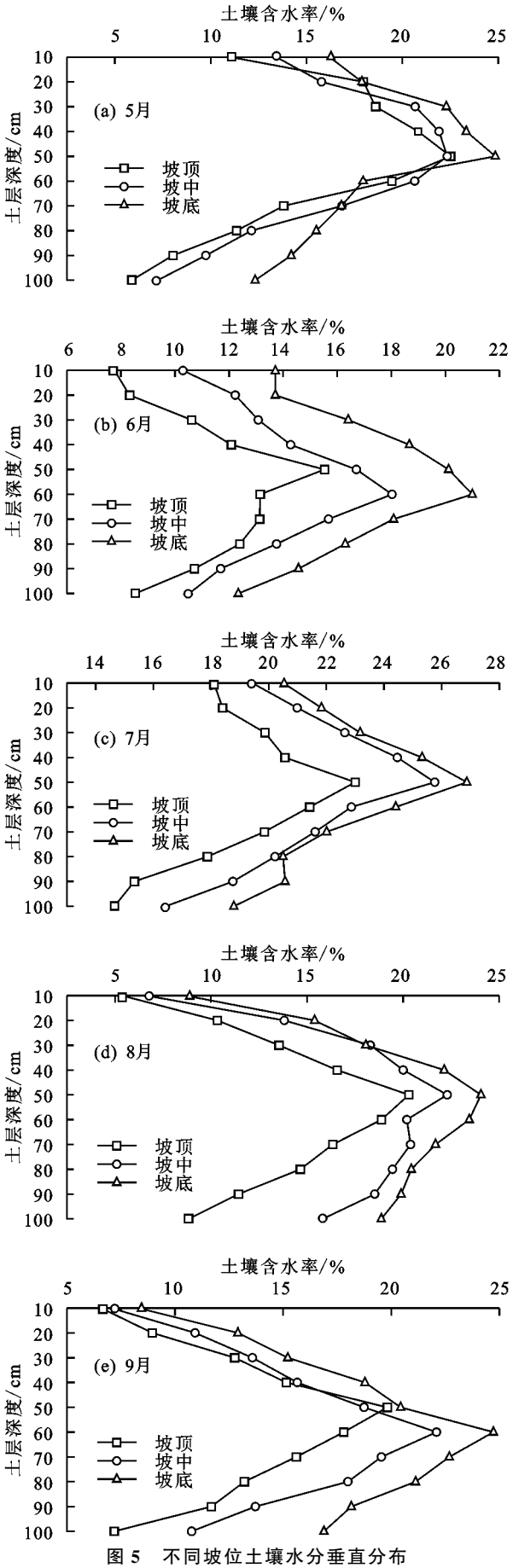

图 5 不同坡位土壤水分垂直分布

显著变化层:天然降雨进入该土层,使得土壤含水率快速增加,降雨结束,土壤水分的下渗、土层的蒸发以及植株根系吸水导致形成显著的变化层;该层对植株的生长作用影响不大,水分的利用效率不高,因此也被称为水分弱利用层;次变化层:降雨后雨水下渗到该土层,对该土层进行水分补给,同时林木根系主要吸水也是在该土层,次变化层因受降雨水分补给和根系吸水时水分消耗的 2 种作用,在干旱时期土壤水分亏缺,进入雨季土壤水分得到补充,具有明显的季节性变化,该层对植株的生长具有重要的作用,被称为水分高效利用层;相对稳定层:天然降水难以下渗到该土层,同时植株的根系数量在该层减少,土壤的蒸腾作用也减弱,土壤含水率较低但较其他 2 层稳定,在丰水年时充沛的降水可深入该土层,在枯水年时可以向上层提供水分以保证植株的存活,是干旱年时对林木的保障层。

表 1 不同坡向沙棘年生长季平均土壤含水率及变异系数

土层	阴坡沙棘			阳坡沙棘		
深度/cm	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数
0—10	13.31	3.00	0.23	12.26	3.38	0.28
10—20	13.85	3.77	0.27	11.69	2.57	0.22
20—40	19.00	2.30	0.12	16.30	3.38	0.21
40—60	22.82	2.59	0.11	22.10	2.44	0.11
60—80	19.86	2.20	0.11	19.07	2.10	0.11
80—100	16.11	1.34	0.08	16.44	1.02	0.06

表 3 和表 4 为不同立地条件沙棘土壤水分剖面根据变异系数数值划分,结果显示,显著变化层为阴坡沙棘和坡底沙棘 0—20 cm 土层、阳坡、坡顶和坡中 0—40 cm 土层;次变化层为坡顶沙棘 40—60 cm 土层、阳坡和坡中 40—80 cm 土层及阴坡和坡底 20—80 cm 土层;相对稳定层为坡顶沙棘 60—100 cm 土层、阴阳坡、坡中和坡底 80—100 cm 土层。

2.3 立地条件下沙棘的生长状况影响

经过试验记录不同坡向对沙棘的存活率及当年生长量,结果显示阴坡情况较好,样地内阴坡沙棘的平均地径为 21.42 cm,新枝长度为 18.40 cm,植株株高为 154 cm,存活率为 86%;样地内阳坡沙棘的平均地径为 12.77 cm,新枝长度为 11.30 cm,植株株高为 123 cm,存活率为 67%。同时不同坡向沙棘的存活及生长经过多重比较分析,差异性均达极显著水平(表 5)。

通过对比不同坡向对沙棘的存活率及当年生长量试验以坡底情况较好,试验区内坡顶沙棘平均地径为 11.80 cm,新枝长度为 11.20 cm,植株株高为 122.20 cm,存活率为 62%;试验区内坡中沙棘平均地径为 16.42 cm,新枝长度为 14.30 cm,植株株高为 140.4 cm,存活率为 80%;试验区内坡底沙棘平均地

径为 21.30 cm,新枝长度为 18.20 cm,植株株高为 152.00 cm,存活率为 82%。对不同坡位沙棘的地径、新枝长度、新枝长度及存活率 4 个指标进行多重比较分析,其差异性均呈极显著水平(表 6)。

表 2　不同坡位沙棘年生长季平均土壤含水率及变异系数

土层	坡顶沙棘			坡中沙棘			坡底沙棘		
深度/cm	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数
0—10	12.02	2.70	0.23	13.55	2.99	0.22	15.59	3.22	0.21
10—20	11.75	2.33	0.20	13.71	3.22	0.24	16.27	4.18	0.26
20—40	17.94	3.95	0.22	21.03	4.46	0.21	22.01	2.90	0.13
40—60	22.33	2.35	0.11	24.47	2.48	0.10	25.63	3.08	0.12
60—80	19.75	1.73	0.09	20.01	2.10	0.11	20.64	2.03	0.10
80—100	16.49	1.56	0.09	18.97	1.78	0.09	18.59	0.37	0.02

表 3　不同坡向沙棘样地土壤水分垂直划分

不同坡向	土层深度/cm		
	显著变化层	次变化层	相对稳定层
阴坡	0—20	20—80	80—100
阳坡	0—40	40—80	80—100

表 4　不同坡位沙棘样地土壤水分垂直划分

不同坡位	土层深度/cm		
	显著变化层	次变化层	相对稳定层
坡顶	0—40	40—60	60—100
坡中	0—40	40—80	80—100
坡底	0—20	20—80	80—100

表 5　不同坡向对沙棘的存活率及当年生长量与多重比较分析

不同坡向	平均地径/cm	新枝长度/cm	植株株高/cm	存活率/%
阴坡	21.42aA	18.40aA	154.12aA	86aA
阳坡	12.77bB	11.30bB	123.43bB	67bB

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异性显著($p<0.05$);不同大写字母表示差异性极显著($p<0.01$),采用 Duncan 多重比较分析法。下同。

表 6　不同坡位对沙棘的存活率及当年生长量与多重比较分析

不同坡位	平均地径/cm	新枝长度/cm	植株株高/cm	存活率/%
坡顶	11.80aA	11.20aA	122.20aA	62aA
坡中	16.42bB	14.30bB	140.40bB	80bB
坡底	21.30cC	18.20cC	152.00cC	82cC

3　讨论

研究土壤水分时间变化显示,季节性变化差异显著。根据研究区内沙棘生长季天然降雨的分布趋势(低—高—低),将水分按季节划分为消耗期(5—6 月)、快速补充期(6—7 月)和消退期(7—9 月)。在消耗期(5—6 月)因冬季融雪和少量的降雨虽然使得土壤水分得到补充,但是在生长季的初期沙棘对水分的需求较大,水分补充小于根系吸水,加之温度升高,导致土壤蒸腾耗水,使得土壤水分不增反减,这与陈珊珊等[17]的研究结果相似;快速补充期(6—7 月)降水量大大提升使得土壤水分得到充分的补充,补充大于消耗使得土壤水分达到生长季中的峰值,与王帅兵等[18]的研究结果一致;消退期(7—9 月)降水量减少,沙棘进入生长季的末期,气温达到最高,土壤蒸腾最大,土壤含水率逐渐减小。土壤水分变化及季节划分受到研究地区不同、降雨分配不同及树种不同等方面的影响,不同立地条件对水分的影响具有一定的差异性,因此对于土壤水分季节划分与张敏等[19]和孔凌霄等[20]的研究结果不同。

土壤水分垂直变化分布存在相似的趋势,均为先增大后减小,降雨对土壤水分显著变化层和次变化层影响较大。降雨使得雨水下渗,土壤蒸腾使得水分上升,根系吸水消耗,使得土壤水分在 2 个变化层呈波动状,而相对稳定层对此则影响不大,根据变异系数发现,与陈洪松等[21]和苏莹等[22]的变异系数随着土层深度的增大而减小的结果相同,与张晓梅等[23]的研究结果不同,这可能是与当地气候条件不同以及土层深浅不同相关。

阴坡较阳坡土壤水分较高,阴坡沙棘长势及存活情况明显高于阳坡,因阳坡光照时长及强度高于阴坡,使得阳坡土壤水分蒸发较大,土壤储水量较和坡顶沙棘长势及存活情况低于坡中和坡底,因坡底地势较低,受到重力的影响,有利于水分汇集及下渗,使得坡底土壤水分条件较好,这与朱海等[24]研究结果相同。

综上所述,新疆玛纳斯地区沙棘种植中应当考虑立地条件对土壤水分的影响,建议在阴坡坡底种植,此时土壤水分情况适宜,对土壤水分利用较好。土壤水分分布及动态生长不仅与降水有关,还应考虑种植密度、树龄、林木种类等众多影响因素。因此,在今后的研究中还需综合考虑多个影响因子,以期使研究结果更加深入,更加完善。

4 结 论

(1)研究区内季节性变化分为消耗期、快速补充期和消退期,主要影响因素为天然降水量的分配情况。

(2)样地内土壤水分垂直划分层次为土壤水分显著变化层、土壤水分次变化层和土壤水分相对稳定层,随着土层的加深,土壤水分含量皆呈先增大后减小的变化趋势。

(3)立地条件对于沙棘存活和生长情况具有显著影响,阴坡土壤水分情况优于阳坡,坡位越低土壤水分越好,植株生长及存活情况与土壤水分情况趋势相同。

参考文献:

[1] 吕明侠,王一博,刘国华.黑河上游高山区浅层土壤水分变化及其影响因素[J].干旱区研究,2020,37(4):899-907.

[2] Duan W L. Spatiotemporal variability of Hokkaido's seasonal precipitation in recent decades and connection to water vapour flux[J]. International Journal of Climatology,2017,37(9):3660-3673.

[3] 何洁,严友进,易兴松,等.喀斯特地区土壤异质性及其与植物相互作用[J].应用生态学报,2021,32(6):2249-2258.

[4] 沈浩,吉力力·阿不都外力.玛纳斯河流域农田土壤水盐空间分布特征及影响因素[J].应用生态学报,2015,26(3):769-776.

[5] 汤东,程平,杨建军,等.天山北坡山前植物对干旱胁迫的生理响应[J].干旱区研究,2021,38(6):1683-1694.

[6] Wang C, Chu X, Zhan J Y, et al. Factors contributing to efficient forest production in the region of the three-north shelter forest program, China[J]. Sustainability, 2019,12(1):1-19.

[7] 罗珠珠,牛伊宁,李玲玲,等.陇中黄土高原不同种植年限苜蓿草地土壤水分及产量响应[J].草业学报,2015,24(1):31-38.

[8] 马鹏毅,赵家锐,何威明,等.黄土高原不同树龄苹果园土壤水分及硝态氮剖面特征[J].水土保持学报,2019,33(3):192-198,214.

[9] 唐敏,张超,吴普特,等.黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分变化特征[J].应用生态学报,2018,29(3):765-774.

[10] 杜康,张北赢.黄土丘陵区不同土地利用方式土壤水分变化特征[J].水土保持研究,2020,27(6):72-76.

[11] 赵丹阳,毕华兴,侯贵荣,等.晋西黄土区典型林地土壤水分变化特征[J].水土保持学报,2021,35(1):181-187.

[12] 王莉,林莎,李远航,等.青海大通不同林地类型林下植被与土壤水分的关系[J].中国水土保持科学,2019,17(5):25-35.

[13] 程一本,肖洪浪,李双.黄土丘陵风沙区柽柳(*Tamarix chinensis*)林土壤水储量动态[J].中国沙漠,2015,35(2):407-413.

[14] 宋小林,吴普特,赵西宁,等.黄土高原肥水坑施技术下苹果树根系及土壤水分布[J].农业工程学报,2016,32(7):121-128.

[15] 李增尧,赵兴凯,朱清科.陕北黄土区陡坡坡面因子对土壤水分的影响[J].排灌机械工程学报,2017,35(9):798-805.

[16] 韩晓阳,刘文兆,程立平.黄土塬区深剖面土壤水分垂直分布特征及其时间稳定性[J].应用生态学报,2017,28(2):430-438.

[17] 陈珊珊,臧淑英,孙丽.多年冻土区土壤湿度的动态变化及影响[J].水土保持研究,2020,27(3):113-118.

[18] 王帅兵,王克勤,宋娅丽,等.不同时间尺度反坡台阶红壤坡耕地土壤水分动态变化规律[J].农业工程学报,2019,35(8):195-205.

[19] 张敏,刘爽,刘勇,等.黄土丘陵缓坡风沙区不同土地利用类型土壤水分变化特征[J].水土保持学报,2019,33(3):115-120,128.

[20] 孔凌霄,毕华兴,周巧稚,等.晋西黄土区不同立地刺槐林土壤水分动态特征[J].水土保持学报,2018,32(5):163-169.

[21] 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].应用生态学报,2005,16(10):1853-1857.

[22] 苏莹,陈林,李月飞,等.荒漠草原不同类型土壤水分时空变化特征[J].干旱区研究,2018,35(6):1308-1316.

[23] 张晓梅,邸利,史再军,等.甘肃泾川中沟小流域不同坡位刺槐人工林土壤水分特征[J].干旱区研究,2019,36(5):1300-1308.

[24] 朱海,胡顺军,陈永宝.古尔班通古特沙漠南缘固定沙丘土壤水分时空变化特征[J].土壤学报,2016,53(1):117-126.