

极度干旱区不同灌水量下沙枣防护林根系分布特征

赵新风¹, 徐海量^{1,2}, 刘新华¹, 张 鹏¹, 刘志友³, 洪 辉⁴

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆生态与地理研究所 阿克苏水平衡试验站, 新疆阿拉尔 843300;

3. 农二师林业工作管理站, 新疆库尔勒 841000; 4. 塔里木河流域管理局, 新疆库尔勒 841000)

摘 要:研究滴灌条件下极端干旱区防护林的根系生长,对研究制定科学的防护林灌溉制度和维护绿洲防护林稳定性有重要意义。以塔里木河下游尾间绿洲——喀拉米吉绿洲滴灌沙枣防护林体系为研究对象,设置了3个滴灌量梯度(18 L、30 L、48 L),分析了极端干旱区沙枣防护林在不同灌水量处理下的根系分布特征。结果表明:①长期采用滴灌后,沙枣根系大部分分布在较浅的土层(以地下0~40 cm为主),越往下分枝能力越小,沙枣根系生物量在0~60 cm土层中累计百分比达86%。②灌水量梯度不断增加后,导致了根系总生物量随之增加,但不会导致深层土壤根系持续增加,因此,即使用48 L的灌水量形成更深的土壤湿润层,林木根系下扎能力与深度没有表现出随之增加的趋势。48 L滴灌量处理下,土层根系含量20~40cm/0~20cm的比值较小(仅为0.6),生物量主要集中在表层;30 L处理下,土层根系含量20~40cm/0~20cm的比值较大(0.75)。③粗根($\varphi \geq 5$ mm)数量随着滴灌量的增大而增多,30 L滴灌量处理下,5 mm $>\varphi > 2$ mm的根最多;18 L滴灌量处理下, $\varphi \geq 5$ mm的根与 $\varphi \leq 2$ mm的根系数量均最少。建议大规模防护林的灌溉中应采取多样化的灌溉制度,才可达极端干旱区防护林体系的可持续发展:棉林争水季节(5-7月)适当亏缺灌溉,8月以后可增加灌水量或1~2次灌水。

关 键 词:滴灌;不同灌水量;沙枣防护林;根系;塔里木河下游

1 引言

干旱区的主要气候特征是降水稀少、蒸发强烈,水资源是制约植被生长主要的因子。绿洲防护林在保障绿洲小气候稳定和降低自然灾害方面有显著作用。绿洲大面积防护林建设面临几大制约因素:①干旱区植被生长的最大制约因素是水,水资源的短缺严重制约着干旱区大型防护林建设;②干旱区特殊的气候条件导致盐分随水分强烈蒸发上升积聚于地表,造成新生林死亡率高;③绿洲防护林建设耗水量大。近年来,针对经济作物与防护林争水、林地盐分聚集的问题,实现防护林的节水、压盐、适宜于大型防护林工程实施的灌溉技术成为南疆生产建设兵团和乡镇迫切的需求。因此,设计和推广科学的灌溉制度是提高绿洲防护林水资源高效利用和降低盐害的重要途径。但是,目前塔里木河尾间绿洲的缺水问题成为制约防护林长势和效益的发挥的最大瓶颈,主要表现在:①绿洲防护

林在成林后有一定耐旱性,但其1~3年的幼林,特别是新生林耐旱能力有限,如何实施科学的灌溉制度以实现幼苗耐旱而达到高成活率是决定其能否在干旱区大范围推广的前提;②不同年限的防护林(如沙枣)根系分布深度存在差异,因而需水量也不同;③由于塔里木河下游特殊的地理位置与气候特征,在该区耕地灌溉面积逐渐扩大的条件下,水资源超负荷运行,开发的地下潜水多在20~80 m深度,多数地下水电导率值竟超过20 mS·cm⁻¹。

根系是植物吸收水分和养分的主要器官,根系生长对植物的形态建成和生长发育有着重要的作用,其分布与土壤环境状况尤其是土壤水分状况密切相关。在国内外文献中,对不同滴灌量处理下的棉花、小麦、旱稻、大豆等根系分布的研究较多,如齐广平等^[1]认为,随着灌水量的减少,滴灌番茄各生长指标生物量减少,4419 m³/hm²为适宜灌溉量;在塔克拉玛干沙漠腹地,根系区土壤水分分为3%~4%条件下,乔木状沙拐枣能正常生长,低于2.5%就会

收稿日期:2011-06; 修订日期:2011-10.

基金项目:国家自然科学基金项目(30970549,41171427);水利部公益性行业科研专项(201101049)。

作者简介:赵新风(1981-),女,硕士,研究方向为恢复生态学。E-mail: zxinfeng668@sina.com

通讯作者:徐海量(1971-),男,博士,研究员。E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn

受到水分胁迫^[2]。关于不同水分处理对植物根系的研究,滴灌番茄在充分灌溉、适水灌溉、调亏灌溉3个处理下,根系随着灌水量的增大横向生长趋势越明显,远离滴灌带的垂直土体所含根系生物量也越多^[3];滴灌冬小麦在3个处理下,灌水量越小,根的绝对生长速率下降,干物质累积降低程度越大^[4]、随着灌水量的增大地表根量分布增加^[5];方怡向等^[6]认为,不同滴灌量处理下棉花根系生物量随着深度的增加逐渐减少,水分能够影响根系生物量的垂直分布,随着滴灌量的减少,其深层土壤根系生物量有增加的趋势。而关于对不同滴灌水量处理下防护林根系分布的研究较少,且多见于对塔里木沙漠公路两侧的人工林梭梭、怪柳、沙拐枣的研究^[2,7-9]得出:在塔克拉玛干沙漠腹地,2年生梭梭幼苗分别在35 kg/株·次、24.5 kg/株·次、14 kg/株·次的滴灌量下,随着灌溉量的减少,梭梭幼苗根系生物量的分布格局有向深层发展的趋势,根冠比和垂直根深与株高之比随着灌溉量的减少而呈增加的趋势。所研究的1~3年林木的滴灌周期也多为7 d^[7]、夏季10 d^[9]。当地水资源极其缺乏,实际所能达到的灌溉措施中,防护林幼林的灌溉周期为20 d,对如此长滴灌周期下沙枣根系的研究还鲜见报道。

本文所选择地研究区——喀拉米吉绿洲,是塔里木河尾间绿洲,以降水稀少、蒸发量大为主要气候特征,风沙灾害频发,各种作物与防护林争水严重。沙枣(*Elaeagnus angustifolia* L.)生长旺盛,适应

性强^[10]。中国西北地区贫乏的降水量决定了在西北地区只有采取工程节水与生物节水的措施,才能保障大面积造林的成功;另外中国西北地区大面积分布的盐碱地和不合理开发形成的次生盐碱地也对造林树种提出了很高的要求,沙枣具有抗旱、耐盐的优良特性,是中国西北地区重要的防风固沙和水土保持树种^[11]。当地目前多以沙枣、胡杨(*Populus euphratica*)为主要防护林树种,但胡杨幼苗定植于大田后的成活率较低而不被当地所广泛使用。因此,该试验以当地防护林主要树种沙枣为研究对象,对比分析了不同滴灌量下沙枣根系的分布特征,目标是确定极端干旱区沙枣滴灌防护林的最佳灌水量,以及探讨经过多少年的滴灌才能使沙枣不依靠人为措施而自动吸取找地下水资源以达到自力更生的目的。

2 研究方法

2.1 研究区背景

研究区位拉米吉镇绿洲(87.925°E, 40.701°N),是塔里木河下游尾间绿洲,距离库尔勒市210 km,年均气温10.5℃,年降水量35.9 mm,年蒸发量2 588 mm,东北向大风天气频繁,沙尘暴日数8.2 d,风沙危害严重。研究区历年气温、降水数据见图1。

研究区灌溉用水主要为塔里木河干流河水,随着人口的增长和人工绿洲规模扩大,水资源需求大

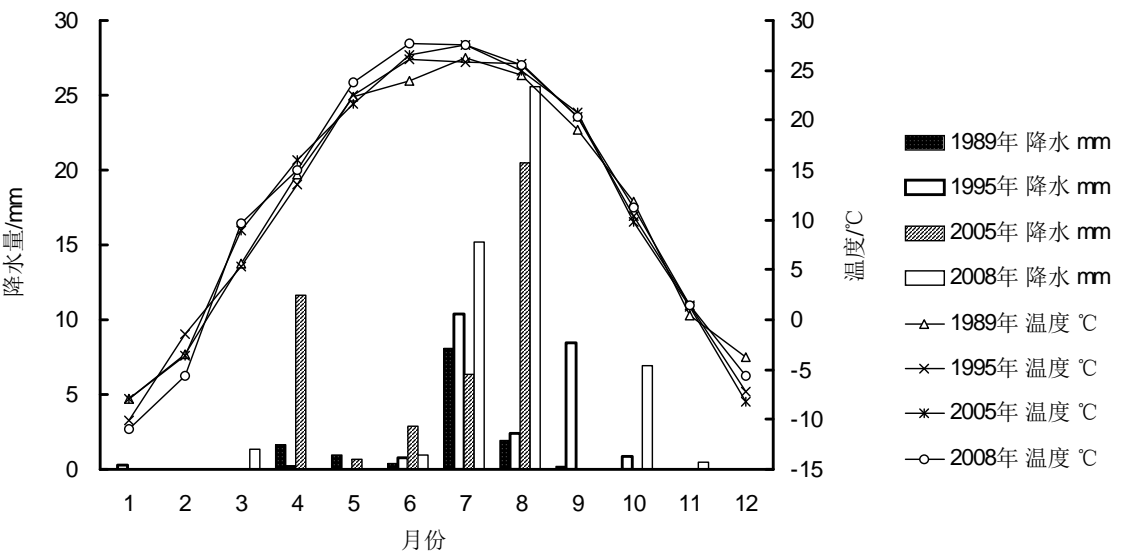


图1 研究区年际降水与6-8月温度情况

Fig.1 Annual precipitation and temperatures in June, July and August in the study area

幅度增加,加之中、上游用水过度,导致下游来水量锐减,地下水严重超采,水位持续下降。实验地内均匀布置3口生态井,地下水埋深为7~10 m,2008-2010年地下水埋深变化如图2所示。

研究区内0~120 cm土层土壤主要由砂粒(粒径为50~2000 μm)组成,占76.55%;粉粒(粒径为2~50 μm)占22.30%;黏粒(粒径为0.02~2 μm),占1.15%。

试验地0~120 cm土层平均土壤总盐为12.93 g·kg⁻¹;电导率为2.43 mS·cm⁻¹;pH(1:5)为7.8;有机质为13.7 g·kg⁻¹;全N为0.85 g·kg⁻¹;全P为0.61 g·kg⁻¹;全K为16.8 g·kg⁻¹;速效N为111.1 mg·kg⁻¹;速效P为5.4 mg·kg⁻¹;速效K为308.5 mg·kg⁻¹。研究区位于绿洲边缘沙地,各土层土壤质地变化不大,土壤特性基本一致。

2.2 实验地布置

试验地长70 m,宽60 m。试验地原是以沙漠为基质的半流动沙丘或柽柳沙包构成,分布有盖度为3%~5%的荒漠植物。2008年4月,在绿洲边缘人工种植防护林,选择防护林主要树种为沙枣,栽植时树苗平均株高70 cm,株行距1.5 m×3 m。定植一个月后,试验地林木成活率为约90%。在滴灌作用下,林地萌发出芦苇(*Phragmites australis*)、鹿角草(*Hexinia polydichotoma*)、黑刺(*Lycium ruthenicum*)等多种植物,林地郁闭度达10%~15%。灌溉方式为滴灌,一条滴灌带控制1行林木。

(1) 防护林样地选择

选择定植2个月长势中等且不受边际效应影响的3块沙枣林地作为样地,进行不同灌水量试

验。为了减少地理位置、土壤质地等所造成的误差,对选地样点有以下要求:林地地势平坦、林地先前灌水制度一致、林地郁闭度与周围天然植被生物量基本一致。在不同处理下的林地内,选择株高、基径基本一致的幼林作为标记,为根系生长量监测作准备。

(2) 灌溉方式及水量梯度设置

实验采用滴灌方式进行灌溉,年灌溉次数为10次,灌溉周期为20 d($T=20d$),单次滴灌时间为6 h。实验设计使用容积为500 L的塑料筒作为储水容器,置于高为1 m的铁架上,利用水势差产生的压力,通过水压表与水量控制阀门,控制滴头流量为8 L/h。设置18 L/株·次、30 L/株·次、48 L/株·次3个灌溉水量处理,对应单株林木年灌水量分别为180 L、300 L和480 L。

(3) 测定指标

滴灌沙枣根系数据采集为2009年11月(第10次灌溉后)进行,并同时进行林木根部土壤含水率测定。

① 根系生物量与土壤含水率测定

在不同滴管量处理下的样地中,对标记过的林木进行根系挖掘,选择3~4棵林木为取样重复。对所挖掘的植株进行地上生长指标(株高、冠幅、基径和当年新枝长)的测定。

在不同处理的林地内随机选取几株苗木,对所选植株采用分层分段法进行根系挖掘,挖掘时以植株根茎为圆心,水平方向15 cm为一段,自地表向下每20 cm为一层,然后分层、分段取土,用2 mm筛孔的筛子筛出各层各段的根系,直到水平和垂直范围没有根为止。同时在水平与垂直方向上距滴头不同距离、不同深处采集土样装于铝盒,拿回试验室分析土壤含水率。全部根系取出后,编号、洗净,放于烘箱内,在60℃下烘干12 h,称重。土壤含水率用烘干法测土壤质量含水率。

② 根系数量测定

将整株林木挖出,在实验室内进行冲洗,待根系恢复原状后,用游标卡尺进行根系直径测量,并按照 $\varphi \geq 5\text{ mm}$ 、 $5\text{ mm} > \varphi > 2\text{ mm}$ 及 $\varphi \leq 2\text{ mm}$ 进行分组,分类放置,统计出不同分类下的根系数量。

2.3 数理统计方法

数据分析用Office Excel 软件和SAS

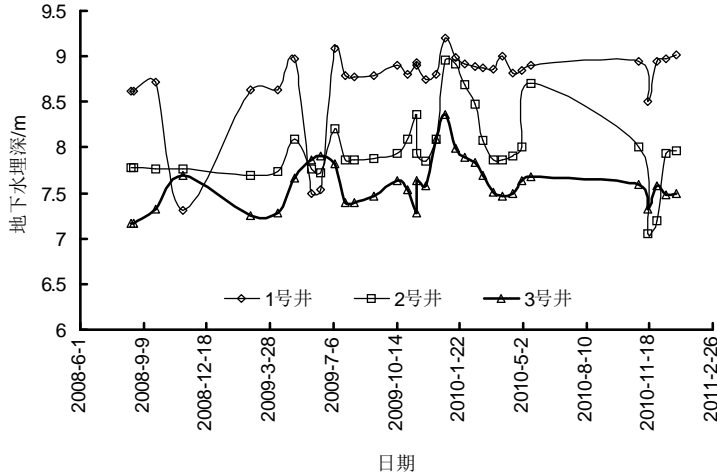


图2 地下水水埋深情况

Fig.2 Ground water table in study area

软件中的 ANOVA 程序;采用 SPSS 软件中的 Regression Liner 模块,通过垂直方向土壤深度、水平方向距滴头不同距离土层与根系分布的相关分析和回归分析来解释两者之间的关系;用软件 Surfer 8.0 中的 Kriging 最优内插法绘制土壤盐分等值线图。

3 结果与分析

对定植 2 年的沙枣林地,通过野外人工滴灌控制试验,控制滴头流量为 8 L/h,年灌溉次数为 10 次,分析在单株滴灌水量 18 L/次、30 L/次、48 L/次处理下,林木根系分布特征。

3.1 不同灌水量下根系生物量特征

2008 年 4 月初在试验样地定植了沙枣一年生扦插苗木,度过缓苗期后于 6 月底进行不同滴灌量处理的滴灌试验,于 2009 年 10 月底对定植 2 年的沙枣进行不同滴灌量处理下的根系生物量调查。郑丹等^[12]在分析塔里木河下游地区地下水与天然植被关系中,认为当地下水位下降到 6~10 m 时,土壤含水量小于凋萎含水量,导致植被衰退;郝兴明等^[13]也得出干旱区内陆河流域荒漠河岸植被正常生长受到抑制的临界地下埋深为 6 m。因此,在研究区地下水埋深为 7.5~9.5 m 的条件下,地下水对林地的水分补给量十分小,因此,不考虑地下水对林木根系的影响。本试验中,沙枣根系生物量分布在垂直方向上表现为:各处理下沙枣根系生物量的垂直分布随土壤深度的增加而呈逐渐减少的趋势(图 3),沙枣根系生物量在 0~60 cm 深处的土层中累计百分比达 86%~100%,根系趋于表层化。Tuzcu 等^[14]在使用不同灌溉方法对柠檬植株根系分布影响的研究中,发现滴灌条件下 40% 的总根量分布在土壤 0~20 cm 处,而畦灌、微喷灌和浇灌分别为 39%、32%、24%,因而滴灌使根系趋于表层化。

由图 3 可以看出,随着滴灌量的减少,根系生物量逐渐减少。通过方差分析,在各不同深度的土层中,18 L/株·次灌水量下的根系生物量与 30 L/株·次、48 L/株·次处理下相比,差异达极显著水平($p < 0.01$)。在灌溉周期为 20 d($T=20$ d)条件下,18 L/株·次灌水量对土壤湿润深度较浅,越接近地表的上层土壤,因大气与地表蒸发造成的土壤水分耗散量也越大。对于定植后 2 年的沙枣来说,在年蒸发量为 2588 mm 的条件下,滴灌提供的水分还未达

到最深根系层深度,其中一部分就开始向上运动,从而使林木根系层土壤含水率达不到根系水分需求而林木衰败。在 30 L/株·次灌水量下,在 60~80 cm 深度土壤含水率还可达到 7%(图 4)。据调查,随土壤含水率的降低,沙枣的株高、根长、茎叶重、根重、茎粗均随之降低。一般情况下,灌水量以浸润范围稍大于根系分布范围为宜。因此,3 种灌水量处理对于 2 年龄的滴灌沙枣林地而言,单次灌水量基本达到了该要求,但是在灌溉周期为 20 d($T=20$ d)条件下,18 L/株·次的灌溉量远不能满足根系的需水要求,但根据根系在两年内的生长发育特点来看,在长灌溉周期($T=20$ d)的条件下,18 L/株·次的灌溉量远不能满足根系的需水要求。因此,在极端干旱地区,在长灌溉周期($T \geq 20$ d)的条件下,2 年定植的沙枣单株灌水量不能少于 18 L/次。将根系全部挖出,发现每一条沙枣根系的延伸方向与主根的夹角多数超过 45 度,先前有研究认为邻近植物的根系重合少,从而达到根系错位利于竞争平衡的目的^[15-16]。

分析 3 种处理下 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 各土层中根系生物量占总生物量的百分比(图 5)。在 18 L/株·次滴灌量处理下,0~20 cm 土层根系生物量占总根系生物量的 52%,48 L/株·次滴灌量处理下,0~20 cm 土层根系生物量占总根系生物量的 61%,30 L/株·次滴灌量处理下,这个百分比为 30%。因此,18 L/株·次与 48 L/株·次处理使沙枣防护林“根系上移”现象明显,根系分布表层化:前者所形成的“根系上移”主要是由于一棵树一次滴灌 18 L 的水量与其他处理相比,对土壤影响的湿润深度较浅所至;后者所形成的“根系上移”主要是由于 48 L 的大灌水量使整个根系层保持土

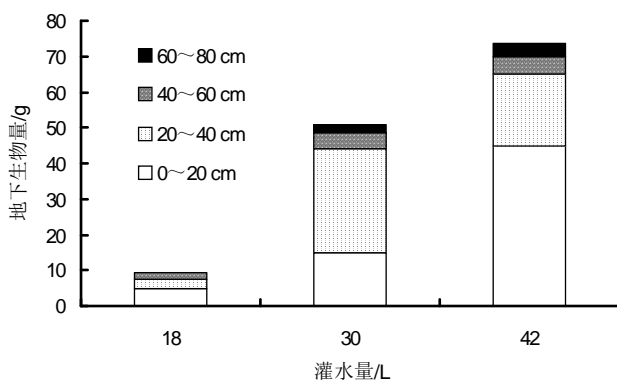


图3 垂直方向根系生物量垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of root biomass

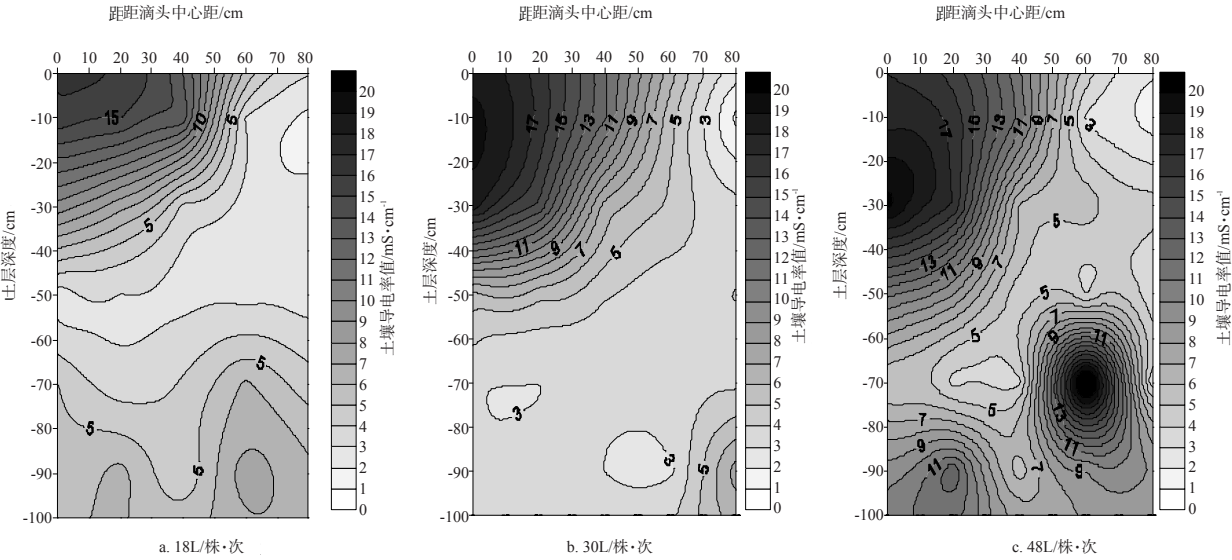


图4 18、30、48 L/株·次处理下土壤含水量 (灌水结束第3天)
Fig.4 Soil moisture in the treatments of 18, 30, 48 L

壤水分的时间较长,据调查,灌水3 d后48 L/株·次灌水量处理下的土壤含水量是18 L/株·次灌水量处理下的3倍多,因而根系对上层土壤水分的吸收利用就越多,本身具浅根性的沙枣在优越的土壤水分条件下减弱了对外界的抗逆性,阻碍了“根系下扎”的能力。据调查,48 L/株·次处理下,垂直方向根的分

布,一大特点为:根系密集层与其他土层在空间上的相互分离,而且这一密集层主要接近地表。根据2008-2010年的根系测量,发现无法称重的毛细根均在60 cm以下,有学者认为正是这种毛细根对植物根系生长发挥着非常重要的作用。美国 Jackson 等认为^[17],在干旱地区,多数植物具有发达的根系,尽管在深层土壤中仅有很少比例的根系存在,但它们在植物生命活动的维持和逆境适应等方面发挥着非常重要的作用。在本试验中,18 L/株·次处理下60~80 cm土层内没有任何毛细根系分布,而30 L/株·次处理下,这一土层内的毛细根重量达到总根量的10%以上,48 L/株·次处理下为7%。

本试验中,在30 L/株·次与48 L/株·次灌水量处理下,比较40~80 cm土层内根系生物量,40~80 cm土层根系生物量在30 L处理下,占总根系生物量的15%,而48 L/株·次处理下为12%。分别在40~60 cm土层、60~80 cm土层内,在30 L/株·次

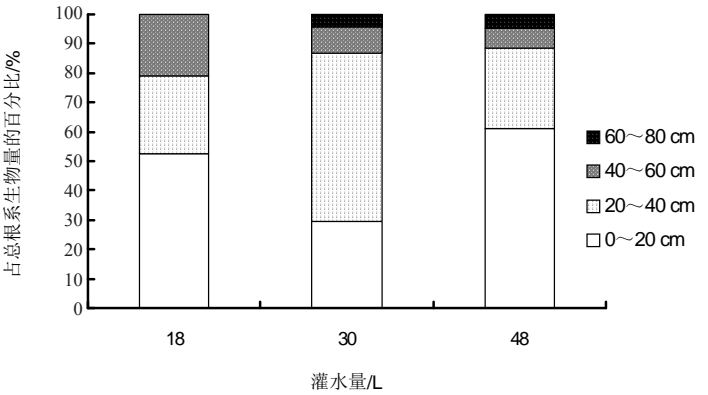


图5 不同土层内生物量占总生物量的百分率
Fig.5 The percentage of the total biomass in different soil layers

与48 L/株·次灌水量处理下,相同土层内根系生物量差异均不显著($p<0.01$)。

赵俊芳等^[18]在不同灌溉处理对旱稻根系生长及水分利用效率的影响的研究中,发现限量灌溉、水分胁迫处理下的根系系统在30 cm以下分布相对较多,中下层土壤中根系占的百分率越高;张岁岐等^[19]发现,当对滴灌玉米进行充分灌溉时,玉米在浅层的根密度大于对照,在水分亏缺条件下,玉米根密度在整个剖面上显著大于对照。由图5,在30 L/株·次灌水量下40~60 cm土层的根系生物量占总根系生物量的比例最大,占60%,48 L处理下,这个值仅为30%。如果说水分亏缺可增加土壤深处的根量而减少靠近土表的根^[20-21],那么,在喀拉米吉绿洲边缘的流动半流动沙地种植沙枣防护林,单株

每次 30 L 会使土壤在一定时期内形成“适度的水分亏缺”。

在 48 L/株·次处理下,土层根系含量 20~40 cm/0~20 cm 的比值较小(仅为 0.6),可能是由于当灌溉量较大时,满足了植物对水分的需求,降低了根系向下伸展的“积极性”;在 30 L/株·次处理下,土层根系含量 20~40 cm/0~20 cm 的比值较大(0.75),可能是由于:当灌溉量适度变小时,植物为了获取更多的水分而维持生长发育,以吸收深层土壤水分为主,其根系向下伸展得比较深,根系所占有的空间也较大,沙枣只有通过增加根系深度补偿土壤水分亏缺、通过根系下扎或增加分支来扩大自己吸收水分、养分的空间,满足植物需求,保持植物体内水分平衡以适应干旱的环境条件。因此,随着灌溉量的适度减少,吸收根集中分布层有向深层发展的趋势,因此,再一次证明了 30 L/株·次处理下,沙枣根系下扎能力高于 48 L/株·次处理。

灌溉方式的多样性用于农作物研究的较多,如滴灌玉米灌溉方式的多样化,玉米在营养生长期(如拔节期)不灌溉条件下玉米根系在深层土壤中的分布较充分灌溉条件下大,保证了玉米对深层土壤水分的充分吸收,而后期(生殖生长)增大灌水延缓了表层根系生长的衰退,产生明显的补偿效应^[19]。

因此,滴灌方式的多样性也可应用于极端干旱区沙枣防护林地的种植中,早期水分亏缺显著降低了沙枣根系在表层的发育,但却促进了根系在深层土壤中的发育,这种发育方式是根系生长与环境相互适应的结果^[22],在当地实行多样化的灌溉方式,如在 6-7 月争水时期(棉林争水)调亏灌溉,8-10 月可适当增加灌水量,或增灌 1~2 次等,但具体的多样

化的灌溉方式还需进一步研究。通过 18 L/株·次、30 L/株·次、48 L/株·次,3 个灌水量处理下,分析了沙枣根系水平方向上的分布(图 6)。

由图 6 可以看出,沙枣根系生物量分布在水平方向上表现为:林地总根系生物量存在以沙枣立木为中心,向四周地递减的分布格局,距滴头距离越远根系分布越来越少,根系分布接近结束,而且灌水量越小,这种趋势越明显。对水平根系生物量累计百分比分析,各灌溉量以植株基茎为圆心,以 90 cm 为半径的圆内生物量均占总根系生物量的 80% 左右。

由于灌水后第 3 d,在 18 L/株·次、30 L/株·次、48 L/株·次处理下,达到 8% 土壤含水率的区域在水平方向上分别可延伸至距滴头 45 cm、45 cm、100

表 1 不同处理下根系层深度与层生物量的关系

Tab.1 Relations of root biomass with depth under different treatments

处理	拟合方程	决定系数
18L·tree ⁻¹	$Y=-4.502x+20.555$	0.891
30L·tree ⁻¹	$Y=-4.004x+16.755$	0.761
48L·tree ⁻¹	$Y=-0.855x+3.253$	0.895

注:Y 为根系层生物量(g);x 为根系层深度(cm)。

表 2 不同处理下距滴头距离与土层内生物量的关系

Tab.2 Relationship of root biomass in soil layer with the distance from the emitter under different treatments

处理	拟合方程	决定系数
18L·tree ⁻¹	$Y=-1.784x+6.960$	0.824
30L·tree ⁻¹	$Y=-5.332x+23.813$	0.992
48L·tree ⁻¹	$Y=-11.741x+47.46$	0.828

注:Y 为根系层生物量(g);x 为距滴头水平距离(cm)。

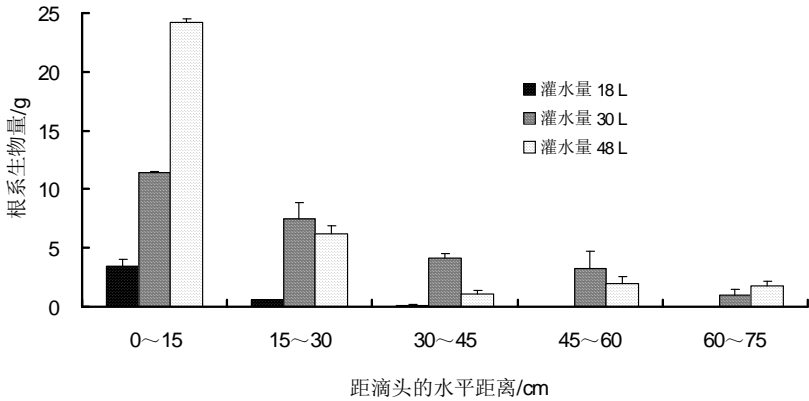


图 6 根系生物量水平分布
Fig.6 Horizontal distribution of root biomass

cm 远处(图 3)。据试验测量结果显示,沙枣根系的水平分布在 18 L/株·次、30 L/株·次、48 L/株·次的灌水量处理下分别不超过 45 cm、45 cm、100 cm 远。通过对垂直采样层深度与相应层的根系生物量进行相关分析,3 种处理下根系生物量与垂直采样层深度呈负线性关系(表 1、表 2)。

3.2 不同灌水量下根系数量特征与根冠比

根据根系功能划分,可以将根系划分为输导根和吸收根。对于草本和小灌木而言,直径 $\varphi > 2\text{ mm}$ 的根系为输导根,其主要作用是水分和养分的输导; $\varphi \leq 2\text{ mm}$ 的根为吸收根,主要进行水分和营养物质的吸收,由于本试验研究对象为 2 年的树木根系,可以将根系直径划分为 3 个水平: $\varphi \geq 5\text{ mm}$ 、 $5\text{ mm} > \varphi > 2\text{ mm}$ 及 $\varphi \leq 2\text{ mm}$ 。图 7 为沙枣根系数量随不同灌水量变化的特征图。在研究区滴灌沙枣防护林粗根数量随着滴灌量的增大而增多(图 7),但是,细根数量却不一定: $\varphi \leq 2\text{ mm}$ 的根在适度缺水条件下(30 L/株·次)数量最多,比 48 L/株·次处理下多 14.3%。对于 $\varphi \leq 2\text{ mm}$ 的根数量而言,30 L/株·次处理下比 48 L/株·次处理多 12.1%。对于 $5\text{ mm} > \varphi > 2\text{ mm}$ 的根系数量而言,18 L/株·次处理下比 30 L/株·次处理多 23.2%;因此,滴灌沙枣防护林粗根数与滴灌量成比例增长,而细根数与滴灌量不成比例。

通过多年调查,无论粗根还是细根,滴灌沙枣幼林根系分布密集带在 0~40 cm 土壤层范围内。单株单次滴灌水量中,无论是 18 L 处理,还是 30、48 L 处理, $\varphi \geq 5\text{ mm}$ 的粗根均只存在于 40 cm 以上的土壤中,因此,可以说对滴灌沙枣幼林的灌溉,即使是大灌水量处理,对粗根往地下深处的蔓延的促进作用也较小,在形态特征上只表现为根系面积的扩大,如表 3 中,根幅与冠幅的比值可达 4.17。

根冠比为根系干重与地上部干物质的比例,根冠比越大,说明分布于根系的物质越多,根系越发达,对土壤深层水的利用也越多。土壤水分变化影响根系生长发育、分布和吸水特征,最终影响地上部生长发育。前学者认为由于土壤干旱时,植物体地上部分生长受抑制的程度较根系明显,因而干旱有利于增加植物体的根冠比^[23]。

胡晓棠等^[24]在 90% θ (田间持水量)、75% θ 、60% θ 的土壤含水率梯度下,得出棉花根冠比随着

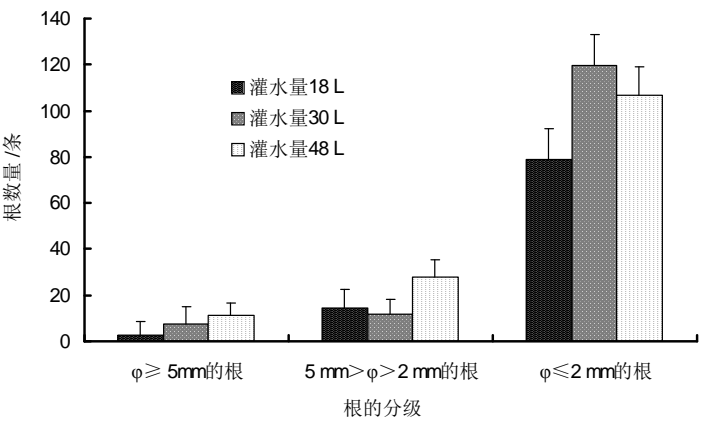


图 7 不同灌水量下沙枣根的数量
Fig.7 Amount of Angustifolia roots under different treatments

表 3 各灌水量处理下根冠比特征

Tab.3 Root/shoot ratio in different treatments			
不同处理	根长/株高	根深/株高	根幅/冠幅
18 L	0.92±0.25	0.61±0.13	1.98±1.41
30 L	0.61±0.10	0.46±0.19	2.28±2.83
48 L	1.10±0.02	0.49±0.01	4.17±4.95

土壤湿度的增加有减少的趋势,90% θ 的处理下根冠比最低,盛花期以 60% θ 处理下的根冠比最大,盛花期后由于 75% θ 处理根系生长最快,根冠比也最高。而在本试验中,根深/株高这一指标与前人所得结论基本一致,而根幅/冠幅指标是随着灌水量的增大而增大(表 3)。可能是由于土壤干旱时,植物体地上部分生长受抑制的程度较根系明显。

4 结论与讨论

(1) 在灌溉周期 20 天的条件下,沙枣林木 18 L/株·次的灌水量达不到根系需水的基本要求,根系不能向深处扎根,根系范围基本在刚种植于试验田的土壤范围内,地下部分衰弱,导致地上部分衰败,该灌水量在长周期灌水条件下($T \geq 20\text{ d}$)不易采用。

(2) 灌水量梯度不断增加后,导致了根系总生物量随之增加,但不会持续地促进林木根系的下扎深度,因此,即使用 48 L 的灌水量形成更深的土壤湿润层,林木根系下扎能力与深度没有表现出随之增加的趋势。不同的灌溉制度也会影响根系的发育,进而影响根系的吸水能力,限量供水可以增加植物对深层土壤贮水的利用程度。本试验结果发现,沙枣生长期水分适量亏缺促进了深层根系的发育,建议在一年中的后两次滴灌中增加灌水量则会

延缓表层根系衰老,产生补偿效应,因此,沙地防护林实行多样化滴灌可充分利用不同时期补偿效应的差异实现农业节水。

(3) 定植2年的滴灌沙枣林根系主要耗水层在0~50 cm或0~60 cm以内,通过适当水分亏缺而促进林木根系下扎去最终够及地下潜水,这是该试验的最终目的。虽然沙枣根系垂向深度逐年增加,但由于研究区地下水位多大于6 m,据调查大田内,定植1、2、3年的沙枣根系分布深度分别为30~40 cm、40~50 cm、70~80 cm。因此,研究区滴灌防护林根系不靠人工辅助而自动找地下潜水在种植的前3年难以实现,防护效益在短期内不能发挥出良好的生态和经济效益,不能满足我们的现实需求时间尺度,而是需要4~5年、5~6年,甚至更漫长的时间。

参考文献

- [1] 齐广平, 张恩和. 膜下滴灌条件下不同灌溉量对番茄根系分布和产量的影响. 中国沙漠, 2009, 29(3): 15-19.
- [2] 梁少民, 张希明, 曾凡江, 等. 沙漠腹地乔木状沙拐枣对灌水量的生理生态响应. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1348-1353.
- [3] 方志刚, 马富裕, 崔静, 等. 加工番茄膜下滴灌根系分布规律的研究. 新疆农业科学, 2008, 45(1): 15-20.
- [4] 杨贵羽, 罗远培, 李保国, 等. 不同土壤水分处理对冬小麦根冠生长的影响. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 104-109.
- [5] 李运生, 王菱, 刘士平, 等. 土壤-根系界面水分调控措施对冬小麦根系产量的影响. 生态学报, 2002, 22(10): 1080-1087.
- [6] 方怡向, 赵成义, 串志强, 等. 膜下滴灌条件下水分对棉花根系分布特征的影响. 水土保持学报, 2007, 21(5): 96-100.
- [7] 孙旭伟, 李生字, 徐新文, 等. 塔克拉玛干沙漠夏季保墒措施对沙拐枣幼林土壤水分及林木生长的影响. 水土保持通报, 2010, 30(4): 97-102.
- [8] 王晓静, 徐新文, 雷加强, 等. 沙漠腹地咸水滴灌条件下沙漠公路防护林根系垂直分布特征. 中国科学, 2008, 53(增II): 69-73.
- [9] 单立山, 张希明, 花永辉, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地梭梭幼苗根系分布特征对不同灌溉量的响应. 植物生态学报, 2007, 3(5): 769-776.
- [10] 孙景宽, 张文辉, 陆兆华, 等. 沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)和孩儿拳头(*Grewia. Biloba G. Don var. parviflora*)幼苗气体交换特征与保护酶对干旱胁迫的响应. 生态学报, 2009, 29(3): 1330-1340.
- [11] 黄俊华, 买买提江, 杨昌友, 等. 沙枣(*Elaeagnus angustifolia* L.)研究现状与展望. 中国野生植物资源, 2005, 24(3): 26-29.
- [12] 郑丹, 李卫红. 干旱区地下水与天然植被关系研究综述. 资源科学, 2005, 27(4): 160-167.
- [13] 郝兴明, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游荒漠河岸林植被对地下水埋深变化的响应. 地理学报, 2008, 63(11): 1123-1130.
- [14] Tuzcu O, Çevik B, Kaplankiran M. Influence of different irrigation methods on nutrient uptake of lemon trees. Advances in Horticultural Science, 1988, 2(3): 79-83.
- [15] 陈伟, 薛立. 根系间的相互作用: 竞争与互利. 生态学报, 2004, 24(6): 1243-1251.
- [16] Hipondoka M H, Aranibar J N, Chirara C, et al. Vertical distribution of grass and tree roots in arid ecosystems of Southern Africa: Niche differentiation or competition. Journal of Arid, 2003, 54(2): 319-325.
- [17] Jackson R B, Canadell J, Ehleringer J R, et al. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Ecologia, 1996, 108(3): 389-441.
- [18] 赵俊芳, 杨晓光, 陈斌, 等. 不同灌溉处理对旱稻根系生长及水分利用效率的影响. 中国农业气象, 2004, 25(4): 44-48.
- [19] 张岁岐, 周小平, 慕自新, 等. 不同灌溉制度对玉米根系生长及水分利用效率的影响. 农业工程学报, 2009, 25(10): 1-6.
- [20] Gallardo M, Jackson L E, Schulbach K. et al. Production and water use in lettuces under variable water supply. Irrigation science, 1996, 16(3): 125-137.
- [21] 何华, 康绍忠, 曹红霞. 地下滴灌埋管深度对冬小麦根冠生长及水分利用效率的影响. 农业工程学报, 2001, 17(6): 31-34.
- [22] Pasternak T, Rudas V, Potters G, et al. Morphogenic effects of abiotic stress: Reorientation of growth in *Arabidopsis thaliana* seedlings. Environmental and Experimental Botany, 2005, 53(3): 299-314.
- [23] David R T, Andrew B C. Manipulation of density of *Pseudotsuga menziesii* canopies: Preliminary effects on understory vegetation. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(9): 1513-1525.
- [24] 胡晓荣, 陈虎, 王静, 等. 不同土壤湿度对膜下滴灌棉花根系生长和分布的影响. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1682-1689.

Characteristics of the Root of Drip Irrigated *Elaeagnus angustifolia* with Different Irrigation Amounts in Extremely Arid Areas

ZHAO Xinfeng¹, XU Hailiang^{1,2}, LIU Xinhua¹, ZHANG Peng¹, LIU Zhiyou³, HONG Hui⁴

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Urumqi 830011, China; 2. Water Balancing Test Station of Chinese Academy of Sciences, Aral 843300, Xinjiang, China; 3. Station of Forestry Management, Korla 841507, China; 4. Xinjiang Administration of Tarim River Basin, Korla 841000, China)

Abstract: Distribution of the roots of drip irrigated *Elaeagnus angustifolia* with different irrigation amounts were investigated and the influence of root on soil water content was analyzed in extremely arid areas on Kalamiji oasis in the lower reaches of the Tarim River. Three treatments were: 18 L, 30 L and 48 L each time one tree. This paper conducted a study on root biomass density and roots quantity. The results are shown as follows. (1) After long-term use of drip irrigation, most of *Elaeagnus angustifolia* root is distributed in the shallow soil layer (0 ~ 40 cm), and root branching ability reduces with the increase of soil depth. The root biomass of *Elaeagnus angustifolia* in the 0-60 cm soil is up to 86% in the cumulative percentage. (2) The higher amount of irrigation resulted in enhancement in the total root biomass, but did not lead to the development of the root system in the deep layer. Therefore, by using the irrigation quota of 48 L formed a deeper layer of soil moisture, the ability of striking-root did not show an increasing trend with the larger irrigation amount, namely, the capacity of deepening and depth of the roots did not increase with the increased irrigation amounts. In treatment 48 L, the ratio of soil root content in the layers of 20 ~ 40 cm/0 ~ 20 cm is small (only 0.6), and biomass is mainly concentrated in the surface; in treatment 30 L, the ratio of soil root content in the layers of 20-40 cm/0-20 cm is larger (0.75). (3) Roots of ≥ 5 mm increases with the increase in the amount of drip irrigation. In treatment 30 L, roots of 5 mm $\geq \varphi \geq 2$ mm occupy the largest part of all. In treatment 18 L, there are the smallest numbers of thick roots ($\varphi \geq 5$ mm) and fine roots ($\varphi \leq 2$ mm). It is proposed that, to achieve the sustainable development of shelterbelt system in the extreme arid areas, large-scale irrigation of shelterbelt system should be taken in a variety of irrigation measures: to take the appropriate deficit irrigation in the season of competition for water between cotton and shelterbelt (from May to July), and the irrigation quota can be increased or the irrigation can be done 1-2 times after August.

Key words: drip irrigation; different irrigation amounts; *Elaeagnus angustifolia* shelterbelt; root; the lower reaches of Tarim River

本文引用格式:

赵新风, 徐海量, 刘新华, 等. 极度干旱区不同灌水量下沙枣防护林根系分布特征. 地理科学进展, 2012, 31(5): 646-654.