

# 梭梭幼苗建成对积雪厚度的响应

吕朝燕<sup>1,2</sup>, 张希明<sup>2</sup>, 高智席<sup>1</sup>, 韩畅<sup>1</sup>, 张宝成<sup>1</sup>, 王加真<sup>1</sup>

(1. 遵义师范学院 生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563006; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 幼苗建成过程是植物自然更新能否成功的关键阶段。对于干旱区而言, 水分是幼苗建成过程的关键限制性环境影响因子。该研究选择梭梭典型自然生境、模拟不同年份积雪厚度状况, 共设置 16、28、48、72 mm 4 种供水量梯度, 研究了梭梭幼苗生长尤其是根系生长与土壤水分变化间的耦合关系。结果表明: 受土壤水分变化的影响, 梭梭幼苗生长过程具有明显的季节性。生长季早期(4—6 月), 幼苗的根冠比处于整个生长季的最高水平, 垂直根长是幼苗高度的 8~10 倍, 垂直根生长速率是高生长速率的 7~11 倍。生长季早期(4—6 月)和后期(9—10 月), 72 mm 供水处理梭梭幼苗根冠比均大于 28 mm 和 48 mm 处理。72 mm 供水处理, 其根系深度在不同时期均达到了相应表层土壤水分下降后相对较好的较深层次, 保证了梭梭幼苗的正常生长。而 28 mm 和 48 mm 处理, 其根系生长未能在干旱到来时达到相应土壤水分较好的层次, 不利于幼苗的生长。综上, 积雪厚度所引起的土壤水分变化深刻地影响着梭梭幼苗的生长和生物量分配, 积雪厚度的增大将有利于梭梭幼苗尤其是根系的早期快速生长, 进而利用更深层次的土壤水分, 以此度过严酷的干旱时期, 实现幼苗的建成。

**关键词:** 梭梭; 积雪厚度; 幼苗生长; 生物量分配; 土壤水分

**中图分类号:** S 793.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)08-0183-07

广义的自然更新包含了多方面的生态过程, 包括植物的开花和结实、种子扩散和萌发、幼苗建成和生长、植物种子繁殖过程等<sup>[1]</sup>。其中, 幼苗建成过程是指植物从种子萌发到幼苗长成、存活并具备自我维持能力, 这一阶段是植物自然更新能否成功的关键阶段。环境因子在幼苗建成过程中起着关键作用。对于干旱区来说, 水分是其主要的环境限制因子。冬季降雪作为古尔班通古特沙漠重要的水分补给来源, 能够入渗到土壤中的水分成为沙漠植物赖以生存的水源。早春积雪融化以后, 随着气温逐渐升高, 加之降雨稀少, 由于沙粒间较大的孔隙使得表

面蒸发剧烈, 而在沙土表面形成干沙层。干沙层的出现抑制了深层土壤水向浅层的迁移作用, 从而减小了沙土的表面蒸发, 有利于沙土将更多的土壤水滞留在深层土体中<sup>[2-6]</sup>。随着时间的推移, 适合植物生长的湿沙层逐渐下降, 或者说不适合植物生长的干沙层逐渐加厚。为了能够有效地从沙层中获得水分, 植物根系的伸长速度必须大于湿沙层下降的速度<sup>[7]</sup>。根系生长速度反映了植物对干旱环境的响应, 幼苗的根系能否到达维持其存活的稳定水源是幼苗建成能否完成的关键<sup>[8]</sup>。因而, 幼苗建成过程, 尤其是荒漠地区严酷环境条件下的幼苗建成过程, 越来越受到研究者的重视。

梭梭 (*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey) Bunge) 属藜科 (Chenopodiaceae) 梭梭属 (*Haloxylon* Bunge) 灌木或小乔木, 是国家渐危三级保护植物<sup>[9]</sup>, 是古尔班通古特沙漠典型的沙生植物。以梭梭为建群种的植物群落适应了古尔班通古特沙漠恶劣的自然条件, 是古尔班通古特沙漠荒漠植被的主体, 也是该荒漠地区重要的生态屏障。梭梭在该地区广泛分布, 其分布面积占我国梭梭总面积的 68.2%<sup>[10]</sup>。然而, 随着人类活动强度的加剧以及全球环境的变化,

**第一作者简介:** 吕朝燕(1985-), 男, 重庆巴南人, 博士, 副教授, 现主要从事植物资源利用与植物生态学和种子生态学等研究工作。E-mail: lvchaoyan1985@126.com.

**基金项目:** 贵州省高层次人才培养资助项目(遵市科合人才[2016]3 号); 贵州省教育厅自然科学资助项目(黔教合 KY 字[2015]409 号); 贵州省教育厅创新群体重大研究资助项目(黔教合 KY 字[2016]047 号); 国家自然科学基金资助项目(30870472)。

**收稿日期:** 2016-12-19

梭梭种群在该地区退化明显,分布面积也逐渐萎缩。鉴于梭梭在该地区荒漠生态系统中的极端重要性,为了更好的对梭梭种群进行恢复和保育,梭梭相关的研究也越来越受到研究者的重视,现有的相关研究主要集中在梭梭的种群动态<sup>[11-14]</sup>、梭梭林土壤水分状况<sup>[15]</sup>、种子生理<sup>[16-18]</sup>、梭梭林更新复壮技术<sup>[10]</sup>等方面。对于关键环境因子对梭梭幼苗建成过程的影响方面,相关研究相对缺乏。该研究选择古尔班通古特沙漠边缘丘间地上梭梭原生生境布设人工模拟控制试验,监测不同模拟积雪厚度下梭梭幼苗的生长动态,对梭梭幼苗的生长速率、生物量分配等进行了深入分析,阐明梭梭幼苗生长对模拟积雪厚度的响应,重点关注梭梭幼苗根系生长与土壤水分变化间的耦合关系,以期对梭梭幼苗建成过程研究提供科学的试验支撑,进而为梭梭种群的人工保育提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验区位于新疆维吾尔自治区阜康市北沙窝地区,地处北纬 44°13.416',东经 88°0.349',海拔 458 m,处于准噶尔盆地古尔班通古特沙漠南缘。该地区由于地处欧亚大陆腹地,属于温带大陆性气候,冬季寒冷,夏季炎热干燥。年均温 6~10℃,夏季最热月均温 24~27℃,极端最高气温>40℃;冬季最冷月均温-20~-15℃,极端最低气温<-40℃。年平均降雨量约 150 mm,且主要集中在 5—9 月,占年降雨量的 70%~80%,而年蒸发量>2 000 mm。冬季稳定积雪日数 100~160 d,积雪深度多在 10~30 cm,3 月中旬积雪融化,约占年降水量的 30%<sup>[19]</sup>。梭梭多分布于沙漠南缘固定沙丘间,土壤一般为荒漠碱土。丘间地植被以梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)为建群种,伴生有粗柄独尾草(*Eremurus inderiensis*)、尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxycorythum*)、沙漠绢蒿(*Seriphidium santolinum*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)及叉毛蓬(*Petrosimonia sibirica*)等<sup>[20]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 根据准噶尔盆地冬季积雪厚度的年份差异,模拟不同厚度冬季积雪融水对土壤水分的补充,在积雪融化的 3 月底 4 月初,采用一次供水的方式,设置不同的供水量梯度,进行梭梭幼苗建成试验。共设置 8 m×10 m 的试验样地 4 块,样地间隔 10~20 m,并在下雪前对所有样地进行薄膜覆盖,以排除自然降雪对试验样地供水梯度布设的影响,以备进行统一的供水处理。根据当地年鉴资料,

1961—1980 年冬季平均积雪厚度在 21~30 mm。以此为依据,试验共设置 16、28、48、72 mm 4 个供水梯度。以 1 m<sup>2</sup> 为 1 个处理,每处理穴播梭梭种子 10~20 粒,播种深度统一为梭梭种子最适宜的 0.5 cm 埋深<sup>[21]</sup>。并在种子萌发出土后进行适当的疏苗,尽量保证每个处理只有 1 株幼苗存活,以排除幼苗之间的相互影响。每个供水梯度设置 40 个处理即重复 40 次,共设置 160 个处理。其中,16 mm 供水量处理由于少量种子萌发出土后,短时间内幼苗全部死亡,未纳入后续观测。播种和供水完成以后,以 1 个月为间隔,在进行地上部分生长观测的同时,采用壕沟法和水冲法相结合的方式对根系进行挖掘,即在距离梭梭幼苗 0.5 m 处挖一壕沟,其横截面约 0.5 m×1.5 m,深度随幼苗根系的生长逐渐加深(保证大于幼苗垂直根长),然后用喷雾器将植株周围的沙土冲入壕沟中,并不断清理沟中沉积的沙土,直至整个根系冲出为止,挖掘过程中要尽量保证挖掘根系的完整。每次挖掘 6 个处理,整个生长季共挖掘 6 次。

1.2.2 土壤水分的监测 在每一样地布设一套 Em 50(ICT international, NSW, Australia)土壤水分数据自动采集系统,每套数据采集系统包括 5 个 5TE (ICT international, NSW, Australia)土壤水分探头,分别布设在 20、40、60、120、180 cm 土壤深度,以此监测不同模拟积雪厚度下各样地不同深度土壤含水率的动态变化。

### 1.3 项目测定

采用幼苗高度、垂直根长度、地上、地下部分干质量以及根冠比等随时间的变化来描述不同模拟积雪厚度下梭梭幼苗的生长情况。同时,计算苗高、垂直根绝对生长率<sup>[22]</sup>。

绝对高度生长率计算公式为:

$$AHGR(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}) = dH/dt$$

式中: $H$  为时间  $t$  时的生长高度; $t$  为生长天数。垂直根生长率计算同上。

### 1.4 数据分析

对不同模拟积雪厚度下梭梭幼苗高增长率、垂直根长增长率、根冠比等指标进行单因素方差分析(One-way ANOVA),差异显著度水平为 0.05。采用 SPSS 16.0 软件中最小显著差异法(LSD)对不同水分处理条件下梭梭幼苗高增长率、垂直根长增长率、根冠比等指标进行多重比较,以确定其差异是否达到差异显著性水平( $P<0.05$ )。并且,试验数据采用 Excel 2016 软件进行分析及制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同模拟积雪厚度下梭梭幼苗生长动态

梭梭幼苗地上部生长测定表明,4—6月幼苗地上部生长较慢,高增长量、地上干物质累积量均较少,高增长速率较慢。6—8月是幼苗地上部整个生长季生长最快的时期,高度、地上部干质量迅速增加,高生长速率处于全年的最高水平。9—10月幼苗地上部的生长速率放缓,高度、地上部干质量缓慢增加,处于相对稳定的状态。

整个生长季不同时期不同供水量处理下,梭梭幼苗高度、地上部干质量、高生长速率没有随供水量的增加而呈现规律性增长。生长季前期(4—7月),不同供水量处理幼苗高度、地上部干质量、高生长速率差异不显著( $P < 0.05$ )。生长季后期(8—10月),72 mm 供水处理幼苗高度、地上部干质量、高生长速率均大于 28 mm 和 48 mm 处理,且差异显著( $P < 0.05$ )。28 mm 和 48 mm 供水处理幼苗的高度、地上部干质量、高生长速率差异不显著( $P < 0.05$ )。整体来看,供水较多的处理(72 mm),幼苗地上部的生长好于供水较少的处理(28、48 mm)(图 1~3)。

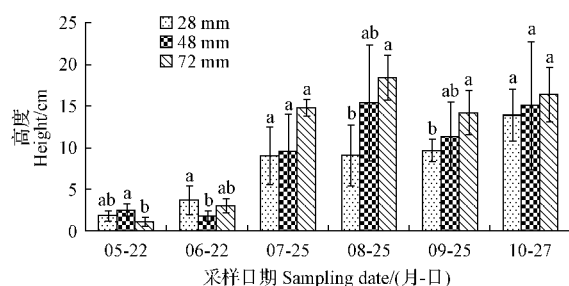


图 1 不同供水量下幼苗高度随时间的变化

Fig. 1 Temporal variation of seedling height in different water supply

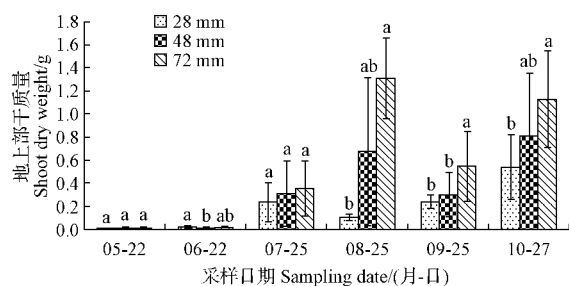


图 2 不同供水量下幼苗地上部干质量随时间的变化

Fig. 2 Temporal variation of shoot dry weight in different water supply

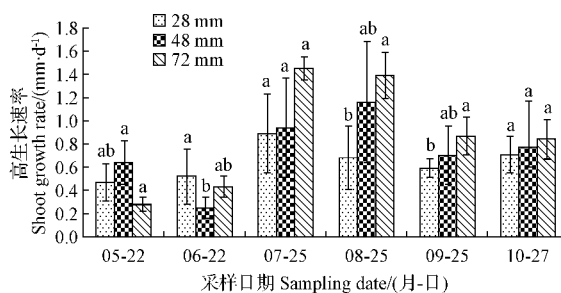


图 3 不同供水量下幼苗高生长速率随时间的变化

Fig. 3 Temporal variation of seedling height growth rate in different water supply

梭梭幼苗地下部(根系)生长分析表明,4—6月梭梭根系生长较快,垂直根长增加明显,垂直根生长速率较高。7—8月是幼苗根系生长最快的时期,垂直根长快速增加,地下部干物质累积明显增加,垂直根生长速率处于整个生长季的最高水平。9—10月根系的生长速率放缓,垂直根长、地下部干质量缓慢增加,处于相对稳定的状态。

整个生长季不同时期不同供水量处理下,梭梭幼苗高度、地上部干质量、垂直根生长速率没有随供水量的增加而呈现规律性增长。生长季早期(4—7月),不同供水处理幼苗垂直根长、地下部干质量、垂直根生长速率差异不显著( $P < 0.05$ )。生长季后期(8—10月),48、72 mm 供水处理幼苗的垂直根长、地下部干质量、垂直根生长速率大于 28 mm 供水,且差异显著( $P < 0.05$ )。48 mm 和 72 mm 供水处理幼苗的垂直根长、地下部干质量、垂直根生长速率差异不显著( $P < 0.05$ )。整体来看,供水较多的处理(72、48 mm),幼苗地下部的生长好于供水较少的处理(28 mm)(图 4~6)。

根冠比分析表明,4—6月梭梭根系的生长显著好于地上部的生长。此阶段幼苗的根冠比属于整个

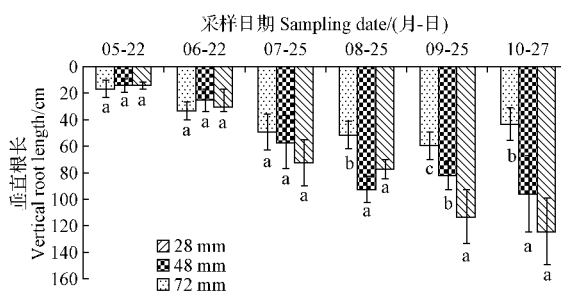


图 4 不同供水量下幼苗垂直根长随时间的变化

Fig. 4 Temporal variation of seedling vertical root length in different water supply

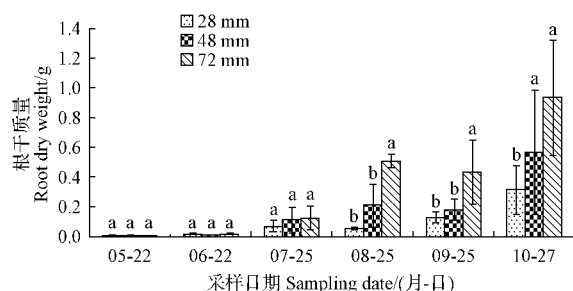


图5 不同供水量下幼苗根干质量随时间的变化

Fig. 5 Temporal variation of seedling root dry weight in different water supply

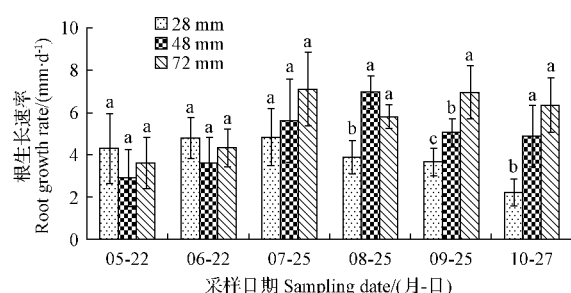


图6 不同供水量下幼苗根生长速率随时间的变化

Fig. 6 Temporal variation of seedling root growth rate in different water supply

生长季最高的水平(图7)。同时,这一阶段梭梭垂直根长是幼苗高度的8~10倍,垂直根生长速率是高生长速率的7~11倍(图1、3、4、6)。7—8月幼苗根冠比处于整个生长季较低的水平。9—10月幼苗根冠比逐渐增加,生物量分配再次向根系倾斜。

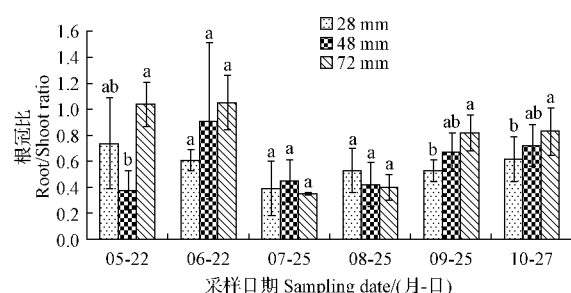


图7 不同供水量下幼苗根冠比随时间的变化

Fig. 7 Temporal variation of seedling root/shoot ratio in different water supply

同时,不同时期不同模拟积雪厚度处理间幼苗根冠比没有表现出明显的规律性。生长季初期(4—5月),72 mm供水处理幼苗的根冠比显著高于28、48 mm供水,28 mm和48 mm供水处理幼苗根冠比差异不显著( $P < 0.05$ )。生长季中期(6—8月),不同

供水处理幼苗根冠比差异不显著( $P < 0.05$ )。生长季后期(9—10月),72 mm供水处理幼苗的根冠比显著高于28、48 mm供水处理,28 mm和48 mm供水处理幼苗根冠比差异不显著( $P < 0.05$ )。整体来看,供水较多的处理(72 mm)幼苗根冠比大于供水较少的处理(28、48 mm)(图7)。

## 2.2 不同模拟积雪厚度下梭梭幼苗根系生长与土壤水分的关系

不同供水处理各深度土壤含水率分析表明,28、48 mm供水影响到60 cm左右土壤深度。28 mm供水处理20、40 cm土层土壤含水率在供水完成以后迅速增加,60 cm土层土壤含水率在供水完成以后缓慢增加,表现出一定的滞后。48 mm供水处理20、40、60 cm土层土壤含水率均在供水完成以后迅速增加。72 mm供水影响到180 cm左右土壤深度,供水完成以后,20、40、60、120 cm土层土壤含水率均迅速增加,180 cm土层土壤含水率在供水完成以后1个半月左右开始迅速增加,表现出一定的滞后。此后,不同供水处理各土层土壤含水率均逐渐下降,浅层(20、40、60 cm)土壤含水率下降较快。72 mm供水处理深层(120、180 cm)土壤含水率也逐渐缓慢下降(图8~10)。

同时,对土壤含水率与幼苗根系生长的关系进行了分析,结果表明,4—7月各供水处理梭梭幼苗的根系均生长到60 cm左右的土壤层次。此阶段各供水处理,20、40、60 cm各土层土壤含水率随时间迅速下降。20 cm土层土壤含水率波动较大,总体呈下降趋势。40、60 cm土层土壤含水率下降速度相对较慢。到7月中为止,这2个层次土壤含水率在0~180 cm土壤中处于相对较高的水平。可见,4—7月各供水处理幼苗根系的生长同土壤水分变化相适应,达到了土壤水分相对较好的层次。8—10月,28、48 mm供水处理20、40、60 cm土层土壤含水率迅速降低,120 cm土壤含水率有少量的增加。此阶段,28 mm供水处理幼苗根系生长到70 cm左右的土壤层次,没有达到土壤水分相对较好的较深土层(120 cm左右及以下土层为生长季后期土壤水分相对较好层次)。48 mm供水处理幼苗根系生长到90~100 cm土壤层次,基本达到了土壤水分相对较好的较深土层。72 mm供水处理,0~120 cm土壤层次土壤含水率均迅速降低。该处理下,幼苗根系生长到120 cm左右的土壤层次,达到了土壤水分相对较好的较深土层(图4、8~10)。

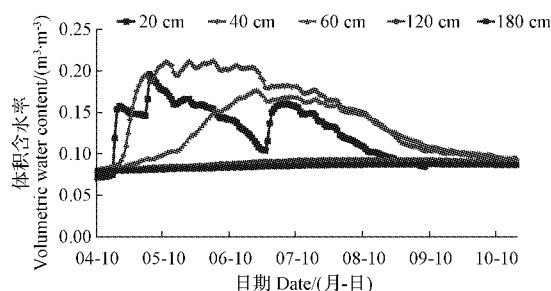


图 8 28 mm 供水量下土壤含水率随时间的变化

Fig. 8 Temporal variation of soil water content in 28 mm water supply

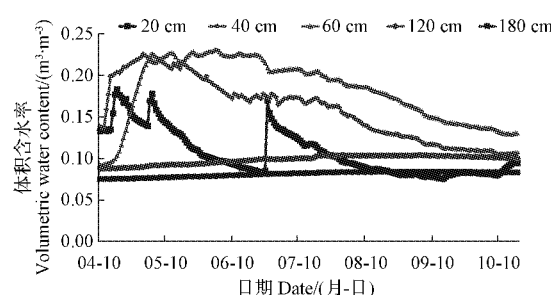


图 9 48 mm 供水量下土壤含水率随时间的变化

Fig. 9 Temporal variation of soil water content in 48 mm water supply

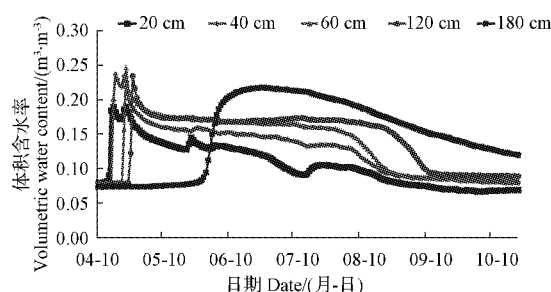


图 10 72 mm 积雪厚度下土壤含水率随时间的变化

Fig. 10 Temporal variation of soil water content in 72 mm snow depth

### 3 讨论

#### 3.1 模拟积雪厚度对梭梭幼苗生长的影响

土壤水分变化是干旱区生态环境变化的重要影响因素<sup>[23]</sup>,水分是维系荒漠植物发育最主要的制约因素。而生长行为是由植物本身的生物特性所决定的,荒漠植物均以自己的生长策略对于干旱表现出独特的响应策略<sup>[24]</sup>。生长季早期(4—6月),供水量对梭梭幼苗的高度、垂直根长、地上、地下部干质量、根冠比等影响均不显著。这与刘国军等<sup>[25]</sup>的研究结论

一致。此阶段气温处于逐渐上升时期,地表蒸发较弱。同时,浅层土壤含水率受冬季融雪补充的影响处于全年最好的水平,可以满足幼苗生长的需要。并且,此阶段为幼苗生长初期,幼苗对水分等资源的需求也相对较少。7月开始,气温逐渐达到全年最高水平,地表蒸发强烈,浅层土壤水分含量降低。同时,降雨稀少,梭梭幼苗生长的环境条件日趋恶劣。由于模拟积雪厚度较大(48、72 mm)的处理幼苗早期土壤得到水分较多,生长良好,垂直根可以到达土壤水分相对更好的更深层次,其后期生长也较好。此阶段,模拟积雪厚度较大(48、72 mm)的梭梭幼苗其高度、垂直根长、地上、地下部干质量、根冠比等均好于模拟积雪厚度较小(28 mm)的梭梭幼苗。

趋利弊害是生物适应环境的本能,当植物受到环境条件的胁迫时一般会调整物质分配来尽量减少环境条件对其生长发育造成的影响。受环境因子的影响,植物地上和地下生长过程具有明显的季节性<sup>[26-27]</sup>。生长季早期,土壤中垂直根生长较早且生长速度较快<sup>[28-29]</sup>。梭梭幼苗生长季早期(4—6月),幼苗的根冠比处于整个生长季的最高水平,垂直根长是幼苗高度的8~10倍,垂直根生长速率是高生长速率的7~11倍。魏疆等<sup>[30]</sup>在塔克拉玛干沙漠腹地对梭梭幼苗的生长研究中也观测到了类似的现象。很多研究结果表明,生长季早期,垂直根在适宜的温度下生长速度较快<sup>[28]</sup>,增加垂直根生长可以明显的增加水分吸收<sup>[31]</sup>,同时在夏季可以有效的利用深层土壤水<sup>[32]</sup>,这样有利于苗木在干旱期利用地下水资源维持其成活和生长<sup>[33]</sup>。总的来说,整个生长季除7—8月外,模拟积雪厚度较大(72 mm)的处理梭梭幼苗其根冠比大于模拟积雪厚度较小(28、48 mm)的处理。这说明模拟积雪厚度较厚的情况下,梭梭幼苗在气温相对较低的春末夏初(4—5月)和初秋(9—10月)这2个相对适合幼苗生长的时间段,将更多的资源优先分配给根系生长,体现了梭梭幼苗生长对于沙漠环境的积极适应。梭梭在水分条件较好、气温适宜的情况下,根系优先生长,这有利于其对水分的吸收<sup>[29]</sup>,同时其在夏季也可以利用深层土壤水<sup>[28]</sup>,这是梭梭幼苗适应沙漠环境的结果。正如LLORET等<sup>[33]</sup>研究地中海灌木生态系统时所指出的,大多数幼苗死亡发生在生命周期中的第一个干旱期,因此在干旱期来临之前,幼苗根系的快速生长对其成活起决定性作用。这意味着根系高速生长在时间上的优先有利于幼苗的成活与生长。

### 3.2 梭梭幼苗根系生长与土壤垂直水分变化的响应关系

在干旱的沙地生境中,土壤水分无疑是沙生植物生存的一个主要限制因子。而发达的根系是沙生植物吸收水分、适应缺水环境的重要方式<sup>[34]</sup>。植物根系分布特点取决于土壤水在水平和垂直方向的分布和根系形态可塑性。根系形态可塑性对植物适应异质性环境起到非常重要作用<sup>[35]</sup>。植物根系本身具有感知土壤水分梯度的能力并且有向土壤湿润区域发展的向水性<sup>[36]</sup>。沙地水分缺乏会影响植物根系的生长及功能发挥,甚至导致根系生长停止或植株死亡<sup>[15]</sup>。有鉴于此,梭梭幼苗的存活取决于土壤水分相对较好层次下降速度和植物根系向下延伸速度之间的关系,当浅层土壤水分下降速度超过根系适应性调整向下延伸的速度,梭梭幼苗的生存将受到威胁,反之,则可以存活。沙漠植物为适应可能的水分环境变化,在长期为争夺水分而展开的竞争过程中,通过根系形态调整,将可能发生植物根系功能型的改变,最终建立起适宜的植物水分生态位重叠比例和新的水分平衡<sup>[37]</sup>。

整个生长季,梭梭垂直根生长速率和幼苗根冠比的变化呈“增加—减少—再增加”的模式。这种消长规律正好同土壤水分的变化呈现出较好的呼应关系。5—7月浅层土壤水分较大幅度的下降(图8~10),正好是垂直根生长速率最大的阶段(图4);随后土壤水分的变化幅度较小,根系生长速率减缓;当土壤水分进一步减小时,垂直根又表现出较高的生长速率。同时,模拟积雪厚度较大(72 mm)处理,由于其在生长季早期(4—6月)获得了较好的水分供给,其根系向下生长的速率要大于模拟积雪厚度较小(28、48 mm)处理,其根系深度在不同时期均达到了相应表层土壤水分下降后土壤水分相对较好的较深层次,保证了梭梭幼苗的正常生长。这体现了梭梭幼苗根系生长对不同深度土壤水分变化的积极响应。同时表明,植物垂直根系的生长优势是植物适应旱化环境的策略。根系在垂直空间上绝对生长量的优势和在时间上最大生长速率出现较早的比较优势,都是梭梭幼苗适应干旱环境的生长策略和重要特征<sup>[30]</sup>。

### 参考文献

- [1] HARPER J L. Population biology of plants[M]. London: Academic Press, 1977.
- [2] CHADWICK H W, DALKE P. Plant succession on dune sands in Fremont county Idaho[J]. Ecology, 1965, 46(6): 765-780.
- [3] PAVLIK B M. Patterns of water potential and photosynthesis of desert sand dune plant, eureka valley, California[J]. Oecologia (Berl), 1980, 46(2): 147-154.
- [4] SEELY M K, LOUW G N. First approximation of the effects of rain fall on the ecology and energetics of a Namib desert ecosystem[J]. Journal of Arid Environments, 1980, 3(1): 25-54.
- [5] ORSHAN G. The deserts of the middle east[M]//In: EVENARI M, NOY-MEIR I, GOODALL D W (eds). Ecosystems of the world, vol 12B. Hot deserts and arid shrublands[M]. Elsevier, Amsterdam, 1986: 1-28.
- [6] CAMPBELL G S, NORMAN J N. Introduction to environmental biophysics[M]. New York: Biosphysics, Springer, 1998.
- [7] 朱选伟. 浑善达克沙地几种优势植物的生态适应[D]. 北京: 中国科学院, 2004.
- [8] SCHULZE E D, MOONEY H A, SALA O E. Rooting depth, water availability and vegetation cover along gradient in Patagonia[J]. Oecologia, 1996, 108(3): 503-511.
- [9] 国家环境保护局自然保护司保护区与物种管理处. 珍稀濒危植物保护与研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 157-170.
- [10] 梁远强, 任步远, 王永红, 等. 新疆梭梭林更新技术研究[J]. 新疆农业科学, 1990(5): 218-220.
- [11] 李建贵, 宁虎森, 刘斌. 梭梭种群性状结构与空间分布格局的初步研究[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(3): 51-54.
- [12] 常静, 潘存德, 师瑞峰. 梭梭-白梭梭群落优势种群分布格局及其种间关系分析[J]. 新疆农业大学学报, 2006, 29(2): 26-29.
- [13] 张锦春, 王继和, 安富博, 等. 民勤天然梭梭种群初步研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1124-1128.
- [14] 吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等. 准噶尔盆地西北缘梭梭种群结构和空间格局特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 380-387.
- [15] 张世军, 张希明, 王雪梅, 等. 古尔班通古特沙漠边缘春秋沙丘水分状况初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 131-136.
- [16] TOBE K, LI X M, OMASA K. Effects of irrigation on seedling emergence and seedling survival of a desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae)[J]. Australian Journal of Botany, 2005, 53(6): 529-534.
- [17] 吕朝燕, 张希明, 吕薇, 等. 梭梭种子萌发对干旱和盐胁迫的响应[J]. 北方园艺, 2016(1): 55-60.
- [18] 黄振英, 张新时, GUTTERMAN Y, 等. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响[J]. 植物生理学报, 2001, 27(3): 275-280.
- [19] 李江凤. 新疆气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 97-107.
- [20] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点[J]. 生态学报, 2002, 22(1): 1923-1932.
- [21] 吕朝燕, 张希明, 高智席, 等. 梭梭幼苗出土及生长对沙埋深度的响应[J]. 北方园艺, 2016(3): 55-60.
- [22] 李秋艳, 赵文智. 风沙土中荒漠植物出苗和生长的比较研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 655-661.
- [23] 王雪芹, 蒋进, 雷加强, 等. 古尔班通古特沙漠短命植物分布及其沙面稳定意义[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 598-605.
- [24] PAROLIN P. Morphological and physiological adjustments to water logging and drought in seedlings of Amazonian flood plain trees[J]. Oecologia, 2001, 128(3): 326-335.
- [25] 刘国军, 张希明, 吕朝燕, 等. 不同供水条件下梭梭幼苗生长动

态的研究[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 388-394.

- [26] FAHEY T J, HUGHES J W. Fine root dynamics in northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook experimental forest, NH [J]. Journal of Ecology, 1994, 82(3): 533-548.
- [27] PREGIZER K S, KING J S, BURTON A J. Response of tree fine roots to temperature[J]. New Phytologist, 2000, 147(1): 105-115.
- [28] DRENNAN P M, NOBEL P S. Temperature influences on root growth for *Encelia farinosa* (Asteraceae), *Pleuraphis rigida* (Poaceae), and *Agave deserti* (Agavaceae) under current and doubled CO<sub>2</sub> concentrations[J]. American Journal of Botany, 1996, 83(2): 133-139.
- [29] MCMICHAEL B L, BURKE J J. Temperature effects on root growth[M]//WAISEL Y, ESHEL A, KAFLAFI U, et al. Plant roots: The hidden half. New York: Marcel Dekker, 1996: 383-396.
- [30] 魏疆, 张希明, 单立山, 等. 梭梭幼苗生长动态及其对沙漠腹地生境条件的适应策略[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2006, 36(增刊ID): 95-102.
- [31] KROON H D, VISSER E J W. Root ecology[M]. Now York: Springer-Verlag, 2003: 150-191.
- [32] CANADELL J, ZEDLER P H. Ecology and biogeography of mediterranean ecosystems in Chile, California and Australia[M]. New York: Springer-Verlag, 1995: 177-210.
- [33] LLORET F, CASANOVAS C, PENUELAS J. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use[J]. Functional Ecology, 1999, 13(2): 210-216.
- [34] 汤章成. 植物对水分胁迫的反应和适应性[J]. 植物生理通讯, 1983, 18(4): 1-7.
- [35] HUTCHINGS M J. Differential foraging for resources, and structural plasticity in plants[J]. Trends in Ecology and Evolution, 1988, 3(8): 200-204.
- [36] SIMONNEAU T, HABIB R. Water uptake regulation in peach trees with split-root systems[J]. Plant, Cell and Environment, 1994, 17(4): 379-388.
- [37] 徐贵青, 李彦. 共生条件下三种荒漠灌木的根系分布特征及其对降水的响应[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 130-136.

## Seedling Establishment Responses of *Haloxylon ammodendron* to Snow Thickness

LYU Chaoyan<sup>1,2</sup>, ZHANG Ximing<sup>2</sup>, GAO Zhixi<sup>1</sup>, HAN Chang<sup>1</sup>, ZHANG Baocheng<sup>1</sup>, WANG Jiazhen<sup>1</sup>

(1. Department of Biological and Agricultural Technology, Zunyi Normal College, Zunyi, Guizhou 563006; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011)

**Abstract:** The seedling establishment process is a critical stage for the success of plant regeneration. For arid zones, water is the key limiting environmental impact factor of the seedling establishment process. In this study, the typical natural habitats of *Haloxylon ammodendron* were selected. To simulate the snow thickness in different years, four water supply of 16, 28, 48, 72 mm were designed to study the coupling relationship between seedling growth especially root growth of *H. ammodendron* and soil water content. The results showed that, the growth of *H. ammodendron* seedling was obviously seasonal by the change of soil moisture. In the early growing season (April to June), the root/shoot ratio of the seedling was the highest in the whole growth season, the vertical root length was 8—10 times higher than the seedling height, and the vertical root growth rate was 7—11 times higher than the high growth rate. In the early growing season (April to June) and late (September to October), the root/shoot ratios of seedlings treated with 72 mm water supply were greater than 28 mm and 48 mm. 72 mm water treatment, the root depth in different periods had reached the corresponding deeper soil level with relatively good water condition after the surface soil moisture decreased. And it would ensure the good growth of *H. ammodendron* seedling. While the 28 mm and 48 mm treatments failed to reach the corresponding soil moisture level at the time of drought, which was not conducive to seedling growth. In conclusion, the changes of soil moisture caused by the thickness of snow affected the growth and biomass allocation of *H. ammodendron* seedling deeply. The increase of snow thickness would facilitate the early growth of *H. ammodendron* seedling, especially the roots, and then use the deeper soil moisture. It would help the seedling to survive through the harsh drought period and to achieve the seedling establishment.

**Keywords:** *Haloxylon ammodendron*; snow thickness; seedling growth; biomass allocation; soil water