不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗的影响

摘要：以砂生槐一年生无纺布容器苗和塑料袋容器苗为研究对象，在上方灌溉和底部渗灌两种不同的给水方式下研究砂生槐幼苗的生长、光合和根系的变化，以期为砂生槐容器育苗和合理灌溉提供理论依据。结果显示：1)不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗的生长影响显著。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的苗高、地径、干物质量相较于塑料袋育苗和上方灌溉均有显著的提高，相较于高生长，无纺布袋育苗及底部渗灌对砂生槐幼苗地径的促进作用更大。2)塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率相较于无纺布袋育苗和上方灌溉均有不同程度的提升，相反其胞间CO2浓度减低显著。3)塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的根系长度、根系表面积和根系体积较大，比根长、根系生物量以及组织密度较小。以上结果表明：不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗的生长、光合和根系的影响不同。砂生槐幼苗在无纺布袋育苗及底部渗灌时生长最优，其他处理对砂生槐幼苗的生长均有一定程度的抑制。

关键词：砂生槐幼苗；不同育苗容器；不同灌溉方式；生长；生根

**Effects of Different Seedling Containers and Irrigation Methods on Seedlings of Sophora moorcroftiana**

**Abstract**: Taking the annual non-woven container seedlings and plastic bag container seedlings of Sophora moorcroftiana as the research objects, the growth, photosynthesis and root system changes of seedlings of Sophora moorcroftiana are studied under two different water supply methods: upper irrigation and bottom penetration. Sophora moorcroftiana container seedlings and rational irrigation provide theoretical basis. The results showed that: 1) Different seedling containers and irrigation methods had significant effects on the growth indicators of the seedlings of Sophora moorcroftiana. The seedling height, ground diameter and dry matter quality of Sophora moorcroftiana seedlings in non-woven bag seedlings and bottom infiltration irrigation are significantly improved compared with plastic bag seedlings and upper irrigation. Compared with high growth, non-woven bag seedlings and The bottom infiltration irrigation has a greater promotion effect on the ground diameter of the seedlings of Sophora moorcroftiana. 2) The net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of Sophora moorcroftiana seedlings in plastic bags and bottom irrigation are improved to different degrees compared with non-woven bag seedlings and top irrigation. On the contrary, the intercellular CO2 concentration is reduced. Significantly. 3) The root length, root surface area and root volume of Sophora moorcroftiana seedlings in plastic bags and upper irrigation are relatively large, but the specific root length, root biomass and tissue density are relatively small. The above results indicate that different seedling containers and irrigation methods have different effects on the growth, photosynthesis and root system of the seedlings of Sophora moorcroftiana. Sophora moorcroftiana seedlings grew optimally in non-woven bag nursery and bottom infiltration irrigation. Other treatments inhibited the growth of Sophora moorcroftiana seedlings to a certain extent.

**Key words**: Sophora moorcroftiana seedlings; different seedling containers; different irrigation methods; growth; rooting

水是植物体的重要组成成分。细胞中的水为许多生理生化反应提供了良好的介质，它的物理性质对调节植物体的温度有重要作用，同时还可维持细胞处于紧张状态，使植株挺立、叶片开展，有利于承受阳光进行光合作用[1]。陆生植物由于叶的蒸腾作用，根部从土壤吸收的水分，经体内传导而不断地向大气中散失[2]。因此它们必须不断地在吸水-传导-散失的连续运动过程中求得体内含水量的动态平衡，才能保证正常的生命活动。充足的水分对植物种子萌发、光合作用、植物形态建成以及根冠发育均具有重要的影响，为保证植物的正常生长，必须给植物以充足的水分[3]。

砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)是西藏高原特有的植物，系豆科槐属，又名西藏“狼牙刺”[4]，主要分布在西藏林芝、拉萨、日喀则等少部分地区，生长于海拔2800-4400m的山坡以及河漫滩沙质地，在雅鲁藏布江河谷地带大片分布[5]。在尼泊尔、印度、锡金也有分布，为多年生矮灌木，多分枝，其茎尖和托叶硬化为尖长刺。因生长环境不同，株高30-100cm不等[6]。作为西藏高原特有植物，砂生槐以其极强的抗旱、耐瘠薄、防风固沙、保持水土等生态适应性在高原生态修复及雅鲁藏布江流域的干旱河谷地区植被建设和恢复具有重要意义[5]。自然条件下，往往因降水量不足或分布不均匀，不能满足植物对水分的要求[7]。因此，必须进行人为的灌溉，以补充天然降水的不足。我国作为缺水严重的国家，节约用水、保护水资源向来是社会发展的重要议题[8]，可持续发展模式要求我国各个用水行业都要控制水资源的使用，而且要提高水资源利用效率。同时幼苗期在植物的生长发育过程中有相当重要的作用，幼苗生长发育的健壮和健康程度直接影响植物在其后生长发育的各个阶段[9]，欲培育良种壮苗必须保证植物在幼苗期有良好的水肥条件，所以在林业当中如何用科学的灌溉措施获得高质量的苗木显得尤为关键[10]。

1. 材料与方法
   1. 试验材料

试验所用砂生槐种子来自于于西藏自治区日喀则市江孜县。带回实验室后，挑选粒大、饱满、色泽正常、没有病虫害的砂生槐种子，用60℃的清水浸泡48h，待种子露白后，于2020年4月在西藏农牧学院的林学实习苗圃进行育苗袋播种培育。所用育苗袋直径为9cm，高为12cm。栽培基质为M(苗圃土)：M(蛭石)：M(腐殖质)=17:2:1，每袋加入过筛基质120±2g，共装216袋，其中塑料袋育苗108袋，无纺布袋育苗108袋。将装有过筛基质的育苗袋放入规格为6\*9穴的育苗穴盘，其中塑料袋育苗穴盘2盘，无纺布袋育苗穴盘2盘，共4盘。

* 1. 试验设计

对塑料袋育苗穴盘和无纺布袋育苗穴盘分别设置两种不同的给水方式即上方灌溉和底部渗灌，统一定量给水至饱和含水量的60%。土壤含水量(%)=(铝盒与土壤鲜重(g)-烘干后的铝盒与土壤重量(g))/烘干后铝盒与土壤重量(g)-铝盒重量(g))×100%[11]。培育90d后测定各处理下幼苗的光合指标，之后以全株收获法取样，备用。

* 1. 测定指标
     1. 生长指标

对带回实验室的砂生槐幼苗测定其株高、地径后将根系和地上部分分离，然后置入烘箱用80℃的温度烘干直至恒重，最后使用精度为0.001g的电子天平称量并记录各处理砂生槐幼苗的生物量，将各处理幼苗地上部分与地下部分生物量之比计算出茎根比[12]。

* + 1. 光合指标

分别从4组不同处理的54个重复中选择10株幼苗的功能叶片，用Li-6400XT便携式光合系统测定仪测定其净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)及胞间CO2浓度(Ci)。由于砂生槐叶片不能充满叶室，在光合测定完成后，用Microtek Phantom 3500扫描仪扫描各处理叶片，通过UTHSCSA图像分析系统确定叶面积，之后重新换算净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO2浓度。

* + 1. 根系指标

分离后的根系先在清水中浸泡，再用流水冲洗过孔径为0.5mm的网筛，使根系与绝大部分的土壤、有机质残渣以及杂质分离，而后在清水中使用镊子和网勺小心捡取所有活根系。活根系与死根系相比拥有更强的弹性、更浅的颜色，且根芯呈现白色，故较容易区分。将获取的根系装入自封袋内并依次编号标记放入冰箱内保存，直至根系扫描时取出。

应用Epson Perfection V700 Photo根系扫描系统和WinRHIZO根系图像分析系统对各单株新生根系进行长度、表面积和体积的测定分析。将各根样的根系长度除以其生物量即可算出各根样的比根长(cm/g)[12];将各根样的生物量除以其体积即可算出各根样的组织密度(g/cm3)[13]。

* 1. 数据分析

Excel 2016软件完成全部数据的初步处理，用IBM SPSS\_Statistics 25软件完成所有图表的制作。

1. 结果与分析
   1. 不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗生长的影响

表1不同处理下砂生槐幼苗生长的差异

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 育苗容器类型 | 灌溉方式 | 生长指标 | | | | |
| 苗高 Height/cm | 地径 Ground/mm | 高径比 Height-diameteratio | 干物质量 Drymass/g | 茎根比 Stem-rootratio |
| 塑料育苗袋 | 上方灌溉 | 6.30±0.51c | 0.99±0.16b | 63.64±1.13c | 0.1399±0.0020b | 1.5493±0.0542c |
| 底部渗灌 | 7.57±0.40a | 1.06±0.19ab | 71.42±1.72a | 0.1432±0.0032a | 2.1713±0.1892a |
| 无纺布育苗袋 | 上方灌溉 | 6.78±0.44b | 1.07±0.11ab | 63.36±0.93c | 0.1184±0.0033d | 1.2008±0.1438d |
| 底部渗灌 | 7.77±0.32a | 1.16±0.09a | 66.98±0.74b | 0.1200±0.0039c | 1.7009±0.2334b |

表中数据为平均值±标准差；同列数据后的不同小写字母表示在P<0.05的显著性水平下具有统计学意义。

由表1可知，不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗生长影响显著，各个生长指标间差异明显。在育苗容器相同的条件下，底部渗灌时砂生槐幼苗的苗高始终比上方灌溉时大。在灌溉方式相同的条件下，无纺布袋育苗时砂生槐幼苗的苗高始终比塑料袋育苗时大，且差异达到显著性水平。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的苗高达到最大值，为7.77cm。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的苗高次之，且与无纺布袋育苗及底部渗灌时差异未达到显著性水平。塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的苗高最小，且与无纺布袋育苗及上方灌溉时差异显著。

在灌溉方式相同的条件下，无纺布袋育苗时砂生槐幼苗的地径始终比塑料袋育苗时大。在育苗容器相同的条件下，底部渗灌时砂生槐幼苗的地径始终比上方灌溉时大。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的地径最大，塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的地径最小，为0.99mm，且两者间差异达到显著性水平。其余处理间砂生槐幼苗的地径差异不显著。

在育苗容器相同的条件下，底部渗灌时砂生槐幼苗的高径比较大。在灌溉方式相同的条件下，塑料袋育苗时砂生槐幼苗的高径比较大。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的高径比最大，底部渗灌时次之，且两者间差异达到显著性水平。无纺布袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的高径比最小，仅为塑料袋育苗及底部渗灌的1/2,与塑料袋育苗及上方灌溉间砂生槐幼苗的差异未达到显著性水平。

在灌溉方式相同的条件下，砂生槐幼苗的干物质量积累在塑料袋育苗时较大，无纺布袋育苗时较小。在育苗容器相同的条件下，底部渗灌时砂生槐幼苗干物质量积累较大，上方灌溉时较小。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的干物质量积累最大（0.1432g），塑料袋育苗及底部渗灌时次之，且两者间差异达到显著性水平。无纺布袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的干物质量积累最小（0.1184g），较塑料袋育苗及底部渗灌时的干物质积累量下降了17.3%，与无纺布袋育苗及底部渗灌时差异达到显著性水平。

茎根比反映了苗木的地上部分与地下部分生物量积累的平衡状况。在育苗容器相同的条件下，底部渗灌时砂生槐幼苗的茎根比大于上方灌溉。在灌溉方式相同的条件下，塑料袋育苗时砂生槐幼苗的茎根比大于无纺布袋育苗。无纺布袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的茎根比最小，塑料袋育苗及上方灌溉时次之，且两者间差异达到显著性水平。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的茎根比最大，与无纺布袋育苗及底部渗灌时差异显著。

* 1. 不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗光合的影响

由图1可以看出，不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗净光合速率影响显著。在相同育苗容器育苗的条件下，底部渗灌时砂生槐幼苗的净光合速率始终大于上方灌溉，光合作用较快，砂生槐幼苗的光合功能较强，且在塑料袋育苗时达到峰值，为7.36µmol/(m2·s)。在相同的灌溉方式下，塑料袋育苗时砂生槐幼苗的净光合速率始终大于无纺布袋育苗。无纺布袋育苗及上方灌溉时光合速率最小，仅为塑料袋育苗及底部渗透的2/3。塑料袋育苗及上方灌溉时净光合速率大于无纺布袋育苗及底部渗透，且两者间差异达到显著性水平。

|  |  |
| --- | --- |
| 图1不同处理下砂生槐幼苗净光合速率的差异 | 图2不同处理下砂生槐幼苗气孔导度的差异 |
| 图3不同处理下砂生槐幼苗胞间CO2浓度的差异 | 图4不同处理下砂生槐幼苗蒸腾速率的差异 |

图中误差线上的不同小写字母表示在P<0.05的显著性水平下具有统计学意义

由图2可知，在相同的灌溉方式下，塑料袋育苗的气孔导度比无纺布袋育苗时大，且差异达到显著性水平。在相同的育苗容器育苗的条件下，底部渗灌的气孔导度比上方灌溉时大，且差异达到显著性水平。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的气孔导度最大，为0.052µmol/(m2·s)。塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的气孔导度次之，且与无纺布袋育苗及底部渗灌时差异不显著。在塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的气孔导度最小，仅为塑料袋育苗及底部渗灌时的2/3。

由图3可以看出，在相同育苗容器育苗的条件下，砂生槐幼苗胞间CO2浓度在底部渗灌时较小，在上方灌溉时较大。在相同灌溉方式育苗的条件下，砂生槐幼苗胞间CO2浓度在塑料袋育苗时较大，在无纺布袋育苗时较小。无纺布袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的胞间CO2浓度最大，在塑料袋育苗及底部渗灌时最小，且两者间达到极显著水平。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的胞间CO2浓度与塑料袋育苗及上方灌溉时差异未达到显著性水平。

如图4，在相同灌溉方式育苗的条件下，砂生槐幼苗的蒸腾速率在塑料袋育苗时较大，在无纺布袋育苗时较小。在相同育苗容器育苗的条件下，砂生槐幼苗的蒸腾速率在底部渗灌时较大，在上方灌溉时较小。在塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的蒸腾速率最大，为0.0014µmol/(m2·s)。无纺布袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的蒸腾速率最小，为0.0008µmol/(m2·s)。在塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的蒸腾速率比无纺布袋育苗及底部渗灌时大，且两者间达到显著性水平。

* 1. 不同育苗容器及灌溉方式对砂生槐幼苗生根的影响

由图5可以看出，在灌溉方式相同的条件下，塑料袋育苗时砂生槐幼苗的根系长度较无纺布袋育苗时大。在育苗容器相同的条件下，上方灌溉时砂生槐幼苗的根系长度较底部渗灌时大。塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的根系长度最大。塑料袋育苗及底部渗灌

|  |  |
| --- | --- |
| 图5不同处理下砂生槐幼苗根系长度的差异 | 图6不同处理下砂生槐幼苗根系表面积的差异 |
| 图7不同处理下砂生槐幼苗根系体积的差异 | 图8不同处理下砂生槐幼苗比根长的差异 |
| 图9不同处理下砂生槐幼苗根系生物量的差异 | 图10不同处理下砂生槐幼苗组织密度的差异 |

图中误差线上的不同小写字母表示在P<0.05的显著性水平下具有统计学意义

时次之，且与无纺布袋育苗及上方灌溉时的差异未达到显著性水平。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的根系长度最小，相较于塑料袋育苗及上方灌溉时降低了27%。

如图6，在育苗容器相同的条件下，上方灌溉时砂生槐幼苗的根系表面积始终大于底部渗灌。在灌溉方式相同的条件下，塑料袋育苗时砂生槐幼苗的根系表面积始终大于无纺布袋育苗。塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的根系表面积最大，塑料袋育苗及底部渗灌时次之，且两者间差异达到显著性水平。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的根系表面积最小，与无纺布袋育苗及上方灌溉时差异达到显著性水平。

如图7可知，在育苗容器相同的条件下，砂生槐幼苗的根系体积在上方灌溉时较大，在底部渗灌时较小。在灌溉方式相同的条件下，砂生槐幼苗的根系体积在塑料袋育苗时较大，在无纺布袋育苗时较小。塑料袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的根系体积最大，塑料袋育苗及底部渗灌时次之，且两者间差异达到显著性水平。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的根系体积最小，与无纺布袋育苗及上方灌溉时差异显著。

由图8可以看出，在灌溉方式相同的条件下，无纺布袋育苗时砂生槐幼苗的比根长较大。在育苗容器相同的条件下，上方灌溉时砂生槐幼苗的比根长较小。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的比根长最大。无纺布袋育苗及底部渗灌时次之，且与塑料袋育苗及上方灌溉间差异未达到显著性水平。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的比根长最小，仅为无纺布袋育苗及上方灌溉时的2/3。

如图9，灌溉方式一致时，砂生槐幼苗的根系生物量在无纺布袋育苗时始终大于塑料袋育苗。育苗方式一致时，砂生槐幼苗的根系生物量在上方灌溉时始终大于底部渗灌。无纺布袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的根系生物量最大，无纺布袋育苗及底部渗灌时次之，且两者间差异达到显著性水平。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的根系生物量最小，相较于无纺布袋育苗及上方灌溉时减低了24%，且与塑料袋育苗及上方灌溉时差异达到显著性水平。

如图10可知，在育苗容器相同的条件下，上方灌溉时砂生槐幼苗的组织密度比底部渗灌时大。在灌溉方式相同的条件下，无纺布袋育苗时砂生槐幼苗的组织密度比塑料袋育苗时大。无纺布袋育苗及上方灌溉时砂生槐幼苗的组织密度最大。无纺布袋育苗及底部渗灌时次之，且与塑料袋育苗及上方灌溉时差异未达到显著性水平。塑料袋育苗及底部渗灌时砂生槐幼苗的组织密度最小，相较于无纺布袋育苗及上方灌溉时减低了25.25%，与塑料袋育苗及上方灌溉时的差异达到显著性水平。

1. 结论与讨论

植物的生长、发育、繁殖、休眠等都与水分有密切的关系，水是植物生长必不可少的重要条件，植物必须在适宜的空气湿度和土壤湿度条件下才能正常生长[14]。试验表明，不同育苗容器对于砂生槐幼苗的生长影响显著。无纺布袋育苗时砂生槐幼苗的苗高、地径、干物质量相较于塑料袋育苗均有显著的提高，相较于高生长，无纺布袋育苗对砂生槐幼苗地径的促进作用更大。不同的育苗容器同样影响了植株地上部分与地下部分生物量的积累，塑料袋育苗时其生物量明显高于无纺布袋育苗，相较于无纺布袋育苗，生物量积累提高了7.5%。高径比反映了苗木高度和粗度的平衡关系[15]，将苗木的苗高和地径两个指标有机结合，较好地反映了苗木抗旱性及造林成活率。砂生槐幼苗在底部渗灌时高径比较大，则其苗木较细、高，抗性弱，造林成活率较低；相反，在上方灌溉时高径比较低，则苗木较矮、粗，抗性强，造林成活率高[16]。在无纺布袋育苗且上方灌溉时砂生槐幼苗的茎根比最小，其根系最发达，苗木地上部分蒸腾量较小，而地下部分吸收量较大，水分平衡性较优[17]，造林成活率大。无纺布袋育苗尽管其在试验培育过程中生长较好，但是在野外同样的生长环境下，其抗性较弱。

数据表明，砂生槐幼苗胞间CO2浓度和净光合速率的关系呈负相关性，胞间CO2浓度越高，光合速率越低，相反，胞间CO2浓度越低，光合速率越高。这种负相关性说明，胞间CO2浓度减低是光合速率增高的结果，而光合速率同时又受到气孔导度的影响[18]，是两者关系的规律性反映。塑料育苗袋较无纺布育苗袋保水性好，无纺布袋较塑料育苗袋透气性强水分丧失快，砂生槐幼苗通过关闭一部分气孔或者减小气孔大小来维持体内外水分平衡。气孔关闭后，由于植株的呼吸作用，植物体产生的CO2增多，浓度自然增大。同时，气孔关闭也阻碍了光合作用生成氧气的释放，加之CO2的来源减少，故而光合反应减弱[1]。蒸腾作用是叶片将水分以水蒸气状态散失到大气中的过程，受植物叶片光合作用的调节和控制，是较为复杂的植物生理反应[19]。植物在蒸腾的过程中可以产生蒸腾拉力，蒸腾拉力是植物被动吸水与转运水分的主要动力，土壤中的矿质盐类和根系合成的物质可随着水分的吸收和集流而被运输和分布到植物体各个部分中去，这对抗旱性植物尤为重要[20]。

根系是维管束植物体的地下营养器官，其主要功能是从土壤中吸收植物所需的水分和养分，根系的结构和性状与植株吸收养分和水分有密切的关系且对植物地上部分的生长发育起着至关重要的作用[21]。与塑料育苗袋相比，无纺布育苗袋透气性强，砂生槐幼苗根系由于空气干燥原理致使伸出容器的砂生槐幼苗根系枯死，相较于塑料育苗袋，其更不容易形成祸根以及出现幼苗根系发育不正常的情况。目前，容器苗的培育多为上方灌溉[22]，相较于底部渗灌，其水分利用率低，所以必须在短时间内频繁地进行灌溉，用来控制水压对砂生槐幼苗的影响。相反在底部渗灌时，由于灌溉水始终和土壤表面接触，故土壤中水压保持恒定，砂生槐幼苗受到水压变化的影响较小。砂生槐为旱生植物，上方频繁灌溉给水，水过多，水分填满了土壤间隙，土中空气被水替代，这时外部空气也不能进入，因此造成土壤缺氧，根的呼吸作用遭遇障碍，生理功用降低，根系吸水、吸肥受阻。同时由于土壤缺乏氧气，土中具有分解无机物功能的好痒细菌繁衍减少、活动减弱，增加了土壤酸度。由于丁酸菌等大肆活动，产生了硫化氢、氨等一系列有毒有害物质[23]，间接毒害根系。比根长、根系生物量和组织密度均为重要的根系性状和根系形态指标，其中比根长最能反映砂生槐幼苗根系对水分与养分的吸收能力，表征了植物根系花费与收益的关系[13]。上方灌溉相较于底部渗灌，没有恒定的水压，砂生槐幼苗受到水分胁迫的作用较大[24]，加之林木根系都具有趋水性，比根长越大说明根系在单位重量下长度越大，根系越细长，具有更强的水分吸收趋势。组织密度是单位体积内的根系生物量，其值的大小表征了砂生槐幼苗根系组织伸展能力的强弱[25]。塑料袋育苗以及底部渗灌时，砂生槐幼苗具有相对较好的水分条件，故其比根长、组织密度和根系生物量较小。而在无纺布袋育苗以及上方灌溉时，水分丧失严重，土壤条件较差，砂生槐幼苗不得不维持较大的组织密度，提高根系组织的伸展能力，用以获取更多的水分和养分。

由于不同的育苗容器及灌溉方式，对土壤环境产生了较大的影响，砂生槐幼苗通过调整生物量分配策略进而在形态特征上表现出较大的差异性，用来适应不同的生存环境。

参考文献

[1]王强,张欣薇,黄英金,邵东,杨小龙,叶子飘,钟平安.光环境和温度对商陆净光合速率、蒸腾速率和瞬时水分利用效率的协同影响[J].植物生理学报,2021,57(01):187-194.

[2]曹生奎,冯起,司建华,常宗强,卓玛错,席海洋,苏永红.植物叶片水分利用效率研究综述[J].生态学报,2009,29(07):3882-3892.

[3]朱海军,张普娟,生静雅,刘广勤,曹福亮.底部渗灌下薄壳山核桃容器苗的水分利用及生理响应[J].西南农业学报,2017,30(06):1325-1329.

[4]赵玉文,段少荣,郑雨,南吉斌,米桑,赵亚磊,林玲.不同种源砂生槐幼苗的生长及光合特征[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2019,45(02):164-174.

[5]崔光帅,张林,沈维,刘新圣,王媛韬.西藏雅鲁藏布江流域中段砂生槐灌丛生物量分配及碳密度[J].植物生态学报,2017,41(01):53-61.

[6]柳文杰,刘顺汉,辛福梅,赵垦田.砂生槐幼苗生长及生理变化对切根强度的响应[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2021,47(02):243-250.

[7]辛福梅,贾黎明,杨小林,臧建成.干旱胁迫对拉萨半干旱河谷主要灌木树种耗水及光合的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2016,42(05):617-625.

[8]中共中央党校厅局级干部进修班(74期)"生态文明建设"研究专题课题组,熊中才.促进节约用水的难点及对策研究[J].中国水利,2019(23):15-19.

[9]辛福梅,王玉婷,李生茂,旦增罗布,普布次仁.不同温度对巨柏幼苗光合及生根的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2019,45(01):102-108.

[10]罗桑卓玛,辛福梅,杨小林,赵垦田.干旱胁迫对香柏幼苗生长和生理指标的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(05):51-57+70.

[11]贺旺龙,谷瑶,袁德义,周丽珠,杨漓.不同造林密度下油用柠檬桉光合速率日变化研究[J].林业科技,2020,45(06):13-17.

[12]张颖,李立升,孔德政.不同基质与容器对大叶女贞容器苗生长规律的影响[J].河南科学,2011,29(02):165-168.

[13]张龙宁,向地奎,席本野,贾黎明.三倍体毛白杨人工林浅层土壤细根对地下滴灌不同水分处理的响应[J].东北林业大学学报,2013,41(07):40-44.

[14]单长卷,郝文芳,梁宗锁,韩蕊莲.不同土壤干旱程度对刺槐幼苗水分生理和生长指标的影响[J].西北农业学报,2005(02):44-49.

[15]张治民.不同育苗密度对木荷幼苗树高及地径生长的影响[J].安徽农学通报,2016,22(18):84+96.

[16]朱海军. 薄壳山核桃容器苗培育关键技术研究[D].南京林业大学,2016.

[17]Han Fengpeng Zheng Jiyong Zhang Xingchang. Plant root system distribution and its effect on soil nutrient on slope land converted from farmland in the Loess Plateau[J]. Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(2).

[18]张劲松,孟平,尹昌君.杜仲蒸腾强度和气孔行为的初步研究[J].林业科学,2002(03):34-37.

[19]Pikkarainen Laura,Luoranen Jaana,Peltola Heli. Early Field Performance of Small-Sized Silver Birch and Scots Pine Container Seedlings at Different Planting Depths[J]. Forests,2021,12(5).

[20]黄倩,赵永国,徐劲松,曾柳,吕艳,程勇,张学昆,陆光远.油菜苗期抗旱性鉴定及抗旱指标评价[J].干旱地区农业研究,2021,39(03):9-17.

[21]崔玲玲,土艳丽,拉多.不同株高、不同生境下砂生槐的生物量分配格局[J].西藏科技,2015(07):67-71.

[22]王芳.不同育苗容器规格对红桦幼苗的形态和生物量的影响[J].西昌学院学报(自然科学版),2014,28(01):13-15.

[23]杨昌钰,张芮,蔺宝军,王腾飞,张彩霞,李红霞,王喜红.水分胁迫对植物根际土壤酶和土壤微生物群落结构的影响[J].水利规划与设计,2020(12):93-96.

[24]崔红星.林木容器育苗中应用底部渗灌技术的实践分析[J].种子科技,2020,38(14):62-63.

[25]B. Calusi,F. Tramacere,S. Gualtieri,N.M. Pugno,B. Mazzolai. Plant root penetration and growth as a mechanical inclusion problem[J]. International Journal of Non-Linear Mechanics,2020,120.