

不同基质对砂生槐幼苗生长及根系形态的影响

柳文杰, 李紫帅, 幸福梅*

(西藏农牧学院, 资源与环境学院, 西藏 林芝 860000)

摘要:【目的】为筛选出最佳砂生槐幼苗育苗基质, 以西藏特有防沙治沙树种砂生槐种子为试材, 【方法】比较不同基质配方(沙土(SS)、园土(GS)、腐殖土(HS)、沙土:园土:腐殖土=1:1:1(MS1)、沙土:园土:腐殖土=2:1:1(MS2)、沙土:园土:腐殖土=4:1:1(MS3))对砂生槐种子萌发、幼苗生长及根系形态特征的影响, 【结果】表明:(1)在本研究中, 砂生槐种子发芽率在SS中最高(85.0%), 即沙土更有利于砂生槐种子的萌发;(2)从幼苗地上生长指标来看, 砂生槐幼苗比叶重、总生物量、苗高、地径均在HS处最大, SS处最小;(3)砂生槐总根长、根表面积、根体积和根生物量均在MS1处最大, 其值分别为376.19 cm、78.91 cm²、1.32 cm³和0.67 g, 在SS处最小, 其值分别为165.29 cm、33.03 cm²、0.53 cm³和0.15 g, 说明砂生槐幼苗在MS1基质中生长最优, SS基质生长最差;(4)通过分析不同基质对砂生槐幼苗不同径级根系形态指标的影响, 可知根系长度除MS3外, 其它各基质均在0 mm<D≤0.5 mm的径级范围内最长, 在2 mm<D≤5 mm径级范围内最短。各基质根表面积均在径级为0.5 mm<D≤2 mm时最大, MS1显著高于其它各基质, 其值为42.03 cm², SS最小, 其值为21.16 cm², 与其它各基质间差异显著(P<0.05)。在0 mm<D≤0.5 mm径级范围内, 根体积大小依次为:MS1>HS>MS2>GS>MS3>SS, 在2 mm<D≤5 mm范围内, 根体积大小依次为:MS1>GS>MS2>MS3>HS>SS。【结论】综上HS基质地上部分生长最好, MS1混合基质中砂生槐苗木根系发育最好, 但对于HS基质而言, MS1基质更易获取, 成本较低, 且培育的苗木质量最高, 故建议在生产实践中推广MS1作为砂生槐容器育苗基质。

关键词: 砂生槐; 基质; 根系形态; 育苗

中图分类号: S793.9

文献标识码 A

Effects of different substrates on growth and root morphology of *Sophora moorcroftiana* seedlings

LIU Wen-jie, LI Zi-shuai, XIN Fu-mei*

(Department of resources and environment, Tibet Agricultural & Animal Husbandry University, Nyingchi Tibet China, 860000)

Abstract: 【Objective】In order to screen out the best seedling substrate for *Sophora moorcroftiana* seedling, the seeds of *Sophora moorcroftiana*, an endemic species for sand control and prevention in Tibet, were used as test material. 【Methods】The effects of different matrix formulations (sand soil (SS), garden soil (GS), humus soil (HS), sand soil: garden soil: humus soil = 1:1:1 (MS1), sand soil: garden soil: humus soil = 2:1:1 (MS2), sand soil: garden soil: humus soil = 4:1:1 (MS3)) on seed germination, seedling growth and root morphological characteristics of *Sophora moorcroftiana* were compared. 【Results】The results showed that: (1) In this study, the

基金项目: 国家自然科学基金项目(); 西藏农牧学院林学学科创新团队建设项目(藏财预指2020-11-13); 西藏农牧学院研究生教育创新计划项目(YJS2020-24)。

第一作者: 柳文杰(1995-), 女, 甘肃永靖人, 西藏农牧学院林学专业在读硕士研究生, 主要从事有关森林培育方面的研究。E-mail: *通讯作者: 幸福梅(1981-), 女, 甘肃武威人, 博士, 副教授, 主要从事林木种苗、林木生理、植被恢复等方面的研究。E-mail: 收稿日期:

seed germination rate of *Sophora moorcroftiana* was the highest in SS (85.0%), that is, sandy soil was more conducive to the germination of *Sophora moorcroftiana* seeds; (2) From the above ground growth index, the specific leaf weight, total biomass, seedling height and ground diameter of *Sophora moorcroftiana* seedlings were the maximum at HS, and the minimum at SS. (3) The total root length, root surface area, root volume and root biomass of *Sophora moorcroftiana* were the largest at MS1, with the values of 376.19 cm, 78.91 cm², 1.32 cm³ and 0.67 g, respectively, and the smallest at SS, with the values of 165.29 cm, 33.03 cm², 0.53 cm³ and 0.15 g, respectively, indicating that the seedling growth of *Sophora moorcroftiana* was the best in MS1 substrate and the worst in SS substrate. (4) Through analyzing the effects of different substrates on root morphological indexes of different diameter classes of *Sophora moorcroftiana* seedlings, it was found that the root length of all substrates except MS3 was the longest in the diameter class of 0 mm<D≤0.5 mm, and the shortest in the diameter class of 2 mm<D≤5 mm. The root surface area of each substrate was the largest when the diameter class was 0.5 mm<D≤2 mm, MS1 was significantly higher than that of other substrates (42.03 cm²), SS was the smallest (21.16 cm²), and the difference was significant ($P<0.05$). In the range of 0 mm<D≤0.5 mm, the root volume was MS1>HS>MS2>GS>MS3>SS, and in the range of 2 mm<D≤5 mm, the root volume was MS1>GS>MS2>MS3>HS>SS. 【Conclusion】 To sum up, HS medium had the best growth in aboveground part, and MS1 mixed medium had the best root system development. However, for HS medium, MS1 medium was easier to obtain, lower cost, and the quality of seedlings was the highest. Therefore, it was suggested that MS1 should be popularized as container seedling medium of *Sophora moorcroftiana* in production practice.

Keywords: *Sophora moorcroftiana*, substrate, root morphology, grow seedlings

【研究意义】在林木育苗过程中，容器育苗是目前应用较广泛的一种育苗手段，将苗木栽植于配制好的基质容器中进行育苗，不仅减小了实际生产中因起根、运输而破坏根系的风险，而且提高了恶劣造林地条件下移栽的成活率^[1]。同时，基质作为苗木水、热、气、肥的主要来源^[2]，其组成是苗木成活率和苗木质量的主要影响因素之一。因此，选择适合苗木生长的最佳基质配方至关重要。

【前人研究进展】近年来，基质育苗作为一种较新型的育苗手段，在闽楠、蒙古栎、油茶等^[3-5]很多树种育苗过程中广泛运用。其原因主要是基质容器苗在容器中易形成根团而不会在移栽过程中受到损伤，显著提高苗木移栽的成活率和造林效果。青藏高原气候寒冷、土壤退化严重、造林条件恶劣，而基质育苗可有效解决因以上问题而导致的造林障碍。故寻找一种适合青藏高原造林树种的育苗基质配方，对保护青藏高原脆弱生态屏障有重要意义。

砂生槐 (*Sophora moorcroftiana*) 豆科槐属灌木，是西藏地区分布最广、最具代表性的灌木树种，主要分布在雅鲁藏布江中游海拔 2 800~4 500 m 的河积阶地、洪积扇、河漫滩、石质山坡等不同生境下^[6]，在青藏高原防风固沙、涵养水源、保持水土中起着重要的生态作用^[7]。由于砂生槐分布的地理环境的特殊性，研究其容器育苗，运用于生产实践，对解决西藏高寒区域育林中面临的生长季短、土层贫瘠、造林不易成活的立地条件提供了造林的可能，为维持青藏高原脆弱生态系统的稳定与平衡提供科学支持。砂生槐作为深根性树种，在苗木培育过程中，发达的根系相互盘结，导致起苗时根系损伤严重，移栽后成活率较低，而容器育苗就能很好的解决根系损伤这一问题。因此，寻找适宜的砂生槐容器苗培育基质对研究西藏退化土壤治理、防风固沙、水土保持等方面具有重要的应用价值。【本研究切入点】本研

究立足青藏高原，以沙土、腐殖土和园土为基质，进行不同基质配比的砂生槐育苗试验，对比分析砂生槐幼苗生长和根系形态特征在不同基质中的异质性，评价不同基质条件下砂生槐苗木质量，【拟解决的关键问题】筛选出适合砂生槐生长的最佳基质配比，以期为砂生槐容器苗培育提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用砂生槐种子来自西藏林木科学院。试验于 2020 年 7-10 月在西藏农牧学院苗圃温室大棚内进行。试验基质材料的获取和处理如下：

- 1) 沙土：将沙土过 2 mm 土壤筛后保存备用。
- 2) 园土：取自苗圃大田，过 5 mm 筛后备用。
- 3) 腐殖土：在市场购买的生态通用型超级营养土，pH 为 6.0-6.5（贵州鸣门沃农农业发展有限公司）。

1.2 试验设计

将以上材料根据表 1 体积比进行配制，装于规格为 24 cm×30 cm×24 cm（底径×上口径×高）的塑料花盆中，然后用恶霉灵（山西运城绿康实业有限公司）和猝倒立枯灵（河北赞峰生物工程有限公司）对土壤进行消毒处理，后用塑料膜覆盖，一周后播种。砂生槐种子选取种粒饱满、大小均匀、无病虫害的种子，用高锰酸钾消毒后，用 60℃ 热水浸泡 1 d，待种子露白后播种于花盆中，每盆 30 粒，每组 5 个重复，每隔 3 天浇一次水，每次每盆浇水 500 ml。一个月后统计出苗率并进行间苗，每盆按一定的株行距随机留 6 株，共计每处理 30 株，试验过程中按照常规方法进行浇水、锄草等工作。

不同基质配方养分含量见表 1, 可见，不同基质 pH 表现为：MS3>MS2>GS>SS>MS1>HS，土壤有机碳含量表现为：HS>MS1>MS2>GS>MS3>SS，全氮含量表现为：HS>GS>MS1>MS2>MS3>SS，全磷含量表现为：GS>HS>MS1>MS2>MS3>SS，全钾含量表现：GS>MS1>HS>MS2>MS3>SS。

表 1 不同基质配方及土壤养分含量
Tab 1 Different substrate formula and soil nutrient content

基质编号 substrate umber	基质配方 substrate formula (V:V)	有机碳 Organic carbon/(g/kg)	全氮 Total nitrogen/(g/kg)	全磷 Total phosphorus/(g/kg)	全钾 Total potassium/(g/kg)	pH
SS	沙土 (sand soil)	22.25	0.81	0.49	1.78	6.68
GS	园土 (garden soil)	46.00	3.11	1.85	5.02	6.10
HS	腐殖土 (humus soil)	160.96	8.95	1.72	3.93	5.91
MS1	沙土:园土:腐殖土=1:1:1	105.67	2.74	1.57	4.15	6.03
MS2	沙土:园土:腐殖土=2:1:1	50.36	1.70	1.56	3.18	6.17
MS3	沙土:园土:腐殖土=4:1:1	35.49	1.52	1.47	3.00	6.24

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标测定

在培养至 90 天，从每个处理中随机选取砂生槐各 18 株，用游标卡尺（精确至 0.01 mm）

和直尺（精确至 0.1 cm）测量其苗高、地径，并计算高茎比。将砂生槐整株挖出，地上、地下部分洗净分离后放入烘箱，105℃温度条件下杀青 30 min，65℃烘至恒重，分别称取砂生槐幼苗地上、地下生物量，并计算出总生物量和根冠比。再从每个处理剩余的 12 株砂生槐幼苗中选 30 片叶片，重复 5 次，用根系扫描仪测量叶面积，将叶片烘干后计算比叶重。

1.3.2 根系形态指标测定

将以上测量苗高、地径的 18 株幼苗，整株挖掘，从根茎处将地上部分和地下部分剪开，根系用蒸馏水洗净后，用 Epson Twain Pro 数字化扫描仪进行扫描，图像用 Win-RHIZO 根系图像分析系统分析，得到总根长、根表面积、根体积等数据。

1.3.3 土壤养分含量测定

土壤有机碳（Soil organic carbon, SOC）采用重铬酸钾-外加热法，即称取土壤样品 0.05~0.1 g，加入 1/6 $K_2Cr_2O_7$ 和浓 H_2SO_4 各 5 ml，180℃条件下沸腾消煮 5 min，消煮液冷却后转移至 250 ml 三角瓶中备用，转移液用 0.2 mol/L 的 $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ 滴定，根据空白样品消耗的 $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ 的量计算样品中的 SOC 含量；土壤全氮（Totalnitrogen, TN）含量测定采用半微量凯氏法，即称取土壤样品 1.0 g，加入混合催化剂和 10 ml 浓 H_2SO_4 高温共煮 1 h，然后采用定氮仪(UDK149 型，意大利 VELP 公司)在 50 mL-10 mol/L 碱性溶液中碱解蒸馏 3 min，蒸馏液用 20g/L 的 H_3BO_3 吸收，吸收液用 0.01 mol/L HCl 滴定。根据空白样品所消耗 HCl 的量计算样品全氮含量；土壤 TP、TK 含量测定采用 H_2SO_4 - $HClO_4$ 法，即称取过 0.149 mm 筛的风干土壤样品 0.5-1.0 g，样品经水润湿后加 8 ml 浓 H_2SO_4 摇匀，再加 10 滴 72% $HClO_4$ ，摇匀后消煮，消煮液冷却后定容至 100 ml 容量瓶中（事先加入 30 ml 蒸馏水），静置过夜，上清液中的磷采用磷钼蓝比色法测定。上清液中的钾稀释 5 倍后采用火焰光度法测定。pH 值测定采用 pH 测定仪测定^[8]。

1.4 数据统计分析

试验基础数据统计处理采用 Excel 2010，采用 DPS 7.05 系统对数据进行方差分析，处理间各指标的显著性比较采用新复极差（Duncan）法，作图及相关性分析采用 Origin 9.0（Originlab 公司，美国）进行。

2 结果与分析

2.1 不同基质对砂生槐幼苗生长的影响

2.1.1 出苗率、苗高和地径

由表 2 可知，不同基质配方对砂生槐出苗率的影响存在差异，其中 SS 出苗最高达 85%，GS 出苗率最低只有 61%，其余基质均在 70%以上。基质 HS 的砂生槐幼苗苗高和地径均最大，其值分别为 22.84 cm 和 2.32 mm，分别是 SS 的 2.15 和 2.00 倍，苗高和地径在 SS 处最小，分别为 10.62 cm 和 1.16 mm。高径比 MS3 最大（11.53），SS 最小（9.17）。不同基质间

的苗高、地径和高径比均存在显著差异 ($P<0.05$), 多重比较发现 HS 的苗高显著高于 SS、GS、MS2 和 MS3 ($P<0.05$); HS 的地径均与其他各基质间差异显著 ($P<0.05$); MS3 的高径比与 SS、HS 和 MS1 之间差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 不同基质对砂生槐幼苗发芽率、苗高、地径和高径比的影响
Table 2 Effects of different substrates on germination rate, seedling height, ground diameter and height diameter ratio of *Sophora moorcroftiana* seedlings

处理 Treatment	出苗率 Emergence rate/%	苗高 Seedling height/cm	地径 Ground diameter/mm	高径比 Height diameter ratio
SS	85	10.62±0.30 c	1.16±0.04 d	9.17±0.54 d
GS	61	20.81±0.81 b	1.92±0.08 bc	10.89±0.51 ab
HS	74	22.84±0.62 a	2.32±0.06 a	9.83±0.17 cd
MS1	76	21.56±0.73 ab	2.03±0.05 b	10.39±0.28 bc
MS2	76	20.73±0.88 b	1.93±0.04 bc	10.85±0.34 ab
MS3	78	20.67±0.98 b	1.82±0.08 c	11.53±0.55 a

注: 同列数据后的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异有统计学意义, 下同。
Note: The values within a column followed by different lowercase letters represent statistically significant differences at the 0.05 probability level, the same below.

2.1.2 比叶重和生物量

由图 3 可知, 砂生槐幼苗比叶重在 HS 处最大, 其值为 1.70 mg/cm^2 , SS 最小, 其值为 1.16 mg/cm^2 , 并与其它各基质间差异显著 ($P<0.05$)。砂生槐幼苗总生物量以 HS 最大, MS1 次之, 其值分别为 1.61 和 1.60 g, 两者的生物量分别是 SS 的 6.44 和 6.40 倍, 多重比较发现 HS 和 MS1 之间差异不显著 ($P>0.05$), 但与其它基质间差异显著 ($P<0.05$)。砂生槐幼苗根冠比 SS 最大 (1.43), HS 最小 (0.59), 且与 SS 和 MS3 之间差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 不同基质对砂生槐幼苗比叶重和生物量的影响
Table 3 Effects of different substrates on specific leaf weight and biomass of *Sophora moorcroftiana* seedlings

处理 Treatment	比叶重 Specific leaf weight mg/cm^2	总生物量 Total biomass/g	根冠比 Root shoot ratio
SS	1.16±0.08 b	0.25±0.06 c	1.43±0.14 a
GS	1.63±0.19 a	1.26±0.16 b	0.84±0.15 bc
HS	1.70±0.04 a	1.61±0.24 a	0.59±0.11 c
MS1	1.64±0.07 a	1.60±0.23 a	0.80±0.12 bc
MS2	1.58±0.10 a	1.29±0.26 b	0.78±0.10 bc
MS3	1.56±0.18 a	1.03±0.25 b	1.04±0.17 b

2.2 不同基质条件下砂生槐幼苗根系形态特征

2.2.1 根系形态指标

不同基质对砂生槐幼苗根系形态指标的影响如表 4 所示。砂生槐总根长、根表面积、根体积和根生物量均在 MS1 处最大, 其值分别为 376.19 cm 、 78.91 cm^2 、 1.32 cm^3 和 0.67 g , 在 SS 处最小, 其值分别为 165.29 cm 、 33.03 cm^2 、 0.53 cm^3 和 0.15 g , MS1 分别是 SS 的 2.28、2.39、2.49 和 4.47 倍。方差分析表明: 不同基质间的总根长、根表面积、根体积和根生物量均存在显著差异 ($P<0.05$), 多重比较发现 MS1 的总根长、根表面积和根体积均与其它各基质间差异显著 ($P<0.05$), 根生物量 MS1 与 GS、HS、MS2 和 MS3 之间差异不显著 ($P>0.05$), 但与 SS 之间差异显著 ($P<0.05$)。

砂生槐幼苗比根长和比表面积均在 SS 处最大, 其值分别为 12.21 m/g 和 $247.25 \text{ cm}^2/\text{g}$, 与其它各基质间差异显著 ($P<0.05$), 除 SS 外, 其它各基质比根长均介于 5.78~6.74, 比表面积均分布在 113.90~136.91, 各基质之间差异不显著 ($P>0.05$)。根组织密度 HS 处理时最大, 其值为 0.58 g/cm^3 , 是 SS 的 2.15 倍, SS 处理时最小, 其值为 0.27 g/cm^3 , 与其它各基质之间差异显著 ($P<0.05$)。

表 4 不同基质对砂生槐幼苗根系形态指标的影响
Table 4 Effects of different substrates on root morphological indexes of *Sophora moorcroftiana* seedlings

处理 Treatment	总根长 Total root length/cm	根表面积 Root surface area/cm ²	根体积 Root volume/cm ³	根生物量 Root biomass/g	比根长 Specific root length/(m/g)	比表面积 Specific surface area/(cm ² /g)	根组织密度 Root tissue density/(g/cm ³)
SS	165.29±9.39 d	33.03±2.10 c	0.53±0.02 d	0.15±0.04 b	12.21±3.62 a	247.25±30.98 a	0.27±0.08 b
GS	321.87±23.39 bc	64.90±2.74 b	1.04±0.06 c	0.58±0.10 a	5.78±1.40 b	116.47±26.19 b	0.55±0.10 a
HS	334.66±34.02 b	65.07±6.84 b	1.01±0.08 c	0.59±0.11 a	5.90±1.44 b	113.90±22.51 b	0.58±0.11 a
MS1	376.19±12.94 a	78.91±3.32 a	1.32±0.06 a	0.67±0.15 a	5.91±1.51 b	124.01±17.98 b	0.51±0.12 a
MS2	345.65±26.83 b	70.45±5.81 b	1.17±0.08 b	0.54±0.14 a	6.74±1.63 b	136.91±32.21 b	0.46±0.12 a
MS3	302.89±22.99 c	66.75±4.74 b	1.14±0.04 b	0.52±0.13 a	6.07±1.13 b	133.75±25.04 b	0.45±0.11 a

2.2.2 不同径级根系形态指标

树木根系可以按照直径大小划分为粗根和细根，粗根主要起支持、固着和输导的作用，细根主要起吸收水分和养分的功能^[9]。已有研究中，大多学者将根系直径 ≤ 2 mm 的分类为细根^[10-11]，也有学者将 0.5 mm、1 mm 或 5 mm 的根分为细根^[12-13]。有研究发现 ≤ 2 mm 的根系中约有 42%~75%的根系属于具有吸收功能的细根^[14]。本研究根据根系直径（D）大小将砂生槐根系分为 3 个径级：0 mm<D $\leq$ 0.5 mm、0.5 mm<D $\leq$ 2 mm、2 mm<D $\leq$ 5 mm，并对总根系、根系表面积和根系体积进行测定。

不同基质对砂生槐幼苗不同径级根系形态指标的影响如图 1 所示。根系长度除 MS3 外，其它各基质均在 0 mm<D $\leq$ 0.5 mm 的径级范围内最长，在 2 mm<D $\leq$ 5 mm 径级范围内最短。0 mm<D $\leq$ 0.5 mm 径级范围内根长由大到小依次为：MS1>HS>GS>MS2>MS3>SS，MS1 根长最长，其值为 195.29 cm，与 GS、HS 和 MS2 差异不显著（ $P>0.05$ ），但与 SS 之间差异显著（ $P<0.05$ ）。0.5 mm<D $\leq$ 2 mm 径级范围内，根长大小依次为：MS1>MS2>MS3>HS>GS>SS，MS1 与 HS、GS 和 SS 之间差异显著（ $P<0.05$ ）。2 mm<D $\leq$ 5 mm 径级范围内，MS1 根长最长，其值为 14.20 cm，SS 最短，仅有 2.32 cm，与其它各处理之间差异显著（ $P<0.05$ ）。

各基质根表面积均在径级为 0.5 mm<D $\leq$ 2 mm 时最大，MS1 显著高于其它各基质，其值为 42.03 cm²，SS 最小，其值为 21.16 cm²，亦与其它各基质间差异显著（ $P<0.05$ ）。在径级为 0 mm<D $\leq$ 0.5 mm 范围内，根表面积大小依次为：MS1>HS>GS>MS2>MS3>SS，MS1 根表面积最大（19.45 cm²），与 SS、GS、MS2 和 MS3 之间差异显著（ $P<0.05$ ）。在 2 mm<D $\leq$ 5 mm 范围内，根表面积大小依次为：MS1>GS>MS2>MS3>HS>SS，MS1 亦最大（12.86 cm²），SS 最小（1.71 cm²），且二者与其它各基质间差异显著（ $P<0.05$ ）。

根体积除 GS 和 HS 在 2 mm<D $\leq$ 5 mm 径级范围最大外，其它各基质均在 0.5 mm<D $\leq$ 2 mm 范围内最大。在 0 mm<D $\leq$ 0.5 mm 径级范围内，根体积大小依次为：MS1>HS>MS2>GS>MS3>SS，MS1 值为 0.17 cm³，与 SS 和 MS3 之间差异显著（ $P<0.05$ ）。0.5 mm<D $\leq$ 2 mm 范围内，MS1 最大，其值为 0.98 cm³，与 SS、GS 和 HS 之间差异显著（ $P<0.05$ ）。在 2 mm<D $\leq$ 5 mm 范围内，根体积大小依次为：MS1>GS>MS2>MS3>HS>SS，MS1 亦最大，其值为 0.97 cm³，SS 最小，仅为 0.10 cm³，与其它各基质间差异显著（ $P<0.05$ ）。

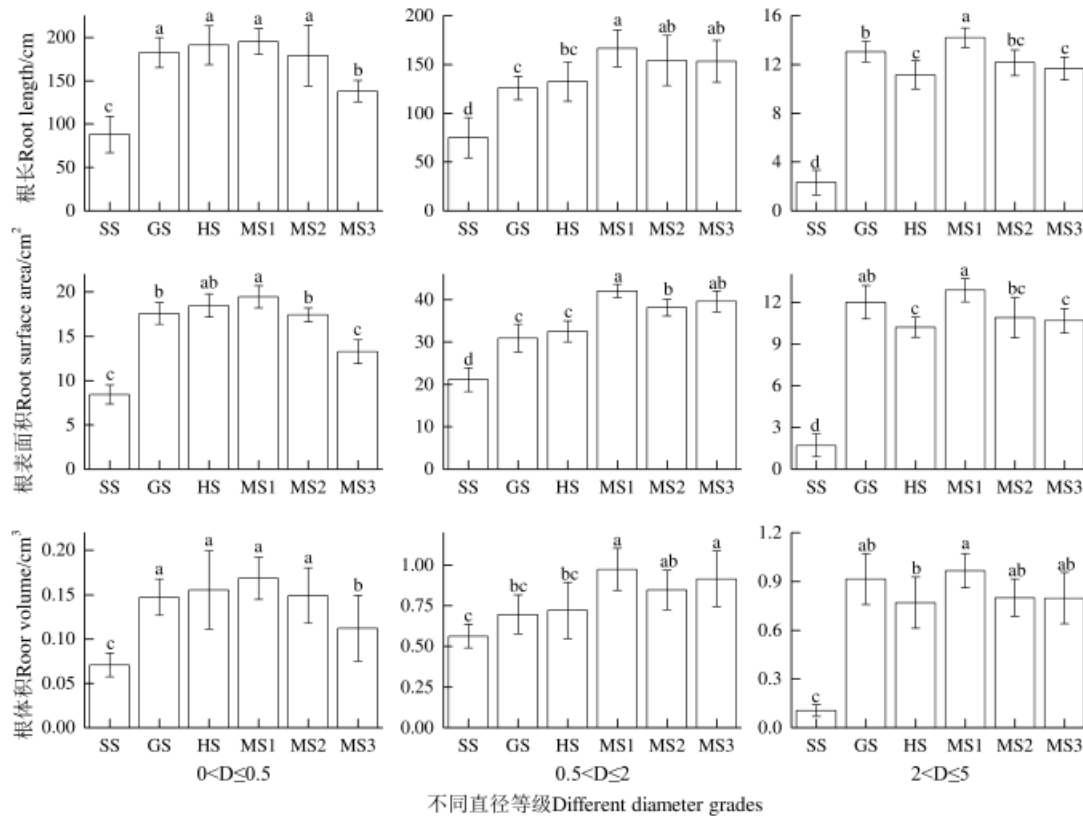


图1 不同基质对砂生槐幼苗不同径级根系形态指标的影响

Fig.1 Effects of different substrates on root morphological indexes of different diameter classes of *Sophora moorcroftiana* seedlings

注：短栏上的不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异有统计学意义。

Note: Different lowercase letters above bars represent statistically significant differences at the 0.05 probability level.

3 讨论

育苗基质是苗木培育的关键影响因素之一，不同种类的基质，其营养成分和肥力不同，对苗木的生长及品质的影响存在差异。采用不同基质进行组合，筛选出最优的基质配比，不但能够有效弥补单一成分基质的不足，还能改善土壤中理化性质，从而促进苗木生长、提高成活率和培育效率。本试验采用沙土、腐殖土和园土作为基质的主要成分，研究不同基质对砂生槐幼苗生长及根系形态的影响。结果表明，SS 出苗率最高，GS 出苗率最低。这主要是因为种子在萌发期主要受基质物理性状的影响。沙土较园土透气性好，可为砂生槐种子的萌发提供足够的优质的萌发环境。程龙霞等^[15]研究不同基质对欧洲鹅耳枥生长的影响时发现，透气性较好的基质出苗较高，园土出苗率最低，与本研究结果基本一致。基质对种子出苗的影响主要与水分、温度、土壤孔隙度和土壤 pH 有关^[16]，沙土的透气性以及中性环境对砂生槐种子发芽非常有利^[17]，园土结构紧密，与沙土相比透气性差，浇水后容易板结，导致出苗率较低。HS 所育砂生槐幼苗的苗高和地径均显著高于其他基质处理，但在生长后期 HS 处理幼苗出现了较为严重的白粉病，且植株倒伏严重，这可能是因为腐殖土含有大量的腐殖质，养分含量较高，疏松透气，且保水性能较好，使得苗木生长旺盛，但由于腐殖土颗粒较大，细菌含量多，且质地松软，不能与根系紧密接触，使得植株容易倒伏和感染病害^[18]，

另外，腐殖土育苗成本较高，故在生产中不建议推广应用。本研究中，除 HS 外，苗高、地径 MS1 最大，SS 最小，MS1 基质是由沙土、腐殖土和园土按照体积 1: 1: 1 的比例进行混合，其中，沙土可以增加基质的孔隙度，促进苗木根系生长，腐殖土可有效增加基质中供苗木生长所需要的营养元素，并调节基质 pH，园土取材方便，可以提高基质的保水和保肥能力^[19-20]，促进了苗木的生长；SS 营养物质缺乏，保水能力差，夏季温度较高，根部缺水，抑制了苗木的生长^[21]。有研究发现沙土作为珙桐的育苗基质时，会抑制苗高和地径的生长，因为纯沙土缺乏养分，容易漏水漏肥，导致苗木生长缓慢^[22]，与本研究结果相一致。高径比 SS 最小，原因可能是沙土营养物质较少，根系为了吸收更多的营养，促进根系的生长，但是根系吸收的养分仍不能满足地上部分生长，导致高径比较小^[23]。除 SS 和 HS 外，MS1 高径比最小，表明 MS1 相较于其他基质苗木比较粗壮，抗性较强，MS3 高径比最大，苗木表现为细高，抗性差。

比叶重和生物量是反映叶片和苗木质量的重要指标，它能够有效反映苗木是否徒长^[24]。有研究发现，欧洲鹅耳枥 1 年生播种苗以园土、珍珠岩、蛭石和草炭为主要成分的混合基质的叶重比和总生物量均比对照（园土）的大^[25]。本研究中，比叶重和总生物量均表现为 HS 最大，MS1 次之，SS 最小。水分、有机碳、氮、磷、钾素都是植物生长的所需的重要营养元素，叶片又是植物进行光合作用，积累有机物质的主要场所，基质中养分含量高，会促进根系吸收养分，使得输送到地上部分的养分增多，植物生长旺盛，导致有机物质的积累增加，使得比叶重和生物量增大^[26-27]。根冠比是反映植物地下部分与地上部分相关性的指标，外界环境条件会对植物根冠比有一定影响^[28]。本研究中，根冠比表现为 SS 最大，HS 最小，有研究发现，不同基质配比对木荷容器苗地下部分的根系发育影响显著，基质饱和持水量大，透气性差，会影响根系发育，但在营养成分足够的前提下，基质中加入适量的谷糠能有效改善土壤透气性，使基质与根系形成紧密的根团，从而促进容器苗的根系生长，降低根冠比^[29]。

基质配比是苗木生长的一个重要影响因素，研究表明，不同基质和不同基质配比的交互作用对苗木生长和根系发育均有显著影响^[29]。MS1 基质培育的砂生槐幼苗根系发育状况最好，SS 基质培育的砂生槐幼苗根系发育最差，推测原因是 MS1 基质较为松散，有利于根系的延长和伸展，且养分充足，可提供丰富的有机质，有利于砂生槐幼苗的干物质积累和营养生长^[30]，SS 基质容重较大，保水保肥能力差，水分和养分极不稳定，因此水分和养分成为了根系生长的主要限制因子^[31]。不同基质根系径级 $0\text{ mm}<D\leq 0.5\text{ mm}$ 的总根长最大， $0.5\text{ mm}<D\leq 2\text{ mm}$ 的根系表面积和根系体积最大，前两个径级的总根长和根系表面积比径级 $2\text{ mm}<D\leq 5\text{ mm}$ 的高 80% 以上，这说明径级 $D\leq 2\text{ mm}$ 的细根是本试验中砂生槐苗木根系的主体，用该径级范围的根系可以表示砂生槐地下根系生长的总体情况。在 $0\text{ mm}<D\leq 2\text{ mm}$ 径级范围内，MS1 基质 3 个指标（总根长、根系表面积和根系体积）均最大，SS 基质 3 个指标均最小。总体来看，MS1 基质最好，这可能是 MS1 基质养分含量充足，质地较为松散，透气性较好，且根系与基质能紧密接触，根系吸收水分和养分的效率较高^[32]。

4 结论

(1) 本研究中, 砂生槐种子发芽率在沙土中最高 (85.0%), GS 出苗率最低只有 61%, 其余基质均在 70%以上, 即沙土更有利于砂生槐种子的萌发, 而园土由于其透气性较差, 不利于砂生槐种子的萌发; 从幼苗地上生长指标来看, 砂生槐幼苗比叶重、总生物量、苗高、地径均在 HS 处最大, 但 HS 基质中植株容易倒伏和感染病害, 且成本较高, 故不建议推广, 除 HS 外, MS1 最大, SS 最小, 说明砂生槐幼苗在 MS1 基质中生长最优, SS 基质生长最差;

(2) 砂生槐总根长、根表面积、根体积和根生物量均在 MS1 处最大, 其值分别为 376.19 cm、78.91 cm²、1.32 cm³ 和 0.67 g, 在 SS 处最小, 其值分别为 165.29 cm、33.03 cm²、0.53 cm³ 和 0.15 g, 进一步说明砂生槐幼苗在 MS1 基质中生长最优, SS 基质生长最差;

(3) 通过分析不同基质对砂生槐幼苗不同径级根系形态指标的影响, 可知根系长度除 MS3 外, 其它各基质均在 0 mm<D≤0.5 mm 的径级范围内最长, 在 2 mm<D≤5 mm 径级范围内最短。各基质根表面积均在径级为 0.5 mm<D≤2 mm 时最大, MS1 显著高于其它各基质, 其值为 42.03 cm², SS 最小, 其值为 21.16 cm², 与其它各基质间差异显著 ($P<0.05$)。在 0 mm<D≤0.5 mm 径级范围内, 根体积大小依次为: MS1>HS>MS2>GS>MS3>SS, 在 2 mm<D≤5 mm 范围内, 根体积大小依次为: MS1>GS>MS2>MS3>HS>SS。

参考文献

- [1] 李贵雨, 卫星, 汤园园, 等. 白桦不同轻基质容器苗生长及养分分析[J]. 林业科学, 2016, 52(7): 30-37.
- [2] 滕飞, 刘勇, 姜军山, 等. 蘑菇渣堆肥对华北落叶松移植容器苗生长和营养积累的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3889-3894.
- [3] 周新华, 武晓玉, 何平, 等. 3 种育苗因素对闽楠容器苗生长和根系发育的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(3): 45-53.
- [4] 陆秀君, 李宏伟, 艾万峰, 等. 容器规格、基质配比和缓释肥对蒙古栎容器苗质量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(7): 17-22.
- [5] 余远国, 张莹, 曹克丽, 等. 基质配方对油茶容器苗根系生物量及形态的影响[J]. 经济林研究, 2020, 38(4): 11-16.
- [6] 王玉婷, 普布次仁, 麻文俊, 等. 西藏不同生长地砂生槐群体种子生物碱含量及其相关性分析[J]. 西北植物学报, 2018, 38(10): 1913-1917.
- [7] 崔光帅, 张林, 沈维, 等. 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(1): 53-61.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019, 30-34/44-48/74-76/101-103.
- [9] Nguyen P V, Dickmann D I, Pregitzer K S, et al. Late-season changes in allocation of starch and sugar to shoots, coarse roots, and fine roots in two hybrid poplar clones [J]. Tree Physiology, 1990, (1-2-3-4):95.
- [10] 王雪, 陈光水, 闫晓俊, 等. 亚热带常绿阔叶林 89 种木本植物一级根直径的变异[J]. 植物生态学报, 2019, 43(11): 969-978.
- [11] Block R M A, Van Rees K C J, Knight J D. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations [J]. Agroforestry Systems, 2006, 67(1): 73-84.
- [12] 杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等. 采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(1): 64-73.
- [13] Pregitzer K S, Dickmann D I, Hendrick R, et al. Whole-tree carbon and nitrogen partitioning in young hybrid poplars [J]. Tree Physiology, 1990, 7(1-4): 79-93.
- [14] 席本野. 杨树根系形态、分布、动态特征及其吸水特性[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(12): 37-49.
- [15] 程龙霞, 施曼, 祝遵凌. 不同基质处理对欧洲鹅耳枥播种苗生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(12): 18-21.
- [16] 朱李奎, 陆维超, 马开骧, 等. 温度、盐分、pH 值和光照强度对毛白杨种子萌发的影响[J]. 种子, 2017, 36(4): 87-90.
- [17] 郑嘉诚, 李永霞, 杨小林. 不同基质对江孜沙棘萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2019, 38(8): 83-85.

- [18] 王—峰, 陈耀年, 赵淑玲, 等. 不同基质处理对油橄榄嫩枝扦插生根率的影响[J]. 宁夏师范学院学报, 2020, 41(1): 41-45.
- [19] 吕家, 范春楠, 郭忠玲, 等. 不同轻基质组合及容器规格对紫椴幼苗生长的影响[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2020, 21(2): 170-174.
- [20] 张颖. 不同基质配比对容器大叶女贞苗生长与生理指标影响的研究[D]. 河南农业大学, 2011, 4-9.
- [21] Zhao W Z, Li Q Y, Fang H Y. Effects of sand burial disturbance on seedling growth of *Nitraria sphaerocarpa* [J]. Plant & Soil, 2007, 295(1-2):95-102.
- [22] 徐华, 宋晓斌, 郭树杰, 等. 珙桐山地育苗试验[J]. 西南林学院学报, 2007(6): 35-38.
- [23] Kullmann F, Makas M, Heuberger H, et al. Influence of wood fibre substrates from different wood species on plant growth and the root colonising capability of arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Angewandte Botanik, 2003, 77(3):90-94.
- [24] Camalle M, Standing D, Jitan M, et al. Effect of Salinity and Nitrogen Sources on the Leaf Quality, Biomass, and Metabolic Responses of Two Ecotypes of *Portulaca oleracea* [J]. Agronomy, 2020, 10(5):656.
- [25] 余萍, 丁志彬, 程龙霞, 等. 不同基质对欧洲鹅耳枥 1 年生播种苗生长及生理特性影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(9): 44-50.
- [26] Cavalcanti N D B. Effect of Different Substrates on Emergence the Growth Seedlings of JAMBOLAO (*Syzygium jambolanum* Lam.) [J]. Engenharia Ambiental Pesquisa E Tecnologia, 2010, 7(2):241-251.
- [27] Sahoo G R, Swamy S L, Mishra A, et al. Effect of seed source, light, and nitrogen levels on biomass and nutrient allocation pattern in seedlings of *Pongamia pinnata* [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020:1-16.
- [28] Covington D, Raymond A. Taxonomic uniformitarianism: The problem with shoot/root ratios of peats [J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1989, 58(1):85-94.
- [29] 马雪红, 胡根长, 冯建国, 等. 基质配比、缓释肥量和容器规格对木荷容器苗质量的影响[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 505-509.
- [30] 王艺, 王秀花, 张丽珍, 等. 不同栽培基质对浙江楠和闽楠容器苗生长和根系发育的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 81-87.
- [31] Remo Stürmlin, Gross J J, Wellnitz O, et al. Influence of nutrient availability on in vitro growth of major bovine mastitis pathogens [J]. J Dairy Res, 2021:1-9.
- [32] 邓华平, 杨桂娟. 不同基质配方对金叶榆容器苗质量的影响[J]. 林业科学研究, 2010, 23(1): 138-142.