

不同配比育苗基质对橡胶树砧木生长的影响

师万源^{1,2}, 缪佳^{1,2}, 田海^{1,2}, 唐敏^{1,2}, 孙小龙^{1,2*}

(1. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100;

2. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]为优化橡胶树GT1砧木的育苗基质配比并提升苗木品质,以生红土、椰糠、泥炭及甘蔗叶渣为原料,设计6种体积配比的复合基质,以生红土为对照(CK),研究基质的理化性质,并通过分析不同配比砧木的苗高、茎粗、苗木生物量、根冠比、壮苗指数,根系和叶片的表现性状及叶片SPAD值在不同配比基质栽植,结合隶属函数综合评价法,解析基质对比对橡胶树GT1砧木的影响。结果表明:除容重外,添加椰糠、泥炭及甘蔗叶渣基质的其他理化性质均高于CK;砧木成活率均超过98%,其中T4(生红土:泥炭:甘蔗叶渣=3:5:2)最高,为100%;壮苗指数以含适量椰糠和泥炭的T2(生红土:椰糠:泥炭土=7:1:2)最好,为4.40,显著高于其他处理;不同育苗基质的砧木根系指标存在差异,其中以添加适量甘蔗叶渣的T1(生红土:甘蔗叶渣=7:3)根系最长,根径最粗,侧根数量最多。T1的叶绿素相对含量最高,T2的叶片长和宽均大于其他处理。基于隶属函数综合评价,育苗效果排序为T1>T2>CK>T5(椰糠:泥炭:甘蔗叶渣=3:6:1)>T4>T3(生红土:椰糠:泥炭:甘蔗叶渣=5:2:2:1)。T1和T2基质是本试验条件下培育橡胶树GT1砧木的推荐育苗基质配方。

[关键词]橡胶树;育苗基质;砧木;生长指标

中图分类号:S794.105 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)01-0076-06

The Influence of Different Ratios of Seedling Substrates on the Growth of Rubber Tree Rootstocks

SHI Wanyuan^{1,2}, MIAO Jia^{1,2}, TIAN Hai^{1,2}, TANG Min^{1,2}, SUN Xiaolong^{1,2*}

1. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Research on Rubber Tree, Jinghong 666100, China;

2. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: To optimize the substrate ratio for the GT1 rootstock of rubber tree and improve the quality of the seedlings, six composite substrates with different volume ratios were designed using raw red soil, coconut coir, peat and sugarcane leaf residue as raw materials. With raw red soil as the control (CK), the physicochemical properties of the substrates were studied. By analyzing growth parameters such as the height of the rootstock seedlings, stem thickness, biomass of the seedlings, root-crown ratio, strong seedling index, apparent traits of the root system and leaves, and SPAD value, and combining with the membership function comprehensive evaluation method, the influence of substrate ratio on the physiological adaptability of rubber tree GT1 rootstocks was analyzed. The results show that, except for bulk density, the other physicochemical properties of the matrix with added coconut coir, peat and sugarcane leaf residue are all higher than those of CK. The survival rates of the rootstocks all exceeded 98%, among which T4(red soil:peat:sugarcane leaf residue = 3: 5:2) was the highest, reaching 100%. The vigorous seedling index was best in the T2(red soil:coconut coir:peat = 7:1:2) containing an appropriate amount of coconut coir and peat, which was 4.40, significantly higher than that in other treatments. The root system indicators of rootstocks in different seedling substrates vary. Among them, the T1 (red soil:sugarcane leaf residue =

收稿日期:2025-06-01

基金项目:云南省热带作物科学研究所热带作物科技创新专项资金(689-3)

作者简介:师万源(1995-),男,研究实习员,硕士,主要从事橡胶树种苗繁育及组织培养工作。E-mail:877595031@qq.com

*通信作者:孙小龙(1977-),男,副研究员,主要从事橡胶树种苗繁育工作。E-mail:longlonghong@tom.com

7:3) with an appropriate amount of sugar cane leaf residue added has the longest root system, the thickest root diameter, and the largest number of lateral roots. The relative chlorophyll content of T1 was the highest, and the leaf length and width of T2 treatment were both greater than those of other treatments. Based on the comprehensive evaluation of membership functions, the ranking of seedling cultivation effects is T1>T2>CK>T5(coconut coir: peat: sugarcane leaf bagasse=3:6:1)>T4>T3(red soil:coconut coir:peat:sugarcane leaf bagasse=5:2:2:1). The substrate formulas T1 and T2 are the recommended seedling substrate formulas for cultivating rubber tree GT1 rootstocks under the conditions of this experiment.

Key words: *Hevea brasiliensis*; seedling substrate; rootstock; growth index

橡胶树 (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) 为大戟科 (Euphorbiaceae) 橡胶树属 (*Hevea*) 的重要热带经济作物, 其种苗繁育是产业发展的基石。当前生产实践中应用的苗木主要包括籽苗芽接苗、小苗芽接苗、裸根芽接桩苗、袋装芽接苗、高截干芽接桩苗、自根幼态无性系苗等6类。其中, 裸根芽接桩苗、袋装芽接苗、高截干芽接桩苗因培育周期易受时间与气候制约^[1], 加之种植运输成本较高, 正逐步被籽苗芽接苗和小苗芽接苗取代。自根幼态无性系苗虽已在少数品种实现初步规模化生产, 但在现有技术体系下, 其大规模推广仍面临显著挑战^[2]。

相较于传统方式, 橡胶树籽苗芽接技术可将育苗周期显著缩短6~9个月, 且培育的砧木具备根系发达、定植后成活率高、缓苗期短、恢复生长迅速等优势^[3], 造林后林相整齐度与树形一致性表现优异, 已在我国植胶区广泛应用。为优化生产成本, 籽苗芽接常选用经济型塑料育苗袋作为容器。而育苗基质的选择对苗木质量至关重要, 需经科学试验验证。容器育苗基质种类繁多, 常见的有泥炭、蛭石、椰糠、珍珠岩、锯末、菇渣、甘蔗渣、生物炭等^[4]。为实现养分的最佳配置并促进不同理化性质基质的协同增效, 必须依据目标植物的生物学特性, 对多种基质进行科学配比^[5]。国内研究者已就橡胶树育苗适宜的基质优化开展初步探索: 孙小龙等^[6]研究表明, 锯末+生红土与甘蔗渣+生红土有利于橡胶树 GT1 品种幼苗生长; 田海等^[7]发现, 生红土(75%)+泥炭(25%)的混合基质对籽苗芽接袋育苗具良好效果; 陈青等^[8]发现, 椰糠+泥炭(3:1)和椰糠+表土(3:1)基质有助于橡胶树组培苗小筒苗生长。

当前橡胶树芽接苗培育的核心目标在于提质增效, 即在保障优质苗木的同时降低生产成本。

基质配比是影响籽苗芽接育苗的关键因素。本研究选取生红土、甘蔗叶渣、椰糠、泥炭土等材料, 通过基质配比试验, 以筛选出适宜 GT1 砧木生长的优化混合基质配方, 为后续接穗抽芽提供坚实的营养基础, 最终达到提升芽接苗整体长势及定植成活率的目的。

1 材料和方法

1.1 材料

供试砧木材料为橡胶树 GT1 品种开放授粉种子, 于2024年11月进行沙藏催芽。生红土(pH 5.17~6.46)取自云南省热带作物科学研究所橡胶种苗繁育基地; 印度进口椰糠、柯洛农 K2 泥炭土均购自广州润捷农业科技有限公司; 甘蔗叶渣购自勐海县勐遮镇黎明糖厂, 装袋时已堆积发酵90 d。育苗容器为下底径6.6 cm、上口径8.0 cm、高29.0 cm的塑料育苗袋(单袋重量22.52 g)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

2024年11月23日, 将沙藏催芽的砧木实生苗取出进行芽接, 芽接当日在云南省热带作物科学研究所橡胶种苗繁育基地开展基质试验。试验周期内大棚温度为18.3~30.7℃, 相对湿度63.3%~81.4%。试验基质由生红土、椰糠、泥炭及甘蔗叶渣按体积比组成6个处理(表1), 以生红土(CK)为对照。每个处理50株苗, 3次重复, 苗期按常规方式管理。

表1 育苗基质体积配比 单位: %

处理	生红土	椰糠	泥炭	甘蔗叶渣
CK	100	0	0	0
T1	70	0	0	30
T2	70	10	20	0
T3	50	20	20	10
T4	30	0	50	20
T5	0	30	60	10

1.2.2 指标测量

开展基质试验前测定基质理化性质,2~3蓬叶时测定植株生长指标(2025年2月27日),具体如下。(1)统计砧木成活率,砧木成活率=砧木成活株数/总株数×100%。(2)测量砧木根系和生长指标,每个处理组随机挑选15株,用皮尺和游标卡尺分别测量根系总长和根系直径,根系体积采用排水法测量^[9];用电子天平测量干鲜质量,壮苗指数^[10]=(茎粗/苗高)×全株鲜质量×10,计算根冠比^[11]=地下部分干质量/地上部分干质量;用直尺分别测量苗高、叶长、叶宽,用游标卡尺测量茎粗,并统计单株总叶片数。(3)测定叶片SPAD值,每个处理组随机挑选15株,用SPAD-502 Plus手持叶绿素仪测量砧木底蓬叶SPAD值,底蓬叶的3片叶均取叶中部重复测量3次。

基质理化性质测定:每个处理组随机挑选5袋基质,先将各处理组的基质分别放入烘箱中烘干备用,然后测定基质的容重、总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙等理化性质^[12],利用METTLER TOLEDO FE28 pH计测基质pH,基质含水量采用烘干法测定^[13]。

1.3 数据分析

采用Excel对数据进行统计汇总,使用SPSS 25.0进行显著性差异分析。对生长指标采用综合隶属函数法进行综合评价,计算各处理隶属度均值,评估不同基质处理对砧木生长的影响,其中评价价值越高,说明该基质处理对砧木生长的促进作用越显著。计算方法^[14]:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

公式中, $R(X_i)$ 为隶属函数值, X_i 表示第*X*处理组中*i*指标测定值, X_{\max} 和 X_{\min} 分别代表第*X*处理组中某一指标的最大值和最小值。

2 结果与分析

2.1 育苗基质的理化性质

不同配比育苗基质的理化性质存在差异(表2)。与对照组(纯生红土)相比,添加椰糠、泥炭土或甘蔗叶渣的处理(T1~T5)总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度、pH值及基质含水量均显著升高,而容重显著降低,具体表现如下:容重上,CK的容重最大(1.15 g/cm³),显著高于其他处理;T1显著高于T3、T4、T5,T5最低。总孔隙度上,各处理的总孔隙度在29.82%~68.99%,CK的总孔隙度最低(29.82%),显著低于其他处理组;T5的总孔隙度最高(68.99%),显著高于其他处理,其他处理间(T1~T4)无显著差异。通气孔隙度上,各处理的通气孔隙度为7.09%~16.05%,T4的通气孔隙度最高(16.05%);T2、T3显著高于T5、T1、CK;T5显著高于T1和CK。持水孔隙度上,各处理组持水孔隙度为22.73%~56.98%,其中T5的持水孔隙度最高(56.98%),显著高于其他处理;T2、T3、T4显著高于CK;CK最低,为22.73%。pH上,CK的pH最低(5.08),显著低于其他处理;T5的pH最高(6.46),显著高于其他处理;T3、T4显著高于T1、T2。含水量上,各含水量在45.54%~84.87%,T5的含水量最高(84.87%),显著高于其他处理;T2、T3、T4显著高于T1和CK。

表2 不同育苗基质的理化性质

处理	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	通气孔隙度/%	持水孔隙度/%	pH	基质含水量/%
CK	1.15±0.02 ^a	29.82±1.34 ^c	7.09±0.39 ^d	22.73±1.26 ^d	5.08±0.07 ^d	45.54±0.63 ^d
T1	0.91±0.01 ^b	47.71±1.13 ^b	8.98±1.03 ^d	33.65±0.78 ^{cd}	5.80±0.09 ^c	49.27±0.15 ^d
T2	0.83±0.01 ^{bc}	52.16±1.52 ^b	14.67±0.87 ^b	37.49±1.33 ^c	5.79±0.07 ^c	55.67±0.71 ^c
T3	0.65±0.03 ^c	50.86±1.09 ^b	13.12±0.85 ^b	37.74±0.96 ^c	5.97±0.16 ^b	56.88±0.73 ^c
T4	0.49±0.01 ^d	53.90±1.45 ^b	16.05±0.94 ^a	37.85±0.94 ^c	6.11±0.06 ^b	64.03±1.01 ^{bc}
T5	0.16±0.02 ^e	68.99±1.22 ^a	12.02±1.11 ^c	56.98±1.21 ^a	6.46±0.14 ^a	84.87±0.47 ^a

注:同列数据间不同小写字母表示差异达显著水平(P<0.05),下同。

2.2 不同基质配比对砧木生长指标的影响

不同基质处理的砧木成活率及生长指标分析结果见表3。T4的砧木成活率最高(100%),其次

是T1(99.33%),其余处理(T2、T3、T5)均为98.67%。CK的苗高(51.23 cm)和茎粗(5.52 mm)均为最大值,均显著高于除T1和T2外的其他处

理; T5的苗高最矮(43.83 cm)且茎粗最细(4.89 mm),与CK相比,苗高降低7.4 cm、茎粗降低0.63 mm。全株鲜质量最轻的是T3(10.30 g); T2、T1、CK的全株鲜质量均超过了12.0 g。各处理的壮苗

指数由高至低排序为T2 > T1 > CK > T4 > T5 > T3; T2的壮苗指数最高(44.16),显著高于其他处理; T3壮苗指数最低(34.87)。综合生长指标表现, T1、T2的基质配比更有利于砧木的生长。

表3 不同基质对砧木生长指标的影响

处理	砧木成活率/%	苗高/cm	茎粗/mm	全株鲜质量/g	壮苗指数
CK	98.67	51.23±0.93 ^a	5.52±0.06 ^a	12.51±1.03 ^a	42.31±0.91 ^b
T1	99.33	49.26±1.36 ^{ab}	5.38±0.10 ^{ab}	12.47±0.87 ^a	42.73±1.24 ^b
T2	98.67	49.81±1.29 ^{ab}	5.40±0.09 ^a	12.92±1.10 ^a	44.16±1.82 ^a
T3	98.67	47.08±0.83 ^b	5.04±0.06 ^b	10.30±0.94 ^c	34.87±0.85 ^d
T4	100.00	45.14±0.77 ^{bc}	5.03±0.05 ^b	11.15±0.88 ^b	39.44±1.28 ^c
T5	98.67	43.83±0.99 ^c	4.89±0.06 ^c	11.02±1.15 ^b	38.66±1.19 ^c

2.3 不同基质比对砧木全株干质量和根冠比的影响

从不同基质处理对砧木生物量分配的影响分析(图1),各基质处理间砧木的总干质量、地上和地下部分干质量、根冠比指标存在差异。T1、T2的地下部分干质量最大,分别是1.43 g和1.45 g,显著高于其他处理。T2全株干质量3.13 g、地上部干质量1.68 g,均为最高,与其他处理差异显著(CK除外)。T5的全株干质量(2.71 g)、地上和地下部分干质量(1.51 g和1.21 g)皆为最小,说明T5对砧木的促生长效果不理想。

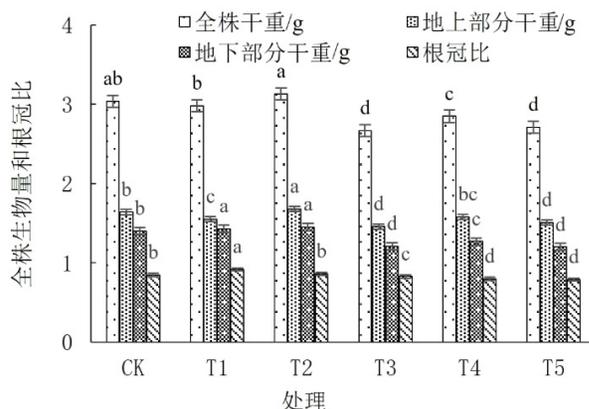


图1 不同基质比对砧木生物量、根冠比的影响

注:同一指标不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

根冠比表示植物地上与地下器官生物量的分配特征,苗期该比值增加反映植株养分吸收与转运效能的提升。从图1可见, T1的根冠比最大(0.92),显著高于其他处理,说明砧木在T1基质

中根系长势较好。根冠比最小的是T5(0.79),显著低于除T4外的其他处理。综合来看, T1和T2更有利于砧木生长。

2.4 不同基质比对砧木根系生长的影响

不同基质处理根系生长指标统计分析结果见表4。根系总长排序为T1 > CK > T2 > T5 > T4 > T3,其中T1的根系总长最长(45.73 cm),显著高于其他处理; T3最短(40.33 cm)。根系直径排序为T1 > CK > T2 > T5 > T3 > T4,其中最粗的亦是T1(6.81 mm),显著高于除CK外的其他处理; T4最细(6.10 mm)。从根系鲜质量来看, T2要明显高于其他处理, T3最轻(5.20 g),两者相差1.68 g。侧根数最多的是T1(25.25条); T3最少(15.30条)。CK的根系体积显著高于其他处理; T1、T2显著高于T3、T4, T2比T3高出33.26%;所有处理中只有T3、T4的根系体积未超过5.0 cm³。

2.5 不同基质比对砧木叶片性状的影响

各基质处理的砧木叶片性状指标统计分析结果见图2。T2的总叶片数最多(19.80片),显著高于除CK外的其他处理, T4叶片总数最少(16.40片),显著低于其他处理。T2的叶长(9.68 cm)和叶宽(3.27 cm)表现最佳,叶长显著高于其他处理; T5的叶长(8.66 cm)和叶宽(2.86 cm)最小,显著低于其他处理。各处理叶绿素相对含量的高低排序为T1 > T2 > T4 > T3 > CK > T5,6组处理中仅T5的SPAD值低于60.0,其中T1的SPAD最高(65.47); T2、T3、T4显著高于T5和CK。

表4 不同基质配比对砧木根系生长的影响

处理	根系总长/cm	根系直径/mm	根系鲜重/g	侧根数	根系体积/cm ³
CK	42.46±3.12 ^b	6.74±0.67 ^{ab}	6.13±0.28 ^{bc}	17.00±4.56 ^c	6.23±1.03 ^a
T1	45.73±2.62 ^a	6.81±0.59 ^a	6.35±0.25 ^b	25.25±3.65 ^a	5.71±0.98 ^b
T2	42.30±2.85 ^b	6.64±1.31 ^b	6.88±0.30 ^a	23.50±3.54 ^{ab}	5.77±1.57 ^b
T3	40.33±4.97 ^c	6.22±1.78 ^{cd}	5.20±0.21 ^d	15.30±4.33 ^c	4.33±1.34 ^c
T4	41.30±2.53 ^{bc}	6.10±0.74 ^d	5.61±0.24 ^c	20.76±3.49 ^b	4.87±1.95 ^c
T5	41.68±3.01 ^{bc}	6.30±0.92 ^c	5.59±0.31 ^c	22.75±4.18 ^b	5.07±1.83 ^{bc}

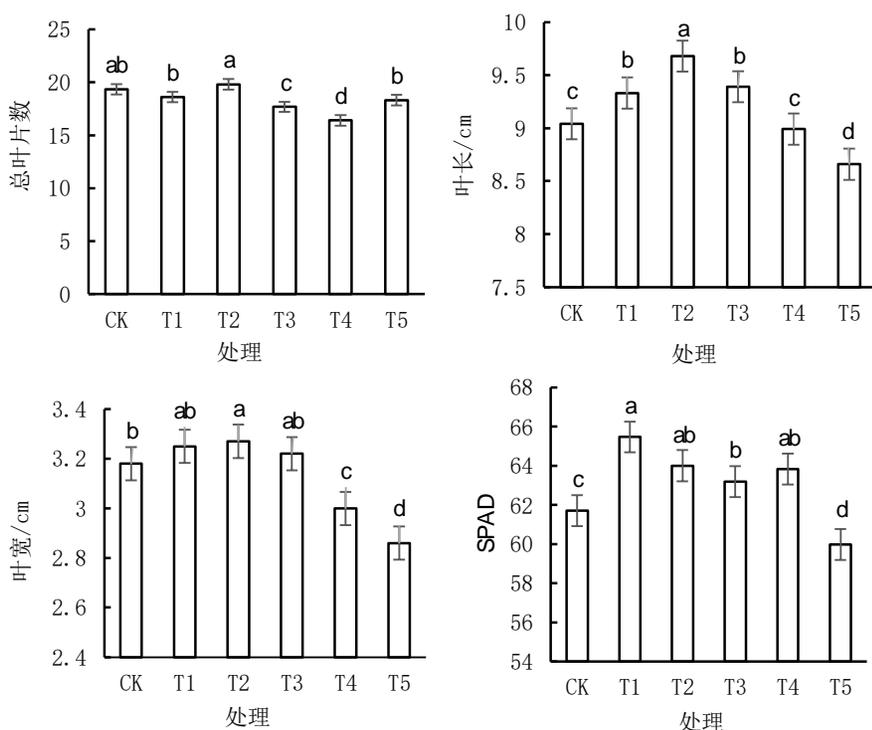


图2 不同基质配比对砧木叶片及叶绿素相对含量的影响

2.6 基于生长的基质配比隶属函数综合评价

经主成分分析筛选出11个生长指标,再使用隶属函数法综合评价各基质的促生长效果(表5),各基质育苗效果的综合评价排序为T1>T2>CK>T5>T4>T3。其中仅有T1、T2的评价值高于对照。

3 结论与讨论

基质的透气性、持水性、容重、孔隙度及pH值等理化性质是影响苗木生长发育的关键因素,适宜的容重和孔隙度可保障良好的水气平衡,促进根系伸展及养分吸收转运;容重过高则抑制根系生长^[15-16]。当基质容重为0.1~0.8 g/cm³、总孔隙度为54%~96%、通气孔隙度≥20%、pH为6~8时

最有利于植物生长^[16]。本试验中,添加有机质的处理组(T1~T5)容重范围(0.16~0.91 g/cm³)与总孔隙度(47.71%~68.99%)虽略低于理论最优区间,但仍可满足橡胶树幼苗生长需求。本研究结果表明,不同基质配方对砧木的生长指标产生了显著影响。在根系发育方面,T1基质表现突出,其砧木的根系总长、主根直径、一级侧根数等关键形态指标显著优于其他处理,表明该配方有利于砧木根系的早期建立。而在叶片发育及整体地上部生物量积累方面,T2基质则展现出显著优势,其砧木叶片数、叶长、叶宽、叶绿素相对含量以及地上部干质量和壮苗

指数最大,反映出优异的光合能力和营养生长潜力。CK在苗高和地径指标上表现最佳,但其较低的总孔隙度和持水能力限制了根系发育(如侧根数较低)。

本研究采用隶属函数法整合11项关键生长指标进行评价,结果表明T1的综合得分最高(0.84),T2次之(0.80),明显优于CK及T3、T4、T5。这一结果与前期研究存在相似之处。孙小龙等^[6]在对橡胶树GT1品种幼苗基质筛选试验时发现,幼苗在配方为生红土+甘蔗渣中的地径、侧根数、生物量增长显著,育苗效果较为理想,说明在生红土中添加适量的甘蔗(叶)渣,有利于促进GT1幼苗的生长。田海等^[7]在探究基质对橡胶树

表5 各处理评价指标的隶属函数值和综合评价结果

评价指标	隶属函数值					
	CK	T1	T2	T3	T4	T5
苗高	1.00	0.73	0.81	0.44	0.18	0.00
茎粗	1.00	0.78	0.81	0.24	0.22	0.00
全株鲜重	0.84	0.82	1.00	0.00	0.32	0.27
全株干重	0.80	0.67	1.00	0.00	0.39	0.09
壮苗指数	0.82	0.86	1.00	0.00	0.47	0.43
总叶片数	0.86	0.65	1.00	0.38	0.00	0.56
SPAD 值	0.32	1.00	0.73	0.58	0.70	0.00
根系总长	0.39	1.00	0.36	0.00	0.18	0.25
根系直径	0.90	1.00	0.76	0.18	0.00	0.28
根冠比	0.46	1.00	0.54	0.30	0.08	0.00
根系体积	1.00	0.73	0.76	0.00	0.28	0.39
隶属度平均值	0.76	0.84	0.80	0.19	0.26	0.21
综合排名	3	1	2	6	5	4

热研8-79芽接袋装苗生长的影响时,则发现生红土75%+泥炭土25%为最优配方,说明加入适量的泥炭土有利于苗木生长。本研究中,泥炭土比例为20%时,基质促生长效果较好。

综上所述,基于砧木的综合生长表现(重点考量根系发育、地上部生物量及壮苗指数)及隶属函数法评价结果,T1(生红土:甘蔗叶渣=7:3)和T2(生红土:椰糠:泥炭土=7:1:2)处理显著优于其他处理及对照(纯生红土),是本试验条件下培育橡胶树GT1砧木育苗的推荐基质。T1更侧重于促进强大的根系构建,T2则更利于地上部健壮生长和光合能力提升,可根据育苗侧重点进行选择。

参考文献:

- [1] 应东山,李莉萍,王琴飞,等. 天然橡胶良种补贴苗木调研[J]. 中国热带农业,2014(6):23-26.
- [2] 林位夫,谢贵水,黄守锋,等. 橡胶籽苗芽接育苗法初步推广及籽苗芽接苗多点试验[J]. 热带农业科学,1999(3):39-43.
- [3] 林位夫,黄守锋,谢贵水,等. 橡胶树籽苗芽接技术研究——橡胶树籽苗芽接育苗法研究之一[J]. 热带作物学报,1998(3):8-15.
- [4] 周伟,郝文溯,吴先宇,等. 生物炭用于育苗基质的研究进展[J]. 湖南生态科学学报,2022,9(1):97-104.
- [5] 朱海军,生静雅,刘广勤,等. 影响林木容器苗根系生长的基质特性研究[J]. 浙江林业科技,2014,34(6):93-98.
- [6] 孙小龙,黄菁,梁国平,等. 不同育苗基质对橡胶树GT1品种幼苗生长的影响[J]. 热带农业科学,2013,33(8):1-4.
- [7] 田海,唐敏,桂明春,等. 不同育苗基质对橡胶树籽苗芽接袋育苗生长的影响[J]. 热带农业科技,2022,45(3):10-14.
- [8] 陈青,王军,王新龙,等. 育苗基质对橡胶组培苗小筒苗生长的影响[J]. 经济林研究,2025,43(2):232-239.
- [9] 刘洋,何义川,李斌,等. 蔬菜穴盘苗根系生长质量评测[J]. 安徽农业科学,2023,51(1):199-203,218.
- [10] 白岩,史万华,邢小军,等. 烟草壮苗指数模型研究[J]. 中国农业科学,2014,47(6):1086-1098.
- [11] 何亚飞,季延海,张彦萍,等. 不同植物生长调节剂对穴盘茄子幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(31):46-53.
- [12] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [13] 宫彬彬,赵峰,王宁,等. 育苗基质气水比和基质含水量对番茄幼苗生长的影响[J]. 河北农业大学学报,2020,43(3):45-49.
- [14] 骆漫,杨康,韦小丽. 育苗基质对榉树容器苗质量的影响[J]. 经济林研究,2020,38(1):231-236.
- [15] 宋晓晓,邹志荣,曹凯,等. 不同有机基质对生菜产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):153-160.
- [16] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊2):1-4.