

## 基质理化性质对菩提树容器苗的生长效应

王 庆<sup>1,2</sup>, 刘国宇<sup>1,2</sup>, 张瑞博<sup>1,2</sup>, 李 艳<sup>1,2\*</sup>, 刘安成<sup>1,2</sup>, 王 玮<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省西安植物园, 陕西省植物研究所, 陕西 西安 710061; 2. 陕西省植物资源保护与利用工程技术研究中心, 陕西 西安 710061)

**摘 要:**以菩提树扦插苗为试验材料,以园土、蛭石、珍珠岩、育苗土为基质,按照一定比例配置成9种基质,研究基质理化性质对菩提树容器苗生长的影响,为菩提树容器苗生长基质配方的优化、利用提供理论依据。结果表明,9种基质配比的容重范围在 $0.47\sim 0.87\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,总孔隙度范围 $65.60\%\sim 78.20\%$ ,pH $7.07\sim 7.77$ ,电导率范围 $216\sim 318\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,有机质含量范围 $41.5\sim 149.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全N $1.92\sim 3.37\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效P $13.7\sim 56.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效K $166\sim 451\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,理化性质存在显著差异。其中T7的容重最小,电导率、有机质、全N含量最高,T2速效P含量最高,T3速效K含量最高,T8的全N含量、速效P、速效K含量最低。不同基质配比显著影响菩提树容器苗的生长特性,对其生理特性影响不显著。基质的速效P、速效K与菩提树容器苗生物量呈显著负相关。通过主成分分析进行综合评定,结果表明处理T8即V(园土):V(育苗土):V(珍珠岩):V(蛭石)=2:3:1:4,可作为菩提树容器苗生长的最佳基质配比。

**关键词:**菩提树容器苗;基质配比;生长指标;生理指标

中图分类号:S723

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2021)05-0088-06

## Effects of Physical and Chemical Properties of the Substrate on the Growth of Container Seedlings of *Ficus religiosa*

WANG Qing<sup>1,2</sup>, LIU Guo-yu<sup>1,2</sup>, ZHANG Rui-bo<sup>1,2</sup>, LI Yan<sup>1,2\*</sup>, LIU An-cheng<sup>1,2</sup>, WANG Wei<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province, Institute of Botany of Shaanxi Province, Xi'an 710061, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Engineering Research Centre for Conservation and Utilization of Botanical Resources, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

**Abstract:** One-year-old cuttage seedlings of *Ficus religiosa* were used as experimental materials to explore the influences of different substrate ratios on the growth and physiology of the seedlings to provide theoretical bases for the optimization and development of the substrates used in the container seedling cultivation. Seedlings were cultivated in 9 substrates that were formulated by 4 kinds of materials with different proportions, including garden soil, vermiculite, perlite, and nursery soil. The ranges of the relative parameters of 9 formulated substrates were reported as follows: bulk density:  $0.47\sim 0.87\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; total porosity:  $65.60\%\sim 78.20\%$ ; pH:  $7.07\sim 7.77$ ; electrical conductivity:  $216\sim 318\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ; organic matter content:  $41.5\sim 149.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; total nitrogen:  $1.92\sim 3.37\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; available phosphorus:  $13.7\sim 56.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; available potassium:  $166\sim 451\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , indicating that there were significant differences in physical and chemical properties among 9 formulated substrates. It was found that the density of the formulated substrate T7 was the lowest, but the organic matter, electrical conductivity and total nitrogen were the highest. The available phosphorus in T2 was the highest. The rapidly available potassium content in T3 was the highest. The total nitrogen, available phosphorus and the rapidly available potassium in T8 were the lowest. The results indicated that the substrates significantly affected the growth characteristics of the contain-

收稿日期:2020-11-04 修回日期:2021-04-23

基金项目:陕西省重点研发计划农业攻关项目(2019NY-047);陕西省科学院优秀青年科研项目暨青年联合创新项目(2017k-04)。

作者简介:王 庆,硕士,副研究员。研究方向:植物引种栽培与开发利用。E-mail:icely415@163.com

\*通信作者:李 艳,研究员。研究方向:植物引种驯化与栽培育种。E-mail:5214352@126.com

er seedlings, however, the physiological characteristics of the container seedlings were not significantly affected. There was a significant negative correlation between the available phosphorus and available potassium in the substrate and seedling biomass of linden container seedlings. Comprehensive analysis showed that substrate T8 was the optimal formulated medium for the cultivation of *F. religiosa* seedlings with a volume ratio of garden soil : nursery soil : perlite : vermiculite = 2 : 3 : 1 : 4.

**Key words:** *Ficus religiosa*; container seedling; composition of substrate; growth index; physiological index

菩提树(*Ficus religiosa*)为桑科榕属半落叶乔木,性喜温暖湿润,不耐霜冻,25°N 以南的西南、华南地区为主要栽培地区<sup>[1]</sup>,在北方地区只能以室内景观植物和盆景进行栽植,因此,北方主要依托容器育苗技术种植。基质是容器苗生产的基础,良好的基质配比能够为苗木提供稳定、协调的水、肥、气,是苗木根系健康生长的基本保障<sup>[2]</sup>。容器育苗基质相关研究已在葡萄(*Vitis*)、浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)以及木荷(*Schima superba*)等经济、园艺树种上取得了一定的研究成果<sup>[3-5]</sup>,但由于不同植物的生物学特性的不同,容器育苗措施也不同<sup>[6]</sup>。目前我国对菩提树研究主要集中在栽培繁殖、病虫害防治等方面<sup>[7-9]</sup>,对于菩提树容器育苗基质选择方面的研究尚少。因此,本研究通过对菩提树容器苗在不同基质配比下,生长指标、生理指标及基质理化性质等的综合分析,筛选出最佳基质配比,为菩提树容器苗的生产提供科学的理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在陕西省西安植物园温室苗圃中进行,供试苗木来源于陕西省西安植物园温室 30 年生菩提树的自繁 1 年生植株,菩提树苗、苗高、地径均匀一致。供试基质材料为园土、育苗土、珍珠岩和蛭石 4 种材料,园土取自陕西省西安植物园,育苗土选用芬兰原装进口 kekkia 0~6 mm 小纤维育苗土,珍珠岩购于上海民乐 3~5 mm 园艺珍珠岩,蛭石购于河北 3~6 mm 蛭石。育苗容器选用高 30 cm、口径 15 cm 的白色无纺布袋。

1.2 试验设计

按照体积比进行 4 因素、3 水平正交试验,利用正交表  $L_9(3^4)$  从 81 个试验点挑出具有代表性的 9 个基质配比(表 1)。2019 年 5 月底进行菩提苗移栽,每个处理 15 株,试验期间,给予相同的育苗管理措施。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 基质理化性状的测定 容重、总孔隙度、最大持水量采用环刀法;pH、EC 值采用饱和浸提法;

有机质采用重铬酸钾氧化法,全 N 采用凯氏定氮仪法,速效 P 采用钼蓝比色法,速效 K 采用乙酸铵浸提-火焰光度法。每个处理重复 3 次。

表 1 基质配比设计

Table 1 Mixture design of different substrate proportion

处理	基质配比(体积比)			
	园土	育苗土	珍珠岩	蛭石
CK	1	0	0	0
T1	0.6	0.4	0	0
T2	0.6	0.3	0.1	0
T3	0.6	0.2	0.2	0
T4	0.4	0.4	0	0.2
T5	0.4	0.3	0.1	0.2
T6	0.4	0.2	0.2	0.2
T7	0.2	0.4	0	0.4
T8	0.2	0.3	0.1	0.4
T9	0.2	0.2	0.2	0.4

1.3.2 形态指标的测定 各处理随机选择 5 株生长正常的植株,种植后每隔 20 d 测定苗高、地径,2019 年 10 月中旬进行破坏性采样,测定地上干重、地下干重及总干物质量。

1.3.3 生理指标的测定 叶绿素测定采用丙酮-乙醇混合浸提法;可溶性糖质量分数测定采用试剂盒蒽酮比色法,可溶性蛋白测定采用试剂盒考马斯亮蓝 G-250 法。

1.4 数据处理

应用 Excel2010 进行数据整理,采用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析,运用 Duncan 法对显著性进行多重比较,进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质配比的理化性质

由表 2 可知,不同基质配比的理化性质差异性显著( $P<0.05$ )。10 种配比基质中 CK 的容重显著高于其他配比,总孔隙度最低。土壤 pH 值为 7.08~7.77,差异显著。T7 的电导率、有机质、全 N 含量最高,显著高于其他基质配比。T2 的速效 P 最高,是最低 T8 的 4.28 倍。T3 的速效 K 含量显著高于其他基质配比。

表 2 不同基质配比的理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of substrate ratios

处理编号	容重 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	总孔隙度 (%)	pH	电导率 ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	有机质 ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全 N ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效 P ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效 K ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
CK	$0.87 \pm 0.01^a$	$65.60 \pm 0.10^g$	$7.58 \pm 0.01^{cd}$	$261 \pm 1.45^{bc}$	$41.5 \pm 0.06^j$	$2.03 \pm 0.10^e$	$56.8 \pm 0.19^b$	$392 \pm 0.33^c$
T1	$0.67 \pm 0.01^{cd}$	$71.23 \pm 0.35^{ef}$	$7.08 \pm 0.01^f$	$221 \pm 1.45^f$	$59.2 \pm 0.01^h$	$2.39 \pm 0.02^{cd}$	$49.3 \pm 0.02^c$	$449 \pm 0.12^a$
T2	$0.68 \pm 0.01^c$	$71.15 \pm 0.09^{ef}$	$7.45 \pm 0.03^e$	$246 \pm 1.45^d$	$66.5 \pm 0.04^d$	$2.44 \pm 0.00^c$	$58.7 \pm 0.02^a$	$439 \pm 5.78^b$
T3	$0.66 \pm 0.01^d$	$71.88 \pm 0.16^{de}$	$7.73 \pm 0.02^b$	$232 \pm 2.03^e$	$67.2 \pm 0.02^d$	$2.21 \pm 0.00^{de}$	$45.4 \pm 0.00^d$	$451 \pm 7.31^a$
T4	$0.72 \pm 0.00^b$	$71.08 \pm 0.52^{ef}$	$7.62 \pm 0.01^c$	$216 \pm 0.58^f$	$57.3 \pm 0.00^i$	$2.32 \pm 0.00^{cd}$	$35.3 \pm 0.02^e$	$291 \pm 0.12^d$
T5	$0.58 \pm 0.01^f$	$74.09 \pm 0.50^b$	$7.57 \pm 0.02^{cd}$	$256 \pm 0.88^c$	$89.8 \pm 0.12^b$	$2.56 \pm 0.09^b$	$28.8 \pm 0.01^f$	$272 \pm 0.36^e$
T6	$0.63 \pm 0.01^e$	$73.01 \pm 0.03^c$	$7.68 \pm 0.01^b$	$230 \pm 4.33^e$	$59.5 \pm 0.15^g$	$2.13 \pm 0.00^e$	$27.6 \pm 0.01^g$	$264 \pm 0.55^e$
T7	$0.47 \pm 0.01^g$	$78.20 \pm 0.17^a$	$7.54 \pm 0.01^{de}$	$318 \pm 1.45^{a149} \pm 0.19^a$		$3.37 \pm 0.00^a$	$20.7 \pm 0.01^h$	$193 \pm 0.50^f$
T8	$0.71 \pm 0.01^b$	$70.57 \pm 0.40^f$	$7.77 \pm 0.01^a$	$235 \pm 2.31^e$	$67.5 \pm 0.01^c$	$1.92 \pm 0.04^f$	$13.7 \pm 0.27^j$	$166 \pm 0.58^g$
T9	$0.65 \pm 0.01^d$	$72.29 \pm 0.16^{cd}$	$7.69 \pm 0.02^b$	$264 \pm 1.76^b$	$63.7 \pm 0.05^f$	$2.05 \pm 0.06^e$	$14.1 \pm 0.09^i$	$170 \pm 0.54^g$

注:不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

## 2.2 不同基质配比对菩提苗生长的影响

### 2.2.1 不同基质配比对菩提苗生长进程的影响

由图 1 可知,菩提树在不同基质配比下苗高生长趋势基本一致,7—9 月菩提树苗高生长迅速,10 月生长平稳。7 月不同基质配比下菩提苗高增长无显著性差异;8 月各处理间苗高增长差异性显著,CK 显著高于 T1、T5、T6、T7、T8、T9;9 月 T8 菩提树苗高增长量显著高于 T3、T4;10 月 T6、T7 苗高增长显著高于 T2、T3、T4、T5。7—10 月整个生长阶段, T8 增长量最高, T4 增长量最低。

由图 2 可知,菩提树地径增长在各个生长阶段间及整个生长阶段差异性不显著,但同一生长阶段

内不同基质配比下差异性显著。菩提树地径增长 7 月 T5 显著高于 T1, 8 月 T1 显著高于 T9, 10 月 T6、T8 显著高于 T5。

### 2.2.2 不同基质配比对菩提苗形态指标的影响

由表 3 可知,基质配比对菩提苗的苗高、地径及高径比均无显著影响。T8 苗高最高(64.78 cm), 高于对照, 其余处理均<对照, T4 苗高最低, 仅为 44.33 cm。CK 地径最高, 为 1.47 cm, 其次为 T5、T7, 分别为 1.46 cm 和 1.44 cm, T3、T9 处理地径最低, 为 1.07 cm 和 1.06 cm, 比对照低 27.21% 和 26.53%。T9 高径比最高, 为 52.68, T5 高径比最低, 为 34.98。

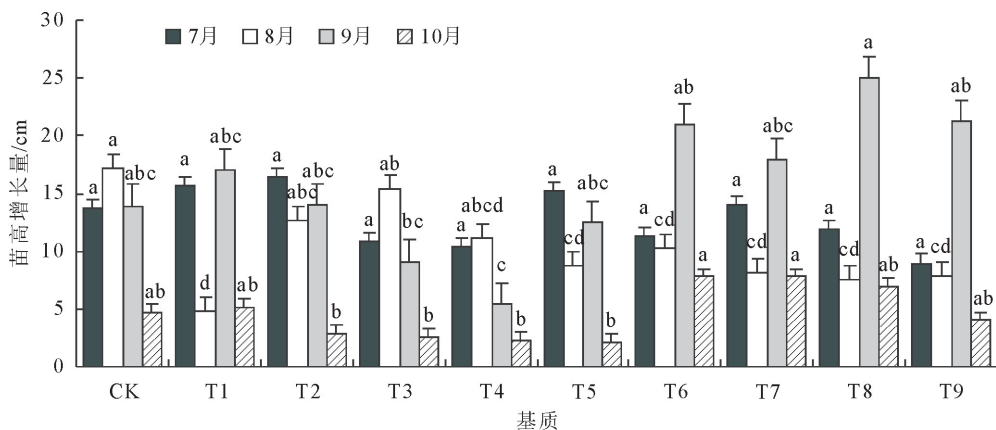


图 1 不同基质配比下菩提树苗高增长量

Fig. 1 Height increment of *F. religiosa* seedlings in different substrates

2.2.3 不同基质配比对菩提苗生物量的影响 由表 4 可知,不同基质配比下菩提苗的地上干重、根部干重、根冠比、总干重及质量指数差异性显著。T8 地上干重、根部干重、总干重及质量指数显著高于 CK, T1 的根冠比最高。

### 2.3 不同基质配比对菩提苗生理指标的影响

不同基质配比下菩提苗叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均无显著性差异(表 5)。T8

的叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均最高, 分别为  $27.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $2.77 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $0.58 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 而 T5 的叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均最低, 分别为  $18.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $1.80 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $0.34 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

### 2.4 基质理化性质与菩提苗生长的相关性

基质的理化性质与菩提苗生长及生理指标之间的相关性分析表明(表 6):基质的容重、总孔隙度,

EC 值、有机质含量、全 N 含量均与菩提树容器苗生长无显著相关性,而速效 P、速效 K 含量与地上干重、总生物量及质量指数呈显著负相关,土壤 pH 与根冠比呈显著负相关。可见,速效 P 和速效 K 主要影响菩提树容器苗的干物质量的积累。

表 3 不同基质配比下菩提苗的形态指标  
Table 3 Morphological indexes of *F. religiosa* seedling under different substrates

处理编号	苗高/cm	地径/cm	高径比
CK	62.78±6.74 <sup>a</sup>	1.47±0.14 <sup>a</sup>	42.78±2.79 <sup>a</sup>
T1	58.00±6.72 <sup>a</sup>	1.33±0.12 <sup>a</sup>	43.00±2.12 <sup>a</sup>
T2	59.22±4.70 <sup>a</sup>	1.29±0.13 <sup>a</sup>	48.04±3.97 <sup>a</sup>
T3	51.33±5.37 <sup>a</sup>	1.07±0.07 <sup>a</sup>	48.00±3.97 <sup>a</sup>
T4	44.33±4.53 <sup>a</sup>	1.24±0.10 <sup>a</sup>	35.92±2.69 <sup>a</sup>
T5	51.78±4.92 <sup>a</sup>	1.46±0.07 <sup>a</sup>	34.98±2.25 <sup>a</sup>
T6	61.44±8.19 <sup>a</sup>	1.30±0.10 <sup>a</sup>	46.84±4.40 <sup>a</sup>
T7	60.22±8.72 <sup>a</sup>	1.44±0.09 <sup>a</sup>	41.58±4.92 <sup>a</sup>
T8	64.78±11.63 <sup>a</sup>	1.37±0.15 <sup>a</sup>	44.09±4.50 <sup>a</sup>
T9	54.78±8.00 <sup>a</sup>	1.06±0.08 <sup>a</sup>	52.68±6.87 <sup>a</sup>

2.5 基质对比对菩提苗生长和生理指标影响的综合评价

影响菩提树容器苗生长的因子有很多,通过主成分分析的方法可以简化分析过程,解决不同基质对菩提树容器苗生长的影响,选择出最适基质配比。通过对菩提苗的 8 个生长和生理指标进行主成分分析,共获得 3 个主要成分,累计贡献率 93.636% (表 7),用  $Y_i$  表示各主成分,得出各主成分线性方程:

$$Y_1 = 0.46X_1 + 0.44X_2 - 0.16X_3 + 0.46X_4 + 0.43X_5 + 0.29X_6 + 0.05X_7 + 0.29X_8 \quad (1)$$

$$Y_2 = -0.15X_1 - 0.11X_2 + 0.30X_3 - 0.14X_4 - 0.26X_5 + 0.54X_6 + 0.45X_7 + 0.54X_8 \quad (2)$$

$$Y_3 = -0.09X_1 + 0.26X_2 + 0.74X_3 + 0.02X_4 + 0.05X_5 + 0.29X_6 + 0.08X_7 + 0.07X_8 \quad (3)$$

由表 7 可知,第 1 主成分中菩提苗总生物量载荷最大,达到 0.980,地上干重、地下干重以及质量指数载荷也较大,>0.900,第 1 主成分综合了地上干重、地下干重、总生物量、质量指数等变量信息,主

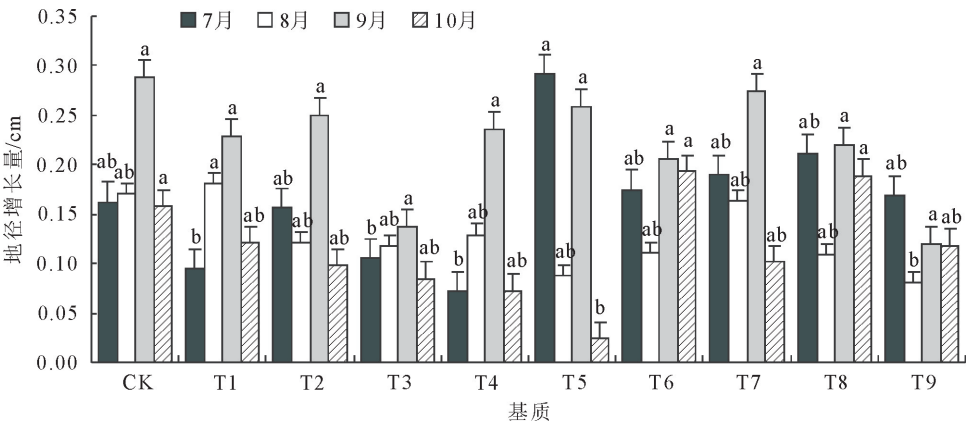


图 2 不同基质配比下菩提树地径增长量

Fig. 2 Diameter increment of *F. religiosa* seedlings in different substrates

表 4 不同基质对比对菩提苗生长指标的影响

Table 4 Growth indexes of *F. religiosa* seedling under different substrates

处理编号	地上干重/g	根部干重/g	根冠比	总干重/g	质量指数
CK	11.08±4.23 <sup>b</sup>	5.54±1.45 <sup>b</sup>	0.56±0.09 <sup>b</sup>	16.63±5.57 <sup>b</sup>	0.37±0.12 <sup>b</sup>
T1	11.70±4.47 <sup>b</sup>	13.11±2.93 <sup>ab</sup>	1.49±0.48 <sup>a</sup>	24.81±7.32 <sup>ab</sup>	0.56±0.17 <sup>ab</sup>
T2	8.07±3.70 <sup>b</sup>	9.26±5.40 <sup>ab</sup>	1.16±0.24 <sup>ab</sup>	17.33±8.97 <sup>b</sup>	0.35±0.18 <sup>b</sup>
T3	7.87±1.21 <sup>b</sup>	8.33±2.27 <sup>ab</sup>	1.03±0.22 <sup>ab</sup>	16.20±3.26 <sup>b</sup>	0.33±0.12 <sup>b</sup>
T4	10.34±4.11 <sup>b</sup>	9.60±3.54 <sup>ab</sup>	1.00±0.10 <sup>ab</sup>	19.95±7.65 <sup>b</sup>	0.53±0.21 <sup>ab</sup>
T5	24.15±5.66 <sup>ab</sup>	15.31±3.64 <sup>ab</sup>	0.63±0.04 <sup>b</sup>	39.46±9.27 <sup>ab</sup>	1.08±0.25 <sup>ab</sup>
T6	25.42±13.28 <sup>ab</sup>	14.51±5.47 <sup>ab</sup>	0.66±0.16 <sup>b</sup>	39.94±18.70 <sup>ab</sup>	0.82±0.38 <sup>ab</sup>
T7	18.95±10.32 <sup>ab</sup>	15.01±3.66 <sup>ab</sup>	1.29±0.54 <sup>ab</sup>	33.96±13.98 <sup>ab</sup>	0.79±0.32 <sup>ab</sup>
T8	37.13±16.55 <sup>a</sup>	21.00±8.82 <sup>a</sup>	0.63±0.07 <sup>b</sup>	58.13±25.35 <sup>a</sup>	1.27±0.55 <sup>a</sup>
T9	10.45±1.86 <sup>b</sup>	7.19±1.12 <sup>b</sup>	0.92±0.09 <sup>ab</sup>	17.64±2.66 <sup>b</sup>	0.33±0.05 <sup>b</sup>

要反映了菩提树的生长情况,方差贡献率为 56.341%,第 2 主成分中叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量等变量信息主要反映了菩提树

的生理状况,方差贡献率为 23.675%;第 3 主成分是根冠比的载荷较大,方差贡献率为 13.619%。

按照综合得分选用各自的方差率作为权重,进

行综合评价。综合评分方程为  $ZF=56.341\% \times Y_1 + 23.675\% \times Y_2 + 13.619\% \times Y_3$ , 结果见表 8, 通过综合得分, 排名第 1 位为 T8, 其次为 T7。最不适宜菩提树生长的基质配比为 CK, 即园土。

表 5 不同基质配比对菩提苗生理指标的影响

Table 5 Physiological indexes of *F. religiosa* seedling under different substrates

处理编号	叶绿素质量分数 /(mg · g <sup>-1</sup> )	可溶性糖含量 /(μg · mL <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白含量 /(g · L <sup>-1</sup> )
CK	21.91±2.38 <sup>a</sup>	2.19±0.24 <sup>a</sup>	0.46±0.07 <sup>a</sup>
T1	23.25±6.15 <sup>a</sup>	2.33±0.36 <sup>a</sup>	0.45±0.10 <sup>a</sup>
T2	21.80±4.39 <sup>a</sup>	2.18±0.25 <sup>a</sup>	0.44±0.11 <sup>a</sup>
T3	21.71±2.06 <sup>a</sup>	2.17±0.21 <sup>a</sup>	0.44±0.09 <sup>a</sup>
T4	18.27±4.14 <sup>a</sup>	1.83±0.24 <sup>a</sup>	0.53±0.11 <sup>a</sup>
T5	18.02±7.51 <sup>a</sup>	1.80±0.43 <sup>a</sup>	0.34±0.03 <sup>a</sup>
T6	22.69±7.42 <sup>a</sup>	2.27±0.43 <sup>a</sup>	0.39±0.14 <sup>a</sup>
T7	24.57±5.68 <sup>a</sup>	2.46±0.57 <sup>a</sup>	0.36±0.07 <sup>a</sup>
T8	27.71±4.50 <sup>a</sup>	2.77±0.45 <sup>a</sup>	0.58±0.10 <sup>a</sup>
T9	23.56±8.76 <sup>a</sup>	2.36±0.51 <sup>a</sup>	0.54±0.07 <sup>a</sup>

表 6 基质理化性质与菩提苗生长的相关性

Table 6 Correlation between physical and chemical properties of the substrates and growth of *F. religiosa* seedlings

	容重 /(g · cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度 /%	EC /(us · cm <sup>-1</sup> )	pH	有机质 /(g · kg <sup>-1</sup> )	全 N /(g · kg <sup>-1</sup> )	速效 P /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效 K /(mg · kg <sup>-1</sup> )
地上干重/g	-0.132	0.29	0.039	0.207	0.139	-0.019	-0.404 *	-0.399 *
地下干重/g	-0.248	0.158	0.015	0.039	0.236	0.113	-0.332	-0.29
根冠比	-0.221	-0.209	0.004	-0.447 *	0.224	0.309	0.21	0.283
总生物量/g	-0.175	0.25	0.031	0.152	0.176	0.027	-0.387 *	-0.369 *
质量指数	-0.206	0.23	0.043	0.12	0.218	0.096	-0.380 *	-0.368 *
叶绿素含量 /(mg · g <sup>-1</sup> )	-0.006	0.163	0.118	0.086	0.075	-0.042	-0.176	-0.159
可溶性糖含量 /(μg · mL <sup>-1</sup> )	-0.006	0.163	0.118	0.086	0.075	-0.042	-0.176	-0.159
可溶性蛋白含量 /(g · L <sup>-1</sup> )	0.29	-0.007	-0.218	0.149	-0.243	-0.323	-0.107	-0.112

注: \* 表示在 0.05 水平(双侧)显著相关。

表 7 不同基质配比菩提苗生长和生理指标的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of growth and physiological indexes of *F. religiosa* seedlings with different substrate

指标向量	综合指标		
	因子 1	因子 2	因子 3
地上干重 $X_1$	0.974	-0.202	-0.095
地下干重 $X_2$	0.926	-0.145	0.274
根冠比 $X_3$	-0.349	0.412	0.773
总生物量 $X_4$	0.980	-0.187	0.026
质量指数 $X_5$	0.915	-0.363	0.056
叶绿素 $X_6$	0.623	0.745	0.075
可溶性糖 $X_7$	0.620	0.748	0.079
可溶性蛋白 $X_8$	0.102	0.619	-0.626
特征值	4.507	1.894	1.090
贡献率/%	56.341	23.675	13.619
累计贡献率/%	56.341	80.017	93.636

### 3 结论与讨论

基质为植物根系提供养分,其理化性质直接影响植物的生长发育<sup>[10]</sup>, 因此,在植物容器育苗中基质的配比与选择对提高苗木质量有着重要的意义。容重是基质的关键物理性状之一,适当的容重有利于苗木的生长<sup>[11]</sup>,一般理想基质的容重为 0.1~0.8 g · mg<sup>-3</sup>,孔隙度范围为 54%~96%<sup>[12]</sup>。本研究中几种基质配比的理化性质比较结果表明:除 CK 的超出理想基质的容重外,其余基质的容重、总孔隙度均属于理想基质范畴,均能保证菩提苗的正常生长。土壤 pH、EC 值影响植物生长及养分的吸收,本研究中各基质配比土壤 pH 值为 7.08~7.77,大部分超出理想基质 pH6.0~7.5<sup>[13]</sup> 的范畴,但菩提树容器苗生长状况良好,说明菩提树生长对土壤 pH 要求不严格,土壤 pH 值不是菩提苗生长的决定性因素。电导率 EC 值反映基质中的可溶性盐分,<2.6 ms · cm<sup>-1</sup> 植物生长正常,EC 值过高

表 8 不同基质配比对菩提苗生长综合得分

Table 8 The comprehensive scores of different substrate ratios on the growth of *F. religiosa* seedlings

处理编号	综合得分	排名
CK	-0.932 99	10
T1	0.101 464	4
T2	-0.731 45	8
T3	-0.865 77	9
T4	-0.657 17	7
T5	-0.278 19	6
T6	0.353 622	3
T7	0.407 413	2
T8	2.858 445	1
T9	-0.255 37	5

会导致烧苗<sup>[13-14]</sup>,本研究中各基质配比的 EC 值在 0.216~0.318 ms · cm<sup>-1</sup>,均<2.6 ms · cm<sup>-1</sup>,菩



提苗可以正常生长。基质对比对苗木生长、生物量累积受根系发育影响,容器苗苗高、地径和全株生物量与根体积存在着显著的交互效应<sup>[4]</sup>。本研究中,10月试验结束时所有处理的苗高和地径无显著差异,但9月T6、T7、T8苗高增长量提高,这可能是由于T6、T7、T8基质下,菩提树根系生长良好,能够与基质形成比较紧密的根团土,从而促进菩提树容器苗的生长。

植物的生物量是评价苗木生长状况的重要指标,其苗高、地径等是影响苗木质量的重要指标<sup>[15-17]</sup>。本研究中T8的苗高、地上干重、根部干重、总干重以及总的质量指数均最高,显著高于CK,说明T8对于菩提树生长有促进作用。叶绿素质量分数是植物营养状态的重要指标,叶绿素含量越高,越有助于植物的光合作用<sup>[18]</sup>。可溶性糖含量是植物光合产物的积累产物,是植物能量来源的主要物质,其含量高表明光合作用正常,也是评价容器苗质量的关键指标<sup>[19-20]</sup>。可溶性蛋白质可以反映植物体内的代谢水平,其含量是了解植物代谢的重要指标<sup>[21]</sup>。本研究中,T8处理的菩提树叶片叶绿素质量分数、可溶性糖及可溶性蛋白含量最高,T5最低,说明T8处理下菩提树的光合能力更强,光合产物积累最多,有助于菩提苗生长。

通过相关性分析,发现基质配比中速效P和速效K含量与地上干重、总生物量及质量指数呈显著负相关。相关研究表明,适量的养分供给能够促进植物的产出最大化,超过最适供养量会抑制苗木的生长<sup>[22-23]</sup>。因此,速效P、速效K含量的高低可能是决定菩提树容器苗生长优势的关键因素,具体的合理范围还有待进一步研究。

在7—10月试验周期中,虽然不同基质对比对菩提树形态指标无显著影响,但对菩提树容器苗生长指标及生理指标进行综合分析认为,菩提苗生长的最佳基质配比为T8,其基质配比体积比为园土:育苗土:珍珠岩:蛭石=2:3:1:4,其容重为0.71,总孔隙度70.57,pH值7.77。10种基质中,T8、T7、T6的菩提苗木生长状况优于其他基质,可作为菩提树容器苗的理想基质,而CK、T2、T3、T4的生长发育明显受到抑制,可作为菩提盆景栽培中限制菩提生长的基质配比。本研究仅讨论了不同基质对菩提树容器苗生长的影响,在生产中其生长还受到其他因素的影响,如容器规格、水肥条件、光照条件、根系生长等,还有待下一步研究。

#### 参考文献:

[1] 陈仁利,周铁峰.菩提树的主要特征及其栽培技术[J].林业实

用技术,2008(5):53-54.

- [2] 吴玉霞,王延秀,杨江山,等.基质物理性状对葡萄生根和苗木生长的影响[J].西北农业学报,2019,28(10):1647-1656.  
WU Y X, WANG Y X, YANG J S, *et al.* Effects of substrate physical properties on rooting and seedling growth of grape cuttings [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019,28(10):1647-1656. (in Chinese)
- [3] 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.  
WANG Y, WANG X H, ZHANG L Z, *et al.* Effects of different cultivation substrates on growth and root system development of container seedlings of *Phoebe chekiangensis* and *P. bournei* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2013,22(3):81-87. (in Chinese)
- [4] 庞圣江,马跃,张培,等.基质配比和缓释肥用量对望天树容器苗的生长效应[J].西北林学院学报,2018,33(6):66-71.  
PANG S J, MA Y, ZHANG P, *et al.* Effects of substrate ratio and applying dosages of slow-release fertilizer on the growth of container *Parashorea chinensis* seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018,33(6):66-71. (in Chinese)
- [5] 刘婷,刘鹏,刘惠民,等.不同栽培基质对牛角瓜容器苗生长的影响[J].西南林业大学学报,2016,36(3):66-72.  
LIU T, LIU P, LIU H M, *et al.* Effects on growth of container seedling of *Calotropis gigantean* in different cultivation substrates [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2016,36(3):66-72. (in Chinese)
- [6] 王月生,周志春,金国庆,等.基质对比对南方红豆杉容器育苗及其移栽生长的影响[J].浙江林学院学报,2007,24(5):643-646.  
WANG Y S, ZHOU Z C, JIN G Q, *et al.* Growth of *Taxus chinensis* var. *mairei* for container seedlings in different media mixtures and for bare-root versus container seedlings in a young stand [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2007, 24(5):643-646. (in Chinese)
- [7] 王庆,刘国宇,张燕,等.IBA浓度、处理时间对菩提树水培扦插生根的影响[J].湖北农业科学,2019,58(12):112-115.
- [8] 黄立华.菩提树组培扩繁技术研究[J].林业科技,2020,45(2):23-25.
- [9] 韦昌幸,黄宇豪,韦继光,等.菩提树黑痣病菌生物学特性及病害发生规律[J].中国森林病虫,2020,39(2):1-5.
- [10] 鲜开梅.不同复配基质理化性质及其对辣椒幼苗生长发育的影响[J].长江蔬菜,2014(8):60-64.
- [11] 乌丽雅斯,刘勇,李瑞生,等.容器育苗质量调控技术研究评述[J].世界林业研究,2004,17(2):9-13.
- [12] 王旭艳,林夏珍,李琳,等.几种农林废弃物复合基质的理化特性及对浙江楠容器育苗的效果[J].浙江农林大学学报,2013,30(5):674-680.  
WANG X Y, LIN X Z, LI L, *et al.* Physical and chemical properties of several kinds of agriculture and forestry waste composite matrix and their effect on container seedling of *Phoebe chekiangensis* [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2013,30(5):674-680. (in Chinese)

(下转第172页)

均达到国标规定的承重结构强度要求,可用于椅子后腿与望板、腿与扶手连接处;但直径为 6 mm 的双圆棒榫不适用于家具承重连接处。

### 参考文献:

- [1] 李素瑕,松木家具框架节点接合强度性能研究[D].长沙:中南林业科技大学,2006.
- [2] 胡文刚,关惠元.椭圆榫节点抗弯强度的数值分析研究[J].西北林学院学报,2018,33(5):225-230.  
HU W G, GUAN H Y. Numerical study on the bending strength of oval mortise and tenon joint[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 225-230. (in Chinese)
- [3] 柳万千.家具力学[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1993.
- [4] 曹友霖,王天龙,王娱.基于有限元法速生杨层积材增强家具直榫优化[J].西北林学院学报,2019,34(1):218-223.  
CAO Y L, WANG T L, WANG Y. Poplar LVL strengthen and furniture joint size optimization based on finite element analysis[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(1): 218-223. (in Chinese)
- [5] 董宏敢,邵卓平.在实木家具结构中圆棒榫的强度分析[J].木材工业,2007(2):38-40.
- [6] 陈新义.榫木构件“T”型、“L”型节点双圆榫接合性能研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013.
- [7] 李祥民.中密度纤维板一双圆棒榫接合性能研究[D].雅安:四川农业大学,2017.
- [8] 李素瑕,刘文金.几种连接方式对脱脂马尾松家具结构强度的影响[J].西北林学院学报,2014,29(1):169-173.  
LI S X, LIU W Q. Effects of joint methods on the structural strength of *Pinus massoniana* furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1): 169-173. (in Chinese)
- [9] 董宏敢,邵卓平.接合方式对板式家具搁板承载力的影响[J].西北林学院学报,2007,22(5):161-163.  
DONG H G, SHAO Z P. Influence of the shelf connected style on carrying capacity in panel furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(5): 161-163. (in Chinese)
- [10] 司传领.板式家具角部结合性能的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2002.
- [11] 周腾飞.榫木构件节点四合一连接件接合强度研究[D].长沙:中南林业科技大学,2015.
- [12] 胡文刚,关惠元.板式家具结构设计有限元法研究综述[J].世界林业研究,2020,33(2):68-71.
- [13] GB/T 10357.3-2013.家具力学性能试验第3部分:椅凳类强度和耐久性[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [14] 杨建福.榫卯结构参数对其力学性能的影响研究[D].北京:北京工业大学,2017.
- [15] 郭兆霞,高颖,伊松林,等.杨木柜类家具T型节点连接强度及其补强研究[J].西北林学院学报,2017,32(2):280-285, 314.  
GUO Z X, GAO Y, YI S L, et al. Strength and reinforcement of T-type joint of poplar solid wood cabinet[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(2): 280-285, 314. (in Chinese)
- [16] 李威,高颖,孟鑫森,等.角钢-集成材L形组合柱的受压性能研究[J].林业工程学报,2020,5(1):53-60.
- [17] 张杰,任忠先.现代家具结构设计的科学方法[J].森林工程,2013,29(4):141-144.
- [18] 宋明强,沈隽.有限元法与ANSYS在家具结构分析中的应用[J].西北林学院学报,2008,23(1):174-177.  
SONG M Q, SHEN J. Application of finite element method and ANSYS in the analysis of furniture structure[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(1): 174-177. (in Chinese)
- [13] 李静,赵秀兰,魏世强,等.无公害蔬菜无土栽培基质理化特性研究[J].西南农业大学学报,2000,22(2):112-115.  
LI J, ZHAO X L, WEI S Q, et al. Study on the physico-chemical properties of soil-less cultural substrates of pollution-free vegetable[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2000, 22(2): 112-115. (in Chinese)
- [14] 谢彦如,唐丹,张蒲,等.不同基质配比对辣椒穴盘苗生长的影响[J].北方园艺,2020(4):7-14.
- [15] 吴继红.几种固形栽培基质物料的理化性状比较[J].吉林农业科学,2006,31(4):17-20.
- [16] 郑坚,马晓华,廖亮,等.基质成分比对木荷容器苗生长及存苗率的影响[J].森林与环境学报,2017,37(2):218-224.
- [17] 武捷,李新国,安烁宇.不同基质配比对酸柚苗生长的影响[J].热带作物学报,2018,39(3):443-447.  
WU J, LI X G, AN S Y. Effects of different substrate ratios on the growth of *Sour pummelo* seedlings[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(3): 443-447. (in Chinese)
- [18] 曹钰,胡涛,张鸽香.基质配比对美国流苏容器苗生长的影响[J].东北林业大学学报,2018,46(9):26-30.
- [19] LI D D, SI L T, ZHANG G Y, et al. Quantitative trait loci analysis for chlorophyll content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low-light stress[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 30(9): 4692-4699.
- [20] 鲁敏,姜凤岐,宋轩.容器苗质量评定指标的研究[J].应用生态学报,2002,13(6):763-765.
- [21] 姚雨仙,黄俊华,陈玉萍.不同基质配方对草原锦鸡儿容器苗质量的影响[J].新疆农业大学学报,2014,37(1):48-53.
- [22] 潘泰臣,张胜利,于金鑫,等.基于二次回归通用旋转组合设计的华山松容器育苗基质研究[J].西北林学院学报,2020,35(5):85-90.  
PAN T C, ZHANG S L, YU J X, et al. Substrate compositions and fertilizer formulations for breeding container seedlings of *Pinus armandii* based quadratic regression universal rotation combination design[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(5): 85-90. (in Chinese)
- [23] 刘欢,王超琦,吴家森,等.氮素指数施肥对杉木无性系苗生长及养分含量的影响[J].应用生态学报,2016,27(10):3123-3128.  
LIU H, WANG C Q, WU J S, et al. Effects of exponential N fertilization on the growth and nutrient content in clonal *Cunninghamia lanceolata* seedlings[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(10): 3123-3128. (in Chinese)

(上接第 93 页)