

容器规格、基质配比、缓释肥用量对香椿容器苗生长与质量的影响

代林利¹ 肖兴翠¹ 李金武¹ 刘闵豪¹ 刘军²

(1. 四川省林业科学研究院, 森林和湿地生态恢复与保育四川省重点实验室 成都 610000 ; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所 杭州 311300)

摘 要:【目的】研究基质配比、缓释肥用量和容器规格三种因素对香椿 (*Toona sinensis*) 容器苗生长与质量的影响, 以优化香椿育苗技术, 提高苗木质量, 满足其大规模种植和产业化需求。【方法】采用析因试验设计, 设置 6 种基质配比、3 种缓释肥用量和 3 种容器规格, 组合成 27 个处理, 分析香椿苗高、地径及高径比。采用隶属函数法对各育苗组合的效果进行综合评价。【结果】基质配比和缓释肥用量对香椿容器苗苗高和地径的影响均达到极显著水平 ($P<0.01$), 容器规格对地径和高径比的影响分别达到显著 ($P<0.05$) 和极显著水平 ($P<0.01$)。双因素交互作用中, 基质配比×容器规格、基质配比×缓释肥量、容器规格×缓释肥量对香椿容器苗苗高的影响达到极显著 ($P<0.01$)。三因素交互作用中, 基质配比×容器规格×缓释肥量对香椿容器苗苗高、地径、高径比的影响均达到极显著 ($P<0.01$)。对香椿幼苗生长的影响因素表现为: 缓释肥量>容器规格>基质配比。隶属函数综合评价表明: 基质配比 A6 (椰糠: 泥炭: 土=1:1:0)、A5 (椰糠: 泥炭: 土=1:2:1) 与缓释肥用量 B3 (3 kg/m³) 以及容器规格 C3 (12.5 cm × 16.0 cm) 的组合效果较好, A6B3C3 组合的苗高、地径、高径比分别为 115.73 cm、12.82 mm 和 93.52; A5B3C3 组合的苗高、地径、高径比分别为 126.17 cm、12.20 mm 和 107.57。【结论】基质配比、缓释肥用量、容器规格交互影响香椿容器苗的生长。隶属综合排名前列的组合方案可在香椿容器育苗生产上加以应用。研究结果为优化香椿育苗技术提供了科学依据, 可促进香椿产业的可持续发展。

关键词: 容器苗; 香椿; 容器规格; 基质配比; 缓释肥施肥量

Effects of container size, matrix ratio and slow-release fertilizer on the growth and quality of *Toona sinensis* container seedlings.

Abstract: 【Objective】 to study the effects of substrate ratio, slow-release fertilizer dosage and container size on the growth and quality of container seedlings of *T. sinensis*, in order to optimize the seedling raising technology, improve the seedling quality and meet the needs of large-scale planting and industrialization. 【Method】 using factorial experimental design, 6 kinds of matrix ratio, 3 kinds of slow-release fertilizer dosage and 3 kinds of container specifications were combined into 27 treatments, and the height, ground diameter and height-diameter ratio of *T. sinensis* seedlings were analyzed. The effect of each seedling combination was evaluated comprehensively by the method of membership function. 【Result】 the effects of matrix ratio and slow-release fertilizer on seedling

基金项目: “十四五”国家重点研发计划子课题“香椿、毛红椿新品种选育”(2021YFD2200305); 四川省科技计划项目“突破性林木新品种选育与育种材料创新”(2016NYZ0035)子专题“香椿、红椿突破性新品种选育与育种材料创新”(2016NYZ0035-03)。

*作者 2 为通讯作者。

height and ground diameter of *T. sinensis* container seedlings were extremely significant ($P < 0.01$). The effects of container size on ground diameter and height-diameter ratio were significant ($P < 0.05$) and extremely significant ($P < 0.01$), respectively. In the interaction of two factors, the effects of matrix ratio $\times$ container size, matrix ratio $\times$ slow release fertilizer amount and container size $\times$ slow release fertilizer amount on the seedling height of *T. sinensis* container seedlings were very significant ($P < 0.01$). In the interaction of the three factors, the matrix ratio $\times$ container size $\times$ slow release fertilizer had significant effects on the height, ground diameter and height-diameter ratio of *T. sinensis* container seedlings ($P < 0.01$). The factors affecting the growth of *T. sinensis* seedlings were as follows: slow release fertilizer amount $>$ container specification $>$ substrate ratio. The comprehensive evaluation of membership function showed that the combination of substrate ratio A6 (coconut bran: peat: soil = 1:1:0), A5 (coconut bran: peat: soil = 1:2:1), slow release fertilizer B3 (3kg/m^3) and container specification C3 ($12.5\text{ cm} \times 16.0\text{ cm}$) was better. The seedling height, ground diameter and height-diameter ratio of A6B3C3 were 115.73 cm, 12.82 mm and 93.52, respectively. The seedling height, ground diameter and height-diameter ratio of A5B3C3 combination were 126.17 cm, 12.20 mm and 107.57, respectively. 【Conclusion】 the ratio of matrix, the amount of slow-release fertilizer and container specification interact on the growth of *T. sinensis* container seedlings. The combination scheme which belongs to the top of the comprehensive ranking can be applied in the container seedling production of *T. sinensis*. The research results provide a scientific basis for optimizing the seedling raising technology of *T. sinensis* and can promote the sustainable development of *T. sinensis* industry.

Key words: container seedling; *Toona sinensis*; container specification; matrix ratio; fertilizer application amount of slow-release fertilizer

香椿 (*Toona sinensis*) 是隶属于楝科 (Meliaceae) 香椿属 (*Toona*) 的落叶乔木, 广泛分布于我国长江南北地区。其嫩芽被誉为“树上蔬菜”, 香味浓郁、营养丰富, 是传统美食中的珍品 (刘素慧等, 2015)。其木材纹理优美、坚硬且富有光泽, 是优质的建筑与家具材料。由于良好的加工性能, 香椿木材适合雕刻和制作各种工艺品, 深受木工和手工艺爱好者的喜爱 (郝继伟等, 2003)。此外, 作为珍贵的速生造林树种, 香椿是国家储备林建设的首选树种之一, 致力于生态保护和林业产业发展 (袁亚玲等, 2023)。然而, 目前香椿良种化水平较低, 苗木质量较差, 无法满足日益增长的生产需求 (李佳等, 2021)。现有的香椿苗木在品种纯度、生长一致性等方面存在不足, 制约了其大规模种植和产业化进程 (肖兴翠等, 2022; Cordeiro et al, 2009)。因此, 探讨和优化香椿育苗技术, 提高苗木质量, 成为提升香椿产业可持续发展的关键所在。

近年来, 容器育苗具有便于生产、育苗周期短、成活率高、延长造林季节等优势, 被广泛运用于各种优质苗木的培育 (王艺等, 2013; 桂子凡等, 2022; 马雪红等, 2010)。优质的培养基质具有良好的通气性、保水性和保肥性, 以提供植物所需的养分, 促进根系的生长与发育 (吕宁宁等, 2024)。同时, 科学合理的施肥方案能够满足苗木生长的养分需求, 提高其抗逆性和生长速度 (马东旭等, 2024)。此外, 适宜的容器规格能够提供良好的生长环境, 促进根系的伸展和生长, 有利于苗木的健康发育 (陈金玲等, 2023)。因此, 优质苗木的培育需要综合考虑培养基质配比、施肥技术以及容器规格等多种育苗因素。研究表明, 不同树种的生理特性存在差异, 对容器育苗条件的要求不同。近年来, 众多学者已对香椿容器育苗进行了一些研究, 如曾庆良等 (曾庆良等, 2011) 通过分析不同基质配比香椿容器苗的苗高、地径、根系数量, 筛选出 (新土 50 % + 腐殖土 50 % + 复合肥 150 g) 配方适宜于香椿容器苗生长。其还通过对比香椿两段式容器苗与裸根苗造林的成活率、生长情况发现容器苗优于裸根苗 (曾庆良等, 2012)。詹孝慈等 (詹孝慈等, 2012) 通过研究不同栽培基质对香椿网袋容器苗生长的影响, 发现泥炭基质容器苗的苗高、地径、整株干重最大。但有关香椿容器育苗技术的研究还不够深入, 目前尚未见多个育苗因素对香椿容器苗生长与质量的影响研究。因此, 本研究采用析因试验设计, 探讨基质配比、容器规格和缓释肥用量三种因素对香椿容器苗的生长与质量的影响, 通过隶属函数法对各组合育苗效果进行综合评价, 以筛选优化香椿容器育苗技术, 以期优质香椿幼苗的培育提供科学依据和技术支持。

1 研究区概况

试验地位于四川省泸县玉蟾山（105°23'E，29°09'N），四川省林业科学研究院用材林所实验苗圃基地，该地属中亚带季风气候，雨量充沛，光照充足，海拔 548m。年平均气温 17.8℃，年平均日照时数 1012.0 h，年降水量 1120 mm。

2 研究方法

2.1 幼苗移栽与培育方法

香椿种子于 2023 年 3 月采摘自四川省罗江县，并采用撒播法在苗床进行播种。种子萌发并长出两片真叶后，于 2023 年 4 月移栽至不同规格、不同基质配比和不同施肥量的育苗容器中进行培育。在培育过程中，严格按照实验要求进行管理和维护。至 2023 年 11 月，对各组容器苗的生长情况进行全面的数据测量和记录。

2.2 试验设计

本研究采用析因试验设计，包括 3 个因素：基质配比、缓释肥量和容器规格。其中基质配比（A）共有 6 种水平，分别为 A1（椰糠 1：泥炭 1：土 1）、A2（椰糠 2：泥炭 2：土 1）、A3（椰糠 1：泥炭 1：土 2）、A4（椰糠 2：泥炭 1：土 1）、A5（椰糠 1：泥炭 2：土 1）、A6（椰糠 1：泥炭 1：无土）。缓释肥量（B）采用以色列易乐施（Everris）公司生产的爱果利丰控释配方肥料（16N-10P-16K+2MGO+TE），共有 3 种水平，分别为 B1（0 kg/m³）、B2（1 kg/m³）、B3（3 kg/m³）。容器规格（C）共有 3 种水平，分别为 C1（8.2 cm × 12.0 cm）、C2（10.0 cm × 13.5 cm）、C3（12.5 cm × 16.0 cm）。本试验共有 27 个处理组合，每个处理 30 株，重复 3 次，共计 2430 株试验苗。试验设计详见表 1。

表 1 香椿容器育苗试验设计

Table 1 Experimental design of container seedling cultivation of *T. sinensis*

编号 Serial number	基质配比 (椰糠: 泥炭: 土) Matrix ratio (Coconut bran: peat: soil)	缓释肥量 Slow release fertilizer quantity/(kg/m ³)	容器规格 Container specification/(cm)
1	A1 (1:1:1)	B1 (0)	C1 (8.2×12.0)
2	A1 (1:1:1)	B1 (0)	C3 (12.5×16.0)
3	A1 (1:1:1)	B2 (1)	C2 (10.0×13.5)
4	A1 (1:1:1)	B2 (1)	C3 (12.5×16.0)
5	A1 (1:1:1)	B3 (3)	C1 (8.2×12.0)
6	A1 (1:1:1)	B3 (3)	C2 (10.0×13.5)
7	A2 (2:2:1)	B1 (0)	C1 (8.2×12.0)
8	A2 (2:2:1)	B1 (0)	C3 (12.5×16.0)
9	A2 (2:2:1)	B2 (1)	C2 (10.0×13.5)
10	A2 (2:2:1)	B2 (1)	C3 (12.5×16.0)
11	A2 (2:2:1)	B3 (3)	C1 (8.2×12.0)
12	A2 (2:2:1)	B3 (3)	C2 (10.0×13.5)
13	A3 (1:1:2)	B1 (0)	C1 (8.2×12.0)
14	A3 (1:1:2)	B1 (0)	C3 (12.5×16.0)
15	A3 (1:1:2)	B2 (1)	C2 (10.0×13.5)
16	A3 (1:1:2)	B2 (1)	C3 (12.5×16.0)
17	A3 (1:1:2)	B3 (3)	C1 (8.2×12.0)
18	A3 (1:1:2)	B3 (3)	C2 (10.0×13.5)
19	A4 (2:1:1)	B1 (0)	C2 (10.0×13.5)
20	A4 (2:1:1)	B2 (1)	C1 (8.2×12.0)
21	A4 (2:1:1)	B3 (3)	C3 (12.5×16.0)
22	A5 (1:2:1)	B1 (0)	C2 (10.0×13.5)
23	A5 (1:2:1)	B2 (1)	C1 (8.2×12.0)
24	A5 (1:2:1)	B3 (3)	C3 (12.5×16.0)
25	A6 (1:1:0)	B1 (0)	C2 (10.0×13.5)
26	A6 (1:1:0)	B2 (1)	C1 (8.2×12.0)
27	A6 (1:1:0)	B3 (3)	C3 (12.5×16.0)

2.3 测定指标及方法

在 2023 年 11 月测定香椿容器苗的苗高与地径。其中，苗高采用钢卷尺从香椿幼苗的地面到最高点的距离进行测量，地径则采用游标卡尺在香椿幼苗的基部处进行测量。

2.4 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行数据的统计分析, 使用 SPSS 27.0 软件进行多因素方差分析和 Duncan 多重比较分析。采用隶属函数分析法 (Membership Function Analysis) 对各组合处理进行综合评价 (陆秀君等, 2020)。隶属函数的计算公式如下:

$$U(x_i) = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

式中: $U(x_i)$ 表示指标测定值的隶属度, x_i 为指标测定值, $x_{\max}$ 为某处理指标最大值, $x_{\min}$ 为某处理指标最小值。

3 结果与分析

3.1 容器规格、基质配比、缓释肥量对香椿容器苗生长指标的影响

3.1.1 香椿容器苗生长指标的多因素方差分析 由表 2 可知, 基质配比 (A) 与缓释肥施用量 (B) 对香椿容器苗苗高、地径、高径比的影响均达到极显著 ($P < 0.01$)。容器规格 (C) 对香椿容器苗高径比的影响均达到极显著 ($P < 0.01$), 对香椿容器苗地径的影响均达到显著 ($P < 0.05$), 对香椿容器苗高的影响不具显著性 ($P > 0.05$)。双因素交互作用中, $A \times B$ 、 $A \times C$ 、 $B \times C$ 对香椿容器苗苗高的影响达到极显著 ($P < 0.01$); $A \times B$ 对香椿容器地径与高径比的影响不具显著性 ($P > 0.05$); $A \times C$ 对香椿容器苗地径的影响达到显著 ($P < 0.05$), 对高径比的影响不具显著性 ($P > 0.05$)。三因素交互作用中, $A \times B \times C$ 对香椿容器苗苗高、地径、高径比的影响均达到极显著 ($P < 0.01$)。

表 2 香椿容器育苗生长指标方差分析

Table 2 Variance analysis of growth index of container seedling of *T. sinensis*

方差来源 Variance source	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P
A	苗高	10969.855	4	2742.464	15.075	0.000**
	地径	216.376	4	54.094	4.228	0.002**
	高径比	37186.841	4	9296.710	10.139	0.000**
B	苗高	85220.589	2	42610.295	234.224	0.000**
	地径	348.948	2	174.474	13.638	0.000**
	高径比	11779.072	2	5889.536	6.423	0.002**
C	苗高	7.529	2	3.765	0.021	0.980
	地径	89.719	2	44.859	3.507	0.031*
	高径比	34690.444	2	17345.222	18.916	0.000**
$A \times B$	苗高	12165.011	4	3041.253	16.717	0.000**
	地径	93.283	4	23.321	1.823	0.123
	高径比	8613.819	4	2153.455	2.349	0.054
$A \times C$	苗高	8972.222	4	2243.056	12.330	0.000**
	地径	163.781	4	40.945	3.201	0.013*
	高径比	7438.820	4	1859.705	2.028	0.090
$B \times C$	苗高	2249.309	1	2249.309	12.364	0.000**
	地径	15.455	1	15.455	1.208	0.272
	高径比	7897.922	1	7897.922	8.613	0.004**
$A \times B \times C$	苗高	16464.397	2	8232.199	45.252	0.000**
	地径	162.644	2	81.322	6.357	0.002**
	高径比	36578.903	2	18289.452	19.946	0.000**

注: A 为基质配比; B 为缓释肥施用量; C 为容器规格。* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。An is the matrix ratio, B is the application amount of slow-release fertilizer, and C is the container specification. * and ** are significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3.1.2 容器规格、基质配比、缓释肥量对香椿容器苗生长的影响 从表 3 可以看出, 不同基质配比中, 香椿容器苗的苗高与地径大小表现为: A_5 (椰糠: 泥炭: 土=1: 2: 1) $> A_6$ (椰糠: 泥炭: 土=1: 1: 0) $> A_4$ (椰糠: 泥炭: 土=2: 1: 1) $> A_2$ (椰糠: 泥炭: 土=2: 2: 1) $> A_3$ (椰糠: 泥炭: 土=1: 1: 2) $> A_1$ (椰糠: 泥炭: 土=1: 1: 1)。A4、A5、A6 处理香椿容器苗生长表现较好, A1 表现较差。其中 A5 处理

香椿容器苗的苗高与地径显著高于其他处理 ($P<0.05$), 分别为 107.64cm 与 10.32mm; A1 处理香椿幼苗苗高与地径显著低于其他处理 ($P<0.05$), 分别为 76.89cm 与 6.85mm, A1 处理香椿幼苗的高径比显著高于其他处理 ($P<0.05$), 达 115.32。

随着缓释肥施肥量的增加, 香椿容器苗的苗高与地径均呈上升趋势, 高径比呈下降趋势。B1 (0 kg/m³)、B2 (1 kg/m³)、B3 (3 kg/m³) 处理间香椿容器苗的苗高均具有显著差异 ($P<0.05$), B3 处理椿容器苗的苗高与地径显著高于 B1、B2 处理 ($P<0.05$)。说明适量增加缓释肥施肥量有利于香椿容器苗的生长发育。

随着容器规格的增大, 香椿容器苗的苗高与地径呈上升趋势, 且 C1 处理香椿容器苗的地径显著低于 C2、C3 处理 ($P<0.05$)。说明香椿容器苗的生长需要较大的容器规格, 以促进根系的伸展。

表 3 3 种因素对香椿容器苗生长的影响
Table 3 3 factors on the growth of *T. sinensis* container seedlings

因素 factor	水平 level	均值 Mean value		
		苗高 Seedling height/ cm	地径 Ground diamete r/mm	高径比 Height-diameter r atio
A: 基质配比	A1	76.89±20.99c	6.85±1.90c	115.32±30.76a
	A2	81.94±19.54bc	8.62±1.75b	97.73±12.10b
	A3	80.83±29.50c	8.40±2.62b	93.22±12.45b
	A4	89.57±24.94b	9.97±3.13a	90.46±4.49b
	A5	107.64±16.12a	10.32±1.64a	104.47±3.72b
	A6	90.91±21.85b	10.16±2.40a	89.49±2.54b
B: 缓释肥量	B1	70.08±14.70c	7.38±1.90b	97.49±16.92b
	B2	75.16±16.01b	7.93±1.42b	94.56±8.46c
	B3	110.64±10.35a	10.73±2.28a	107.29±24.99a
C: 容器规格	C1	83.06±23.65b	7.78±2.03b	109.21±27.29a
	C2	84.50±17.36b	9.00±1.81a	94.21±6.06b
	C3	85.25±28.30b	9.28±3.03a	94.58±12.26b

注: 表中数据为 (平均值±标准偏差), 同列不同小写字母表示同一因素, 不同水平间具有显著差异 ($P<0.05$), 下同。the data in the table is (average±standard deviation). Different lowercase letters in the same column indicate the same factor, and there are significant differences between different levels ($P < 0.05$).

3.2 双因素交互效应对香椿容器苗生长的影响

3.2.1 基质配比和缓释肥用量 (A×B) 交互效应对香椿容器苗生长指标的影响 从表 4 可以看出, 同一基质配比下, 随着缓释肥用量的增加, 香椿幼苗的苗高、地径基本呈上升趋势, B3 处理 (3 kg/m³) 香椿幼苗的苗高、地径最高。在各处理中, 苗高排名前三的组合为 A5B3、A4B3、A6B3, 分别为 126.17cm、117.12cm、115.73cm。在各处理中, 地径排名前三的组合为 A4B3、A6B3、A5B3, 分别为 13.53mm、12.82mm、12.20mm。在各处理中, 高径比排名后三的组合为 A4B2、A1B2、A6B3, 分别为 90.88、92.76、93.52。综合来看, A6B3、A4B3、A5B3 组合更适合香椿容器苗生长, 基质配比椰糠: 泥炭: 土= (1: 2: 1)、(1: 1: 0)、(2: 1: 1) 与 B3 处理 (3 kg/m³) 交互效应效果较好。

表 4 基质配比和缓释肥用量交互效应对香椿容器苗生长的影响

Table 4 Interactive effects of matrix ratio and slow-release fertilizer on the growth of *T. sinensis* container seedlings

A (基质配比) A(Matrix ratio)	B (缓释肥用量) B (amount of slow-release fertilizer)	苗高 Seedling height/ ht/cm	地径 Ground diameter/ r/mm	高径比 Height-diameter ratio
A1	B1	62.77±20.07g	5.08±1.98f	129.28±38.00b
	B2	65.34±21.33fg	7.28±2.43cdef	92.76±24.22c
	B3	98.81±18.64c	7.40±2.96cdef	154.15±71.83a
A2	B1	62.90±8.31g	6.73±2.22cf	100.41±24.29c
	B2	77.33±12.29de	8.57±2.77cde	97.19±28.31c
	B3	105.00±13.56c	9.78±2.71bc	114.19±30.43bc

A3	B1	58.64±10.51g	7.42±8.98cdef	99.24±28.32c
	B2	67.29±20.54efg	6.92±2.92def	101.12±17.91c
	B3	115.90±11.82b	11.42±3.08ab	106.64±21.86c
A4	B1	83.07±14.49d	8.71±2.39cde	98.48±15.03c
	B2	68.53±11.33efg	7.66±1.21cde	90.88±17.65c
	B3	117.12±17.83ab	13.53±4.81a	96.41±32.32c
A5	B1	96.93±13.03c	9.56±2.44bc	105.77±21.34c
	B2	99.81±6.57c	9.18±1.82bcde	112.25±20.78bc
	B3	126.17±6.57a	12.20±3.01a	107.57±19.14c
A6	B1	82.40±12.73d	9.51±3.84bcd	94.94±25.36c
	B2	74.6±11.94def	8.15±2.86cde	97.68±22.62c
	B3	115.73±15.49b	12.82±3.37a	93.52±15.09c

3.2.2 基质配比和容器规格 (A×C) 交互效应对香椿容器苗生长指标的影响 从表 5 可以看出, 在各处理中, 苗高排名前三为 126.17 cm、117.12 cm、115.73 cm, 分别为 A5C3、A4C3、A6C3 处理组合。在各处理中, 地径排名前三为 13.53 mm、12.82 mm、12.20 mm, 分别为 A4C3、A6C3、A5C3 处理组合。在各处理中, 高径比排名后三为 90.88、93.52、94.92, 分别为 A4C1、A6C3、A6C2 处理组合。综合来看, A6C3、A4C3、A5C3 处理更适合香椿容器苗生长, 基质配比椰糠: 泥炭: 土= (1: 2: 1)、(1: 1: 0)、(2: 1: 1) 与 C3 处理 (12.5×16.0 cm) 交互效应效果较好。

表 5 基质配比和容器规格交互效应对香椿容器苗生长的影响

Table 5 effect of interaction between matrix ratio and container size on the growth of *T. sinensis* container seedlings

A (基质 配比) A(Matri x ratio)	C(容器规 格) C(container size)	苗高Seedling height/cm	地径Ground diame ter/mm	高径比Height-diamet er ratio
A1	C1	79.92±30.98efgh	5.29±1.81f	157.92±66.19a
	C2	90.13±12.07bcde	9.12±2.85cd	104.47±21.80bc
	C3	61.69±19.24i	6.25±2.24ef	105.95±38.88bc
A2	C1	84.96±24.90cdef	7.58±2.86cdef	118.38±28.81bc
	C2	95.45±16.31bcd	10.18±2.44bc	97.73±25.42bc
	C3	68.63±10.36ghi	7.60±2.48cdef	96.93±27.30bc
A3	C1	88.39±29.42bcdef	9.75±9.56cd	109.77±28.21bc
	C2	81.52±32.83defgh	8.51±4.27cde	100.28±17.49bc
	C3	67.32±20.10hi	7.24±2.65def	96.31±21.67bc
A4	C1	68.53±11.33ghi	7.66±1.21cdef	90.88±17.65c
	C2	83.06±14.49cdef	8.71±2.39cde	98.48±15.03bc
	C3	117.12±17.84a	13.53±4.82a	96.41±32.32bc
A5	C1	99.81±6.57b	9.19±1.82cd	112.25±20.79bc
	C2	96.93±13.03bc	9.56±2.45cd	105.77±21.34bc
	C3	126.17±13.53a	12.20±3.01ab	107.57±19.14bc
A6	C1	74.60±11.94fghi	8.15±2.86cde	97.68±22.62bc
	C2	82.40±12.73defg	9.51±3.85cd	94.94±25.36bc
	C3	115.73±15.49a	12.82±3.37a	93.52±15.09c

3.2.3 缓释肥用量和容器规格 (B×C) 交互效应对香椿容器苗生长指标的影响 从表 6 可以看出, 在各处理中, 苗高排名前三为 119.84 cm、107.68 cm、102.88 cm, 分别为 B3C3、B3C1、B3C2 处理组合。在各处理中, 地径排名前三为 12.85 mm、10.58 mm、8.20 mm, 分别为 B3C3、B3C2、B3C1 处理组合。在各处理中, 高径比排名后三为 94.83、98.84、99.40, 分别为 B2C3、B2C2、B3C3 处理组合。综合来看,

B3C3、B3C2、B3C1 处理更适合香椿容器苗生长。

表 6 缓释肥用量和容器规格交互效应对香椿容器苗生长的影响

Table 6 effect of interaction between slow-release fertilizer dosage and container size on the growth of *T. sinensis* container seedlings

B (缓释肥用量) B (amount of slow-release f ertilizer)	C(容器规格) C(container siz ng height/cm e)	苗高 Seedli ng height/cm	地径 Ground diame ter/mm	高径比 Height-diamet er ratio
B1	C1	58.53±11.85f	6.15±7.42g	116.17±33.02b
	C2	87.47±14.78c	9.26±2.93bc	99.73±21.03c
	C3	64.47±16.83ef	6.46±2.16fg	106.92±35.89bc
B2	C1	81.39±17.02c	8.35±2.13cd	100.53±21.97c
	C2	74.28±19.7d	7.89±2.8cde	98.84±21.16c
	C3	66.08±18.41e	7.35±2.71def	94.83±26.02c
B3	C1	107.68±17.74b	8.2±3.05cd	149.37±63.03a
	C2	102.88±15.29b	10.58±3.22b	102.62±22.52bc
	C3	119.84±16.1a	12.85±3.79a	99.40±23.97c

3.3 基于隶属函数法的香椿幼苗生长综合分析

采用隶属函数法对不同处理下香椿幼苗生长进行综合评价。由表 7 可知，平均隶属函数值排名前 3 的基质配比处理为 A6、A5、A4 处理（基质配比椰糠：泥炭：土=（1：1：0）、（1：2：1）、（2：1：1））；平均隶属函数值排名前 7 的缓释肥施肥量处理均为 B3（3kg/m³）处理；平均隶属函数值排名前三的容器规格处理均为 C3（12.5×16.0cm）处理。平均隶属函数值排名前三的处理组合分别为：A6B3C3、A5B3C3、A4B3C3。

表 7 基于隶属函数的香椿幼苗生长综合评价

Table 7 Comprehensive evaluation of seedling growth of *T. sinensis* based on membership function

基 质 配比 Matri x ratio	缓释肥量 amount of s low-release fertilizer	容器规格	苗高隶属函数平均值	地径隶属函数平均值	平均隶属函数值	平均隶属函数值排序
A6	B3	C3	0.96	1.00	0.98	1
A5	B3	C3	1.00	0.93	0.96	2
A4	B3	C3	0.88	1.00	0.94	3
A3	B3	C2	0.83	0.83	0.83	4
A3	B3	C1	0.89	0.71	0.80	5
A2	B3	C2	0.71	0.66	0.69	6
A2	B3	C1	0.72	0.52	0.62	7
A5	B1	C2	0.61	0.61	0.61	8
A5	B2	C1	0.65	0.57	0.61	9
A1	B3	C2	0.54	0.56	0.55	10
A6	B1	C2	0.48	0.61	0.54	11
A2	B2	C2	0.44	0.60	0.52	12
A1	B2	C2	0.49	0.42	0.46	13
A3	B2	C3	0.42	0.47	0.45	14
A4	B1	C2	0.42	0.47	0.45	15
A1	B3	C1	0.69	0.19	0.44	16
A6	B2	C1	0.36	0.45	0.40	17
A3	B1	C1	0.16	0.49	0.32	18
A2	B2	C3	0.27	0.34	0.30	19

A4	B2	C1	0.23	0.36	0.29	20
A2	B1	C3	0.18	0.37	0.27	21
A1	B1	C3	0.27	0.08	0.17	22
A2	B1	C1	0.12	0.15	0.13	23
A3	B1	C3	0.03	0.18	0.11	24
A1	B2	C3	0.02	0.16	0.09	25
A3	B2	C2	0.00	0.09	0.05	26
A1	B1	C1	0.03	0.00	0.01	27

4. 结论与讨论

基质的类型和数量、容器规格大小会影响幼苗的生长和质量，生长期合理施肥对幼苗生长具有促进作用 (Shalizi et al, 2019)。本研究探讨了基质配比、缓释肥用量和容器规格对香椿容器苗生长和质量的影响。研究表明，基质配比中 A6（椰糠：泥炭：土=1:1:0）的组合效果最佳，显著提高了香椿容器苗的苗高和地径，A5（椰糠：泥炭：土=1:2:1）效果其次。这可能是由于这两种配比提供了良好的通气性、保水性和适当的养分供应，满足了香椿苗木生长的需求。椰糠由于其自身的孔隙结构良好，能够提高基质的通气性，有利于根系呼吸和伸展；泥炭则提供了丰富的有机质，能够改良基质的保水性和肥力；适量的土壤则增强了基质的结构稳定性，减少水分的流失 (孙洁等, 2015)。相比之下，其他配比的基质由于某些成分比例不当，导致通气性、保水性或营养供给不平衡，从而限制了苗木的生长。例如基质配比中 A2（椰糠 2：泥炭 2：土 1），椰糠比例过高会导致基质过于疏松，保水性差；泥炭比例过高则可能导致基质排水性不足，影响根系健康；而基质配比中 A3（椰糠 1：泥炭 1：土 2），则是土壤比例过高，限制了基质的通气性。

本研究表明，增加缓释肥的用量显著促进了香椿容器苗苗高和地径的增加，缓释肥用量为 3 kg/m³ 的处理效果最为显著。缓释肥能够为香椿容器苗提供持续、稳定的营养供应，减少了因一次性施肥带来的养分浪费和肥害风险。适量的缓释肥不仅能满足苗木快速生长的营养需求，还能提高苗木的抗逆性和生长一致性。然而，过量施肥也会导致负面效果，如养分过剩引起的基质盐分累积，可能对根系造成损害。研究表明多穗柯、赤皮青冈、薄壳山核桃等 (吴小林等, 2014; 厉月桥等, 2021; 潘平等, 2019) 树种容器育苗基质中添加 2.0-4.0 kg/m³ 缓释肥时，最适合容器苗的生长。因此，在实际生产中，需根据香椿容器苗的生长阶段和基质特点，合理控制缓释肥的用量，以达到最佳效果。

本研究表明，容器规格对苗高影响不显著，但对地径和高径比有显著影响。较大的容器规格（如 C3）更有利于苗木生长。这是因为较大的容器为香椿根系提供了更充足的生长空间，促进了根系的扩展和发育，从而提高了地上部分的生长质量。此外，大规格容器中的基质量更多，有助于保持较好的水肥环境，支持苗木的健康生长。

进一步分析发现，基质配比与缓释肥用量、基质配比与容器规格、缓释肥用量与容器规格之间均存在显著的交互效应。例如，基质配比和缓释肥用量的最佳组合（A6B3）在苗木生长各项指标上表现突出，这表明适当的基质配比与合理的缓释肥用量协同作用，能够显著提升香椿容器苗的生长质量。此外，三因素组合中表现位列前茅的处理（A6B3C3、A5B3C3 组合）在苗高、地径和高径比上均表现出优势。这可能是因为适宜的基质配比和缓释肥用量下，较大的容器规格提供了良好的生长环境，最大程度地发挥了各因素的协同效应，促进了苗木的全面生长。基于研究结果，我们提出以下育苗技术建议：推荐使用椰糠：泥炭：土=1:1:0、1:2:1 的组合，以提供良好的通气性和保水性，促进根系健康生长。建议施用量为 3 kg/m³ 的缓释肥，确保苗木在生长期获得稳定、充足的营养。建议使用较大规格的容器，为根系提供充足的生长空间，提高苗木的地径和高径比。

综上所述,本研究系统地分析了基质配比、缓释肥用量和容器规格对香椿容器苗生长的影响,为香椿的高效育苗提供了科学依据。未来,通过不断优化育苗技术,可以进一步提高香椿苗木的生产效率和质量,促进香椿产业的可持续发展。尽管本研究取得了一些成果,但仍存在一些不足之处。本实验条件局限于特定地区,结果可能不适用于不同气候条件下的香椿育苗。此外,还应关注香椿苗木在移栽后的生长表现,确保育苗技术的可持续性和实际应用效果。

参 考 文 献

- 刘素慧, 张立伟. 红蓝光质对香椿芽苗菜营养品质的影响[J]. 中国农业气象, 2015, 36(3): 306–312.
- (Liu Suhui, Zhang Liwei. Effect of red and blue light quality on nutritional quality of *Toona sinensis* sprouts [J]. Agricultural Meteorology of China, 2015, 36 (3): 306-312. [in Chinese])
- 郝继伟. 浅谈香椿的资源价值与利用[J]. 江苏农业科学, 2003(5): 102–103.
- (Hao Jiwei. Talking about the resource value and utilization of *Toona sinensis* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2003 (5): 102-103. [in Chinese])
- 袁亚玲, 崔宁洁, 张丹桔, 等. 马尾松-香椿不同混合比例凋落物分解过程中的生态酶化学计量动态[J]. 应用与环境生物学报, 2023, 29(3): 654–662.
- (Yuan Yaling, Cui Ningjie, Zhang Danju, *et al.* Stoichiometric dynamics of ecological enzymes in litter decomposition of *Pinus massoniana* and *Toona sinensis* with different mixed ratios [J]. Journal of Applied and Environmental Biology, 2023, 29 (3): 654-662. [in Chinese])
- 李佳, 焦怀明, 宋思梦, 等. 不同育苗密度对香椿苗生长和质量的影响[J]. 湖南林业科技, 2021, 48(3): 35–39.
- (Li Jia, Jiao Huaiming, Song Simeng, *et al.* Effects of different seedling density on the growth and quality of *Toona sinensis* seedlings [J]. Hunan Forestry Science and Technology, 2021, 48 (3): 35-39. [in Chinese])
- 肖兴翠, 王树山, 杨勇智, 等. 香椿半同胞家系在川中丘陵区生长变异及早期选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(1): 9–19.
- (Xiao Xingcui, Wang Shushan, Yang Yongzhi, *et al.* Growth variation and early selection of half-sib families of *Toona sinensis* in hilly region of central Sichuan [J]. Journal of Central South University of Forestry Science and Technology, 2022, 42 (1): 9-19. [in Chinese])
- Cordeiro Y E M, Pinheiro H A, dos Santos Filho B G, *et al.* Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought[J]. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, Amsterdam: Elsevier, 2009, 258(7): 1449–1455.
- 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 Yi, Wang Xiuhua, Zhang Lizhen, *et al.* Effects of different cultivation substrates on the growth and root development of container seedlings of *Phoebe mandshurica* and *Minnan* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2013, 22 (3): 81-87. [in Chinese])
- 桂子凡, 涂毅, 肖兴翠, 等. 基质配比、缓释肥用量、容器规格对喜树容器苗生长和质量的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(12): 42–49.
- (Gui Zifan, Zhi Yi, Xiao Xingcui, *et al.* Effects of substrate ratio, slow-release fertilizer dosage and container specification on the growth and quality of *Camptotheca acuminata* container seedlings [J]. Journal of Central South University of Forestry Science and Technology, 2022, 42(12): 42-49. [in Chinese])
- 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.
- (Ma Xuehong, Hu Genchang, Feng Jianguo, *et al.* Effects of substrate ratio, slow release fertilizer amount and container specification on the quality of *Schima superba* container seedlings [J]. Forestry Scientific Research, 2010, 23 (4): 505-509. [in Chinese])
- 吕宁宁, 朱晗, 杨培蓉, 等. 不同轻型基质对杉木容器苗生长与养分积累的影响[J]. 西北林学院学报, 2024(2): 1–10.
- (Lu Ningning, Zhu Han, Yang Peirong, *et al.* Effects of different light substrates on growth and nutrient accumulation of Chinese fir container seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2024 (2): 1-10. [in Chinese])
- 马东旭, 王佳琪, 蓝伟立, 等. 指数施肥对杉木容器育苗基质真菌群落及功能类群的影响[J]. 四川农业大学学报, 2024,

42(2): 388–396.

(Ma Dongxu, Wang Jiaqi, Lan Weili, *et al.* Effects of exponential fertilization on fungal communities and functional groups in container seedling substrate of *Cunninghamia lanceolata* [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2024, 42 (2): 388-396. [in Chinese])

陈金玲, 谢健, 孙燕, 等. 容器规格和基质比对培忠杉容器苗生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(7): 33–38.

(Chen Jinling, Xie Jian, Sun Yan, *et al.* Effects of container size and substrate ratio on the growth of container seedlings of *Cryptomeria fortunei* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2023, 51 (7): 33-38. [in Chinese])

曾庆良, 杨先义, 罗永猛, 等. 香椿容器育苗基质配方选择研究[J]. 西部林业科学, 2011, 40(4): 80–83.

(Zeng Qingliang, Yang Xianyi, Luo Yongmeng, *et al.* Study on the selection of medium formula for container seedling cultivation of *Toona sinensis* [J]. Western Forestry Science, 2011, 40 (4): 80-83. [in Chinese])

曾庆良, 杨先义, 王芝勇, 等. 香椿两段式容器苗在喀斯特石漠化区域造林试验[J]. 山东林业科技, 2012, 42(2): 42-45+23.

(Zeng Qingliang, Yang Xianyi, Wang Zhiyong, *et al.* Afforestation experiment of *Toona sinensis* two-stage container seedlings in karst rocky desertification area [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2012, 42 (2): 42-45-23. [in Chinese])

詹孝慈, 罗在柒, 潘德权, 等. 不同栽培基质对香椿网袋容器苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4631–4632.

(Zhan Xiaoci, Luo Zaiqi, Pan Dequan, *et al.* Effects of different cultivation substrates on the growth of *Toona sinensis* container seedlings in net bags [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40 (8): 4631-4632. [in Chinese])

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.

(Lu Xiujun, Li Hongyi, Ai Wanfeng, *et al.* Effects of container size, matrix ratio and slow-release fertilizer on container seedling quality of *Quercus mongolica* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48 (7): 17-22. [in Chinese])

Shalizi M N, Goldfarb B, Burney O T, *et al.* Effects of Five Growing Media and Two Fertilizer Levels on Polybag-Raised Camden Whitegum (*Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage) Seedling Morphology and Drought Hardiness[J]. FORESTS, Basel: MDPI, 2019, 10(7): 543.

孙洁, 刘俊, 郁培义, 等. 不同基质配方对降香黄檀幼苗生长生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(7): 45–49.

(Sun Jie, Liu Jun, Yu Peiyi, *et al.* Effects of different substrate formulations on the growth and physiology of *Dalbergia odorifera* seedlings [J]. Journal of Central South University of Forestry Science and Technology, 2015, 35 (7): 45-49. [in Chinese])

吴小林, 张东北, 楚秀丽, 等. 赤皮青冈容器苗不同基质配比和缓释肥施用量的生长效应[J]. 林业科学研究, 2014, 27(6): 794–800.

(Wu Xiaolin, Zhang Dongbei, Chu Xiuli, *et al.* Growth effect of different substrate ratio and slow-release fertilizer application rate of *Cyclobalanopsis glauca* container seedlings [J]. Forestry Scientific Research, 2014, 27 (6): 794-800. [in Chinese])

厉月桥, 何平, 周新华, 等. 基质配比、缓释肥用量和容器规格对多穗柯容器育苗的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(6): 46–52.

(Li Yueqiao, he Ping, Zhou Xinhua, *et al.* Effects of substrate ratio, slow-release fertilizer dosage and container specification on container seedling cultivation of *Coleophora paniculata* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49 (6): 46-52. [in Chinese])

潘平平, 窦全琴, 汤文华, 等. 缓释肥用量对薄壳山核桃容器苗生长及养分含量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(5): 163–168.

(Pan Pingping, Dou Quanqin, Tang Wenhua, *et al.* Effect of slow-release fertilizer on growth and nutrient content of *Carya cathayensis* container seedlings [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 43 (5): 163-168. [in Chinese])