

引用格式: 王湘莹, 魏溧姣, 王晓明, 等. 育苗容器对紫叶紫薇容器苗生长、开花及生理的影响[J]. 西北植物学报, 2024, 44(7): 1064-1072.
[WANG X Y, WEI L J, WANG X M, et al. Effects of seedling containers on the growth, flowering, and physiology of purple-leaf *Lagerstroemia indica* seedlings[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(7): 1064-1072.] DOI:10.7606/j.issn.1000-4025.20230826

育苗容器对紫叶紫薇容器苗生长、 开花及生理的影响

王湘莹¹, 魏溧姣^{1,2}, 王晓明^{1*}, 唐 丽², 曾慧杰¹, 陈 艺¹

(1 湖南省林业科学院, 长沙 410004; 2 中南林业科技大学 林学院, 长沙 410004)

摘 要 【目的】探讨育苗容器类型和规格对紫叶紫薇容器苗生长、开花及生理的影响, 筛选出培育紫叶紫薇容器苗的适宜育苗容器, 为高效培育紫薇容器苗提供理论依据。【方法】以紫叶紫薇优良新品种‘丹红紫叶’2年生苗木为研究材料, 选用黑色塑料营养杯(C1)、白色无纺布美植袋(C2)、黑色控根容器(C3)3个类型以及16×16(D1)、21×21(D2)、25×25(D3)3种规格(直径×高, cm), 组成9种容器组合处理, 测定不同处理容器苗生长、开花及生理指标。【结果】(1)不同育苗容器处理对紫叶紫薇容器苗的生长、开花及生理指标均影响显著, 同一容器类型苗木的生长、根系、生物量、花期、花径、花序、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、相对叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率等指标均随着育苗容器规格的增大而显著增加。(2)地径生长量、总根长、总根表面积、总根体积、根尖数、地上部干质量、地下部干质量、总干质量、花期均以C3D3处理最大, 比最小的C1D1处理分别显著提高817.12%、108.12%、94.60%、75.66%、144.14%、135.67%、228.45%、164.65%、34.48%; 苗高生长量、冠幅生长量、叶面积、花序长和宽均以C1D3处理最高, 比最低的C1D1处理分别显著提高116.05%、81.39%、114.95%、70.44%和65.79%; 相对叶绿素含量、水分利用效率均以C3D3处理最大, 可溶性蛋白和可溶性糖含量、净光合速率、气孔导度均以C1D3处理最高; 胞间CO₂浓度、水分利用效率在各处理之间无显著差异。(3)各处理隶属函数法综合评价得分排序为: C3D3>C1D3>C2D3>C3D2>C2D2>C1D2>C2D1>C3D1>C1D1。【结论】黑色控根容器在地径生长量、根系生长指标、生物量、花期和花径、叶绿素相对含量及净光合速率方面表现最佳; 紫叶紫薇2年生苗的最适宜育苗容器是直径25 cm、高25 cm的黑色控根容器。

关键词 紫叶紫薇; 容器苗; 容器类型; 容器规格; 生长; 开花; 生理

中图分类号 Q945; S723.133; S685.99 **文献标志码** A

Effects of seedling containers on the growth, flowering, and physiology of purple-leaf *Lagerstroemia indica* seedlings

WANG Xiangying¹, WEI Lijiao^{1,2}, WANG Xiaoming^{1*}, TANG Li², ZENG Huijie¹, CHEN Yi¹

(1 Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China; 2 College of Forestry, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract [Objective] This study aims to examine the effects of container type and specification on the growth, blooming, and physiology of purple-leaf *Lagerstroemia indica* seedlings. The goal is to examine the optimal seedling container for the cultivation of purple-leaf *L. indica* seedlings and to provide basis for effective seedling breeding in containers. [Methods] Taking the excellent new variety ‘Ebony Embers’ of

收稿日期: 2023-12-21; 修改稿收到日期: 2024-03-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD1000500); 湖南省花卉苗木产业发展项目(HH202201)

作者简介: 王湘莹(1989—), 女, 助理研究员, 主要从事园林植物与药用植物研究。E-mail: keke427@qq.com

* 通信作者: 王晓明, 男, 博士, 研究员, 主要从事园林植物与药用植物研究。E-mail: wxm1964@163.com

purple-leaf *L. indica* as research materials. Three type containers, black plastic nutrient cups (C1), white nonwoven beauty planting bags (C2), and black root-control containers (C3), with three specifications (diameter×height, cm) of 16×16 (D1), 21×21 (D2), and 25×25 (D3), were selected to set nine treatments. Seedlings under different treatments were measured for growth, flowering, and physiological indexes. [Results] (1) Different nursery containers had significant effects on the growth, flowering, and physiology of purple-leaf *L. indica* seedlings. The growth, root system, biomass, flowering period, flower diameter, inflorescence, soluble protein content, soluble sugar content, relative chlorophyll content, net photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, and other indexes in the same container type were increased with the increase in the specification of the containers. (2) Diameter growth, total root length, total root surface area, total root volume, number of root tips, aboveground dry mass, belowground dry mass, total dry mass, and flowering time were greatest in the C3D3 treatment, which was higher than the smallest C1D1 treatment by 817.12%, 108.12%, 94.60%, 75.66%, 144.14%, 135.67%, 228.45%, 164.65% and 34.48%, respectively. Seedling height growth, crown growth, leaf area, and inflorescence length and width were the highest in the C1D3 treatment, which was higher than the lowest C1D1 treatment by 116.05%, 81.39%, 114.95%, 70.44%, and 65.79%, respectively. Relative chlorophyll content and water use efficiency were the greatest in the C3D3 treatment, while soluble protein and soluble sugar content, net photosynthetic rate, and stomatal conductance were the highest in the C1D3 treatment. The intercellular CO₂ concentration and water use efficiency did not differ significantly among the treatments. (3) The comprehensive analysis score for each index was as follows: C3D3>C1D3>C2D3>C3D2>C2D2>C1D2>C2D1>C3D1>C1D1. [Conclusion] The black root-control container performs well in terms of diameter growth, root growth index, biomass, flowering time and diameter, relative chlorophyll content, and net photosynthetic rate. The most suitable container for 2-year-old seedlings of purple-leaf *L. indica* is the black root-control container with a diameter of 25 cm and a height of 25 cm.

Key words purple-leaf *Lagerstroemia indica*; container seedlings; container type; container size; growth; flowering; physiology

紫薇(*Lagerstroemia indica* L.)是中国的传统名花,花色丰富多彩,花期长,在园林绿化中应用历史悠久而广泛,是中国湖南郴州和邵阳、河南安阳和信阳等 21 个城市的市花^[1]。紫叶紫薇(purple-leaf *Lagerstroemia indica*)叶色灰紫,花色深红,既观花又观叶,深受人们青睐^[2]。园林花卉容器苗具有移栽成活率高,缓苗期短等特点,越来越多地应用于园林绿化工程。容器育苗是园林花卉苗木培育的主要技术^[3],容器类型、规格直接影响容器苗的营养积累,对苗木的生长、开花和生理均有较大的影响,从而影响容器苗质量^[4-5],选择适宜的育苗容器是培育优质容器苗的关键之一。目前紫薇育苗技术研究主要集中在扦插^[6-7]、嫁接^[8]、组培快繁^[9-10]等方面,而有关紫薇容器育苗的研究十分有限,仅见王肖雄等^[11]开关于容器规格对紫薇扦插小苗株高和地径生长的影响研究,认为紫薇‘双红 101’无性系株高 7~8 cm 扦插小苗的适合育苗容器规格是 6 cm×6 cm×8 cm 黑色聚乙烯塑料袋,未涉及不同类型及较大规格容器对紫薇根系、生物量、开花和生理等方面影响的研究,至今未建立紫薇容器育苗技术体系。因此,本研究以紫叶紫薇优良新品种‘丹红紫叶’

(*Lagerstroemia indica* ‘Ebony Embers’)为研究对象,开展黑色塑料营养杯、白色无纺布美植袋、黑色控根容器 3 种育苗容器类型及 3 种不同规格对紫叶紫薇容器苗生长、开花及生理指标的影响试验,旨在筛选出紫叶紫薇容器苗培育的适宜育苗容器类型和规格,为紫叶紫薇容器育苗技术体系构建及优质容器苗培育提供理论论据,促进紫薇苗木产业健康可持续发展。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为紫叶紫薇优良新品种‘丹红紫叶’2 年生苗木,由湖南省林业科学院紫薇科研团队提供。苗木移栽在育苗容器后定于高度 60 cm 左右,移栽基质为 80% 泥炭+20% 珍珠岩。

1.2 试验设计

试验于 2021 年 3—12 月在湖南省林业科学院试验林场紫薇基地进行。设计 3 种育苗容器类型(C),分别为黑色塑料营养杯(北京荣立华塑料厂生产,C1)、白色无纺布美植袋(河北省定州市睿森美植袋厂生产,C2)、黑色控根容器(泰安镭语工程材

料有限公司生产,C3);根据前期预实验结果,每种育苗容器设计3种规格(D,直径×高),分别为16 cm×16 cm(D1),21 cm×21 cm(D2),25 cm×25 cm(D3),共组成9种容器处理(3×3),分别表示为C1D1,C1D2,C1D3,⋯,C3D3。2021年3月初将苗木移栽于育苗容器中,每个育苗容器定植1株苗木,每个处理12株苗木,3次重复。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长指标

(1)苗高、地径和冠幅增长量:2021年3月初测量苗高、地径和冠幅,作为初始值,2021年12月底再测量苗高、地径和冠幅,苗高、地径和冠幅的增长量为2次测量值的差值。

(2)叶面积:2021年9月中旬采用LI-3000C叶面积仪(LI-COR,美国)测定叶面积。测定时采集每株当年生枝条中部的成熟叶3片,每个处理测定苗木3株,测量值为其平均值。

(3)根系:2021年12月下旬选择每个处理苗木3株,洗净根系后用Epson Expression 10000XL1.0根系扫描仪(Epson CORP,日本)扫描根系,用Win RHIZO分析软件计算苗木的总根长、总根表面积、总根体积、根尖数。

(4)地上部与根生物量:2021年12月下旬挖取每个处理苗木3株,将苗木地上部与根部分开,清洗干净,在105℃杀青20 min,于80℃中烘干到恒重状态,称量干质量。

1.3.2 开花指标

观测每个处理苗木的初花期、盛花期和末花期时间,并于2021年7—8月在每个处理选取3株于盛花期时测量花序长和宽。

1.3.3 生理指标

2021年8月下旬采集容器苗当年生枝条顶部往下第6~7片健康成熟叶片,擦净表面污物,剪碎混匀,称取0.1~0.3 g用于测定可溶性糖和可溶性蛋白质含量,重复3次。其中,可溶性糖含量采用蒽酮比色法分析测定^[12],可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[12]。叶绿素相对含量采用叶绿素仪SPAD-502PLUS(柯尼卡美能达,日本)测定,每个处理随机选取3株,每株选择当年生中部侧枝的中部成熟叶测定,重复3次。

1.3.4 光合特性

8月初晴天无云时,于上午7:30—11:30采用光合测定仪Li-6400XT(LI-COR,美国)测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间

CO₂浓度(C_i)。每个处理选取3株,测定时选择当年生枝条中部向阳的健康成熟叶,重复3次。在光合测定时设定人工光照强度为1400 μmol/(m²·s)。水分利用效率(WUE)为净光合速率和蒸腾速率的比值^[13]。

1.4 数据处理

用Excel 2019和SPSS 26.0软件进行数据整理与统计分析。借助隶属函数法进行各种指标的综合分析评价。公式为:

$$X_{(f)} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: $X_{(f)}$ 为试验处理中某一个指标的隶属函数值; X 为这个指标的测定值; X_{\min} 、 X_{\max} 分别为所有试验处理中这个指标所对应的最小值、最大值。

2 结果与分析

2.1 不同育苗容器处理对紫叶紫薇容器苗生长的影响

2.1.1 地上生长指标

由表1可知,紫叶紫薇容器苗的苗高、地径和冠幅增长量及叶面积在不同育苗容器处理间有显著性差异($P < 0.05$)。在同一容器类型中,容器苗的苗高、地径和冠幅增长量及叶面积均随着育苗容器规格增大而增加。其中,苗高和冠幅增长量及叶面积均以C1D3处理最高,C3D3和C2D3处理次之,而均以C1D1处理最低,C1D1处理比C1D3处理分别显著低116.05%、81.39%、114.95%($P < 0.05$);地径增长量以C3D3处理最大,并与其他处理差异显著,比最小的C1D1处理显著高817.14%($P < 0.05$)。同一育苗容器规格中,地径增长量均以黑色控根容器苗的最大,苗高增长量、冠幅增长量和叶面积的表现则无规律可循。

2.1.2 根系生长指标

紫叶紫薇容器苗根系生长在不同育苗容器处理间也有显著性差异(表2)。在同一育苗容器类型中,容器苗的总根长、总根表面积、总根体积、根尖数也随育苗容器的规格增大而增加,均以C3D3处理最大,分别比最小的C1D1处理显著增加108.02%、94.60%、75.66%、144.14%($P < 0.05$),其中以C3D3处理的根尖数表现最为突出,它与其他处理均差异显著,其总根表面积表现次之,但其总根体积仅与C1D1、C2D1差异显著。在同一育苗容器规格中,容器苗总根长、总根表面积、总根体积、根尖数总体上以黑色控根容器苗最高,则以黑色塑料营养杯最低。

表 1 不同育苗容器处理下紫叶紫薇容器苗地上生长指标

Table 1 The aboveground growth indexes of purple-leaf *L. indica* seedlings in different containers

处理 Treatment	苗高增长量 Seedling height growth/cm	地径增长量 Ground diameter growth/mm	冠幅增长量 Crown growth/cm	叶面积 Leaf area/cm ²
C1D1	34.33±1.86e	0.35±0.10d	14.13±3.33c	18.20±0.89f
C1D2	55.67±2.94c	1.32±0.28c	23.75±3.38a	30.12±0.65c
C1D3	74.17±2.32a	2.02±0.16b	25.63±1.80a	39.12±0.87a
C2D1	56.83±1.94c	1.05±0.33c	21.88±0.85ab	21.36±0.66e
C2D2	61.50±1.87b	1.27±0.07c	23.38±1.03a	24.48±0.82d
C2D3	70.67±2.42a	1.99±0.32b	24.88±1.25a	36.74±0.87b
C3D1	51.00±2.37d	0.45±0.21d	18.63±1.65b	23.79±0.92d
C3D2	57.17±3.06c	1.82±0.28b	22.75±1.85a	25.33±0.61d
C3D3	71.33±3.20a	3.21±0.30a	24.88±3.33a	31.36±1.10c

注:C1、C2、C3 分别代表容器类型黑色塑料营养杯、白色无纺布美植袋、黑色控根容器,而 D1、D2、D3 分别代表容器规格(直径×高)16 cm×16 cm、21 cm×21 cm、25 cm×25 cm。同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: C1, C2, and C3 stand for container types of black plastic nutritional cup, nonwoven planting bag, and black root control container, while D1, D2, and D3 represent container size (diameter×height) of 16 cm×16 cm, 21 cm×21 cm, and 25 cm×25 cm, respectively. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). The same as below.

表 2 不同育苗容器处理下紫叶紫薇容器苗根系生长指标

Table 2 Root growth indexes of purple-leaf *L. indica* seedlings in different containers

处理 Treatment	总根长 Total root length/cm	总根表面积 Total root surface area/cm ²	总根体积 Total root volume/cm ³	根尖数 Number of root tips
C1D1	618.48±51.69d	179.43±16.66d	4.19±0.12c	2 474±152.03d
C1D2	997.89±13.30bc	293.65±9.93b	5.77±1.07abc	3 518±152.03c
C1D3	1 090.63±50.99abc	308.61±17.10ab	6.95±0.44a	4 263±432.04bc
C2D1	954.08±141.53c	248.12±7.82c	4.88±0.68bc	3 823±183.85c
C2D2	1 031.38±49.78bc	295.59±32.88b	5.75±0.40abc	4 904±531.04b
C2D3	1 189.92±89.54ab	293.30±21.32b	6.69±0.86a	5 031±338.00b
C3D1	1 010.29±78.19bc	270.42±17.87bc	6.24±1.17ab	3 615±169.71c
C3D2	1 206.33±159.56ab	344.76±13.92a	6.57±0.16ab	5 039±480.83b
C3D3	1 286.54±92.32a	349.17±12.62a	7.36±0.07a	6 040±263.04a

2.1.3 生物量

紫叶紫薇容器苗的生物量在不同育苗容器间同样存在显著性差异(表 3)。在同一育苗容器类型中,容器苗的地上干质量、根干质量、总干质量均随着容器规格的增加而提高,并均以 C3D3 处理最高,比最低的 C1D1 处理分别显著高出 135.67%、228.45%、164.65%,并基本上与其余处理均存在显著性差异。在同一育苗容器规格中,容器苗地上干质量、根干质量和总干质量均表现为黑色控根容器>白色无纺布美植袋>黑色塑料营养杯。

2.2 不同育苗容器处理对紫叶紫薇容器苗开花的影响

育苗容器类型和规格对紫叶紫薇容器苗花径、花序长、花序宽、花期有显著影响(表 4)。在同一育苗容器类型中,容器苗的花径、花序长、花序宽、花期总体上随着容器规格增大而增加。

表 3 不同育苗容器处理下紫叶紫薇容器苗生物量指标

Table 3 Biomass indexes of purple-leaf *L. indica* seedlings grown in different containers g

处理 Treatment	地上干质量 Above ground dry mass	根干质量 Root dry mass	总干质量 Total dry mass
C1D1	44.85±0.35e	20.50±1.41f	65.35±1.77f
C1D2	75.55±6.15d	29.35±2.05d	109.25±2.05e
C1D3	85.15±1.34bc	41.55±0.92c	124.55±3.46cd
C2D1	46.80±0.57e	24.50±1.27e	71.30±0.71f
C2D2	77.85±0.64cd	41.10±1.56c	118.95±2.19d
C2D3	98.90±0.99a	58.85±0.78b	157.75±1.77b
C3D1	46.95±0.64e	25.15±0.07e	72.10±0.57f
C3D2	86.50±1.70b	43.65±0.21c	130.15±1.91c
C3D3	105.70±7.35a	67.25±1.06a	172.95±6.29a

表 4 不同育苗容器处理下紫叶紫薇容器苗开花指标

Table 4 Flowering indexes of purple-leaf *L. indica* seedlings grown in different containers

处理 Treatment	花期 Flowering period/d	花径 Flower diameter/mm	花序长 Inflorescence length/mm	花序宽 Inflorescence width/mm
C1D1	58±1.73e	32.75±3.38abc	81.73±13.61e	76.29±10.30e
C1D2	67±1.00c	31.00±3.13c	108.07±6.38bcd	102.01±8.03bcd
C1D3	68±0.00c	34.58±2.08ab	139.30±16.27a	126.48±18.05a
C2D1	63±1.73d	31.44±4.53bc	90.30±12.50de	86.28±12.32de
C2D2	66±2.00c	31.95±2.35bc	108.77±11.31bcd	95.81±15.55cd
C2D3	74±1.73b	33.23±3.49abc	125.59±14.00ab	117.29±8.29ab
C3D1	59±0.00e	31.36±2.67bc	103.96±18.02cd	93.27±16.57cde
C3D2	66±1.00c	32.87±2.30abc	114.84±25.37bc	107.06±20.17bc
C3D3	78±2.00a	35.64±1.09a	122.49±16.46abc	113.87±17.47ab

其中,花径以 C3D3 处理最大,比最小的 C1D2 处理显著增加了 14.97%;花序长和宽均以 C1D3 处理最大,分别比最小的 C1D1 处理增加 70.44% 和 65.79%,并与除 C2D3、C3D3 以外处理差异显著;花期以 C3D3 处理最长(78 d),并与其余处理均差异显著,其中比花期最短的 C1D1 处理显著长 20 d。在 D3 育苗容器规格中,花期、花径均以黑色控根容器苗最大,花序长和花序宽均以黑色塑料营养杯容器苗最高,但除花期外容器间均无显著差异。

2.3 不同育苗容器处理对紫叶紫薇叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

由表 5 可知,不同育苗容器对紫叶紫薇容器苗叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响均达到显著性差异水平($P < 0.05$)。

表 5 不同育苗容器处理下紫叶紫薇叶片可溶性蛋白、可溶性糖含量

Table 5 Soluble protein and soluble sugar contents of purple-leaf *L. indica* seedlings in different containers

处理 Treatment	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar
C1D1	71.29±0.23b	23.59±1.52d
C1D2	74.28±0.24a	33.76±0.15a
C1D3	74.33±0.54a	34.32±0.43a
C2D1	67.29±0.08d	17.12±0.08f
C2D2	69.58±0.27c	23.16±0.24d
C2D3	70.01±0.42c	29.71±0.08b
C3D1	67.33±0.44d	21.41±0.37e
C3D2	73.97±0.58a	28.21±0.21c
C3D3	74.15±0.31a	30.13±0.34b

在同一育苗容器类型中,叶片可溶性蛋白、可溶性糖含量都随着容器规格的增大而相应增加,并均

以 C1D3 处理最高,分别比最低的 C2D1 处理提高 10.46%、100.47%;同一育苗容器规格中,叶片可溶性蛋白、可溶性糖含量均以黑色塑料营养杯容器苗(C1)最高。

2.4 不同育苗容器处理对紫叶紫薇容器苗叶片叶绿素相对含量和光合指标的影响

表 6 显示,不同育苗容器对紫叶紫薇容器苗叶片的叶绿素相对含量、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)的影响均达到显著水平($P < 0.05$),但对胞间 CO_2 浓度(C_i)、水分利用效率(WUE)的影响却不显著($P > 0.05$)。在同一育苗容器类型中,容器苗叶片叶绿素相对含量、 P_n 、 G_s 、 T_r 均随着容器规格增大而相应增大。其中,叶绿素相对含量以 C3D3 处理最大,比最小的 C1D1 处理显著增加 20.39%,且与其余处理差异显著; P_n 、 G_s 均以 C1D3 处理最高,比最低的 C3D1 处理分别显著提高 84.20% 和 136.36%,但与 C2D3 和 C3D3 处理均无显著性差异; T_r 以 C2D3 处理最大,比最小的 C3D1 处理显著增加 101.77% ($P < 0.05$),但与 C1D3 和 C3D3 处理无显著性差异($P > 0.05$)。在 D3 育苗容器规格中, P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 、WUE 在各容器苗间均无显著差异,但多以黑色塑料营养杯容器苗稍高,而其幼苗相对叶绿素含量表现为黑色控根容器 > 白色无纺布美植袋 > 黑色塑料营养杯,且容器间均差异显著。

2.5 不同处理紫叶紫薇容器苗生长的综合评价

从各指标隶属函数综合分析得分的排序结果(表 7)来看,得分排名前 3 的依次是 C3D3、C1D3、C2D3 处理,都是直径 25 cm、高 25 cm 的育苗容器,得分排名最后 3 名的依次是 C1D1、C3D1、C2D1 处理,都是直径 16 cm、高 16 cm 的育苗容器。C3D3 处理的得分最高,C1D1 处理则最低。这说明直径

25 cm、高 25 cm 的黑色控根容器是紫叶紫薇 2 年生 的黑色塑料营养杯和白色无纺布美植袋,而直径 16
苗的最适宜育苗容器,其次是直径 25 cm、高 25 cm cm、高 16 cm 的育苗容器则不适合。

表 6 不同育苗容器处理下紫叶紫薇容器苗叶片叶绿素相对含量和光合指标

Table 6 Relative chlorophyll content and photosynthetic indexes of purple-leaf *L. indica* container seedlings in different containers

处理 Treatment	叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content	$P_n/$ [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	$G_s/$ [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	$C_i/$ ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	$T_r/$ [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	WUE/ ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
C1D1	61.55±0.35f	5.94±0.51b	0.15±0.06bc	319.44±10.29a	3.39±0.86cd	1.75±0.39a
C1D2	65.90±0.28e	6.36±0.49b	0.15±0.02bc	314.94±8.24a	3.50±0.37cd	1.82±0.17a
C1D3	68.95±0.35d	9.21±0.68a	0.26±0.10a	317.69±12.54a	5.06±1.50ab	1.82±0.79a
C2D1	68.60±0.28d	6.27±0.77b	0.15±0.05bc	307.93±10.36a	3.71±0.94bcd	1.69±0.37a
C2D2	69.85±0.64c	6.34±0.49b	0.21±0.07ab	309.11±7.23a	4.40±1.08abc	1.44±0.47a
C2D3	71.45±0.21b	8.45±0.56a	0.23±0.05ab	310.77±7.20a	5.69±0.90a	1.48±0.21a
C3D1	69.05±0.21cd	5.00±0.65c	0.11±0.02c	314.89±18.05a	2.82±0.47d	1.77±0.31a
C3D2	71.20±0.42b	5.88±0.32b	0.16±0.06bc	322.11±12.07a	3.64±1.15bcd	1.62±0.50a
C3D3	74.10±0.28a	9.11±0.64a	0.21±0.08ab	308.44±6.92a	4.67±1.23abc	1.95±0.58a

表 7 不同育苗容器处理紫叶紫薇容器苗生长情况综合评价

Table 7 Comprehensive growth evaluation of purple-leaf *L. indica* seedlings in different containers

指标 Index	处理 Treatment								
	C1D1	C1D2	C1D3	C2D1	C2D2	C2D3	C3D1	C3D2	C3D3
苗高增长量 Seedling height growth	0.00	0.54	1.00	0.57	0.68	0.91	0.42	0.57	0.93
地径增长量 Ground diameter growth	0.00	0.34	0.58	0.25	0.32	0.57	0.04	0.51	1.00
冠幅增长量 Crown diameter growth	0.00	0.84	1.00	0.67	0.80	0.94	0.39	0.75	0.94
叶面积 Leaf area	0.00	0.57	1.00	0.15	0.30	0.89	0.27	0.34	0.63
总根长 Total root length	0.00	0.57	0.71	0.50	0.62	0.86	0.59	0.88	1.00
总根表面积 Total root surface area	0.00	0.67	0.76	0.41	0.68	0.67	0.54	0.97	1.00
总根体积 Total root volume	0.00	0.50	0.87	0.22	0.49	0.79	0.65	0.75	1.00
根尖数 Number of root tips	0.00	0.29	0.50	0.38	0.68	0.72	0.32	0.72	1.00
地上干质量 Above ground dry mass	0.00	0.51	0.66	0.03	0.54	0.89	0.04	0.68	1.00
根干质量 Root dry mass	0.00	0.19	0.45	0.09	0.44	0.82	0.10	0.50	1.00
全株干质量 Total dry mass	0.00	0.41	0.55	0.06	0.50	0.86	0.06	0.60	1.00
花径 Flower diameter	0.38	0.00	0.77	0.09	0.21	0.48	0.08	0.40	1.00
花序长 Inflorescence length	0.00	0.46	1.00	0.15	0.47	0.76	0.39	0.58	0.71
花序宽 Inflorescence width	0.00	0.51	1.00	0.20	0.39	0.82	0.34	0.61	0.75
花期 Flowering period	0.00	0.45	0.50	0.25	0.40	0.80	0.05	0.40	1.00
叶片可溶性蛋白含量 Leaf soluble protein content	0.57	0.99	1.00	0.00	0.33	0.39	0.01	0.95	0.97
叶片可溶性糖含量 Leaf soluble sugar content	0.38	0.97	1.00	0.00	0.35	0.73	0.25	0.65	0.76
叶片叶绿素相对含量 Leaf relative chlorophyll content	0.00	0.35	0.59	0.56	0.66	0.79	0.60	0.77	1.00
叶片净光合速率 Leaf net photosynthesis rate	0.22	0.32	1.00	0.30	0.32	0.82	0.00	0.21	0.98
叶片气孔导度 Leaf stomatal conductance	0.27	0.27	1.00	0.27	0.67	0.80	0.00	0.33	0.67
叶片胞间 CO ₂ 浓度 Leaf intercellular CO ₂ concentration	0.19	0.51	0.31	1.00	0.92	0.80	0.51	0.00	0.96
叶片蒸腾速率 Leaf transpiration rate	0.20	0.24	0.78	0.31	0.55	1.00	0.00	0.29	0.65
水分利用效率 Water use efficiency	0.57	0.57	0.89	0.45	0.05	0.00	0.52	0.41	1.00
得分 Score	0.12	0.48	0.78	0.30	0.49	0.74	0.27	0.56	0.91
排名 Ranking	9	6	2	7	5	3	8	4	1

3 讨论

3.1 育苗容器规格对苗木生长和生理指标的影响

育苗容器的规格大小决定了苗木生长的空间,育苗容器规格与苗木生长关系密切。本研究结果表明,同一育苗容器类型中,容器苗的苗高、地径和冠幅增长量及叶面积、总根长、总根表面积、总根体积、根尖数、地上干质量、根干质量、总干质量等生长指标均随着育苗容器规格增大而增加,说明育苗容器规格越大越有利于紫叶紫薇容器苗的生长。厉月桥等^[13]研究认为多穗柯(*Lithocarpus litseifolius*)1年生容器苗的苗高、地径、叶生物量、茎生物量、根生物量、总生物量、根长、根表面积、根体积、根尖数随容器规格的增大总体均呈上升趋势;陆秀君等^[14]研究发现蒙古栎(*Quercus mongolica*)容器苗的苗高、地径、根体积、叶生物量、茎生物量、根生物量、总生物量也随着容器规格增大呈现上升趋势,认为大规格容器对蒙古栎容器苗生长发育具有促进作用,本研究与这些研究结果相同。周新华等^[15]认为闽楠(*Phoebe bournei*)苗高、地径、地上生物量、根生物量、茎生物量、叶生物量和总生物量均随着容器规格增大而呈现先升后降的趋势,这与本研究结果并不完全相同。但也有研究认为容器规格大小对浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)地径生长影响不明显,规格较小的容器对其苗高生长更有利^[16];张瑞博等^[17]研究发现菩提树(*Ficus religiosa*)容器苗地上干质量、地下干质量、总干质量和苗木质量指数随着容器规格的增大呈极显著降低趋势,认为小规格美植袋有利于株高和地径的生长及生物量的累积。这可能与不同树种的生长发育特性存在较大的差异有关,其容器苗培育对容器规格的需求也有较大差异。

同时,育苗容器规格对苗木生理指标影响较大^[17-18]。本研究结果表明,同一育苗容器类型中,苗木叶片相对叶绿素含量及净光合速率、气孔导度、蒸腾速率及可溶性蛋白、可溶性糖含量都随着容器规格的增大显著增加,说明栽植在较大规格育苗容器中的苗木光合作用较强,规格较大的育苗容器对苗木叶片可溶性蛋白、可溶性糖的积累和叶绿素的合成比较有利。张帆航等^[18]认为油桐(*Vernicia fordii*)幼苗的叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率随着容器规格增大而逐步显著增大,本研究结果与之吻合。但张瑞博等^[17]研究认为中规格美植袋菩提树苗的可溶性蛋白、可溶性糖含量高于小规格和大规格的美植袋苗,本研究结果与之不完全一致,

说明育苗容器规格对不同树种的影响存在差异。

3.2 育苗容器类型对苗木生长和生理指标的影响

育苗容器类型对苗木生长影响显著^[19-25],这与不同育苗容器类型的透气性、保水保肥性不同有关,从而影响苗木的根系生长。研究表明,加仑盆栽植的薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)苗木多个生长指标均显著优于同一规格的美植袋和火箭盆^[19];控根容器栽植的樱桃(*Prunus pseudocerasus*)苗木地径和高度均高于塑料袋和无纺布袋,并以塑料袋栽植苗木最小^[20];控根容器栽植的苹果苗高、地径、生物量、总根长、侧根数、根系表面积、根体积等指标均显著大于无纺布袋和营养钵^[21]。但不同育苗容器类型对圆齿野鸦椿(*Euscaphis konishii*)1年生容器苗生长、根系形态及根活力的影响均不显著^[22]。Anthony等^[23]研究认为‘Green Giant’植株在白色容器中生长势和生物量更大,认为白色容器的植株根区温度比黑色容器低,容器中的基质含水量较高,有利于植株生长。本研究结果表明,同一育苗容器规格中,在黑色控根容器培育的紫叶紫薇苗地径生长量、总根长、总根表面积、总根体积、根尖数、地上干质量、地下干质量和总干质量最大,苗高、冠幅生长量和叶面积则以黑色塑料营养杯容器苗为最高,黑色控根容器有利于容器苗地径和根系生长及生物量积累,黑色塑料营养杯对苗高、冠幅、叶生长有利。这说明育苗容器类型对不同树种影响不一,栽植在控根容器中的苗木地上部分生长和根系生长总体上优于其他容器,这可能与黑色控根容器具有空气修根作用有关^[22],从而促进了紫叶紫薇容器苗根系和地上部分的生长。

同时,育苗容器类型对容器苗生理指标同样影响显著^[22-24]。本研究表明,同一育苗容器规格中,黑色控根容器紫叶紫薇苗木的叶片相对叶绿素含量、净光合速率最大,黑色塑料营养杯容器苗的叶片可溶性蛋白、可溶性糖含量最高,说明黑色育苗容器有利于苗木叶片叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖的合成与积累,光合能力较强,这与黑色育苗容器比白色的容易吸收热量,根区温度比白色的高有关。贺婷^[22]研究认为黑色塑料育苗钵培育的圆齿野鸦椿幼苗的叶片可溶性蛋白、可溶性糖含量、相对叶绿素含量均高于白色无纺布袋和透明塑料薄膜袋,本研究结果与之一致。许云鹏^[21]研究发现黑色控根容器栽植苹果苗木的叶片叶绿素含量、净光合速率高于白色无纺布袋和黑色塑料营养钵栽植的苗木叶片,白色无纺布袋苗木的气孔导度、胞间CO₂浓度、

蒸腾速率却显著高于黑色控根容器和黑色塑料营养钵。王志民等^[24]认为容器规格相同时,白色无纺袋猴樟苗叶片的相对叶绿素含量比黑色塑料育苗钵高,容器类型对可溶性蛋白、可溶性糖含量影响不大。可见,不同树种容器苗对育苗容器类型的生理响应存在较大差异。

3.3 育苗容器对苗木开花的影响

育苗容器类型和规格对苗木生长发育及生理产生影响,从而影响苗木的开花性状和花的品质,但目前国内外对育苗容器类型和规格影响苗木开花性状的研究报道十分少见。本研究发现育苗容器规格越大,紫叶紫薇容器苗的花期、花径、花序长和宽也越大,花的品质也越高;黑色控根容器和黑色塑料营养杯有利于紫叶紫薇容器苗开花,花的品质较好。这

说明育苗容器类型与规格不仅显著影响了紫薇的生长与生理指标,同样对紫薇的开花也有明显影响,因此,在园林花卉容器苗培育过程中选择适宜的育苗容器类型和规格方能培育出优质的容器苗。

4 结 论

育苗容器类型和规格对紫叶紫薇容器苗的生长、开花和生理影响显著。容器苗的生长、开花、生理指标总体随着容器规格的增大而增大,育苗容器规格越大越有利于容器苗生长发育。黑色控根容器培育的容器苗在生长、开花、生理指标方面总体表现优于黑色塑料营养杯容器苗和白色无纺布美植袋苗。紫叶紫薇2年生苗的最适宜育苗容器是直径25 cm、高25 cm的黑色控根容器。

参考文献:

- [1] 王小明,陈明皋,潘会堂,等. 紫薇新品种创制与栽培技术研究[M]. 北京:中国林业出版社,2022:3-20.
- [2] 罗雪梦,王小明,曾慧杰,等. 修剪措施对紫叶紫薇花蕾中内源激素和碳氮营养含量的影响[J]. 西北植物学报,2021,41(11):1876-1883.
LUO X M, WANG X M, ZENG H J, et al. Effects of pruning measures on endogenous hormones, carbon and nitrogen nutrition in flower buds of purple-leaf *Lagerstroemia indica* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, 41(11): 1876-1883.
- [3] MENG G L, LUAN D T, TAI Z J, et al. Effects of different substrate ratios on the growth and physiology of *Sequoia sempervirens* container seedlings[J]. *Compost Science & Utilization*, 2019, 27(3): 169-177.
- [4] 曹媛媛,杨晓明,吴文,等. 不同容器和基质配比对榉树容器苗营养积累的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2020,40(4):14-21.
CAO Y Y, YANG X Y, WU W, et al. Effects of medium formulation and container size on nutrient accumulation of container seedling of *Zelkova schneideriana* [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2020, 40(4): 14-21.
- [5] 张青青,杨永洁,王慷林,等. 不同容器类型及施肥对云南松苗木生长的影响[J]. 西部林业科学,2020,49(3):92-98.
ZHANG Q Q, YANG Y J, WANG K L, et al. Effects of different container types and fertilization on seedling growth of *Pinus yunnanensis* [J]. *Journal of West China Forestry Sci-*
- ence*, 2020, 49(3): 92-98.
- [6] 乔中全,王小明,曾慧杰,等. 不育紫薇‘湘韵’扦插过程中内源激素含量变化[J]. 湖南林业科技,2015,42(1):49-53.
QIAO Z Q, WANG X M, ZENG H J, et al. Changes of endogenous hormones during *Lagerstroemia indica* ‘Xiangyun’ cutting [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2015, 42(1): 49-53.
- [7] 王栋,曹晓娟. 不同基质和激素及浓度对美国紫薇嫩枝微型扦插育苗的影响[J]. 陕西林业科技,2021,49(3):52-55.
WANG D, CAO X J. Micro-cutting techniques of *Lagerstroemia indica* with different substrates and hormone levels [J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2021, 49(3): 52-55.
- [8] 张晨. 紫薇高枝嫁接繁殖技术研究[D]. 北京:北京林业大学,2017.
- [9] 张晴,王湘莹,陈亮明,等. ‘紫琦’紫薇组织培养及增殖过程中内源激素含量变化[J]. 中南林业科技大学学报,2023,43(7):101-108.
ZHANG Q, WANG X Y, CHEN L M, et al. Changes in endogenous hormone contents during tissue culture and proliferation of *Lagerstroemia indica* ‘Ziqi’ [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2023, 43(7): 101-108.
- [10] 饶丹丹,王湘莹,蔡能,等. 紫叶紫薇良种组培快繁研究[J]. 中南林业科技大学学报,2020,40(12):75-82.
RAO D D, WANG X Y, CAI N, et al. Study on tissue culture and rapid propagation of *Lagerstroemia indica* [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2020, 40(12): 75-82.

- [11] 王肖雄, 祝俊健, 季晶晶, 等. 不同基质、容器规格和施肥对紫薇容器苗质量的影响研究[J]. 绿色科技, 2016(13): 123-125.
WANG X X, ZHU J J, JI J J, *et al.* Effects of different substrates, container specifications and fertilization on the quality of container seedlings of *Lagerstroemia indica* [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2016(13): 123-125.
- [12] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 2017
- [13] 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 Y Q, HE P, ZHOU X H, *et al.* Effects of substrate ratio, amount of slow-release fertilizer and container standard on container seedling of *Lithocarpus litseifolius* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2021, 49(6): 46-52.
- [14] 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 X J, LI H Y, AI W F, *et al.* Effects of container size, matrix ratio and slow/controlled release fertilizer on container seedling of *Quercus mongolica* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2020, 48(7): 17-22.
- [15] 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.
ZHOU X H, WU X Y, HE P, *et al.* Effects of three factors on seedling growth and root development of *Phoebe bournei* container [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, 41(3): 45-53.
- [16] 肖纪军, 陈焕伟, 沈斌, 等. 容器规格和基质配比对珍贵用材树种苗木生长的影响[J]. 南方林业科学, 2018, 46(3): 35-37.
XIAO J J, CHEN H W, SHEN B, *et al.* Effect of container size and substrate ratio on the growth of seedlings of precious timber species [J]. *South China Forestry Science*, 2018, 46(3): 35-37.
- [17] 张瑞博, 王庆, 刘国宇, 等. 容器规格、基质配比对菩提树容器苗生长及生理的影响[J]. 经济林研究, 2021, 39(3): 243-250.
ZHANG R B, WANG Q, LIU G Y, *et al.* Effects of container size and matrix ratio on the growth and physiology of container seedlings of *Ficus religiosa* [J]. *Non-wood Forest Research*, 2021, 39(3): 243-250.
- [18] 张帆航, 顾伊阳, 李泽, 等. 不同规格容器对油桐幼苗生长及光合特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(10): 71-75.
ZHANG F H, GU Y Y, LI Z, *et al.* Effects of different size containers on the growth and photosynthetic characteristics of tung tree seedlings [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2019, 39(10): 71-75, 122.
- [19] 窦全琴, 汤文华, 潘平平. 容器类型和规格对薄壳山核桃幼苗生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(3): 1-7.
DOU Q Q, TANG W H, PAN P P. Effect of container types and sizes on seedling growth of *Carya illinoensis* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2020, 48(3): 1-7.
- [20] 尹砾, 田长平, 张序, 等. 不同基质、容器对樱桃苗生长的影响[J]. 烟台果树, 2018(2): 20-21.
YIN L, TIAN C P, ZHANG X, *et al.* Effects of different substrates and containers on the growth of cherry seedlings [J]. *Yantai Fruits*, 2018(2): 20-21.
- [21] 许云鹏. 容器类型和肥料配比对苹果容器苗生长和生理特性的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [22] 贺婷. 容器类型、规格及基质配比对圆齿野鸦椿容器苗质量的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2017.
- [23] WITCHER A L, PICKENS J M, BLYTHE E. Container type and substrate affect root zone temperature and growth of 'green giant' arborvitae [J]. *Horticulturae*, 2020, 6(2): 22.
- [24] 于志民, 刘玮, 邓志平, 等. 不同类型及规格育苗容器对猴樟1年生苗生长的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(12): 2118-2123.
YU Z M, LIU W, DENG Z P, *et al.* Effects of seedling container type and size on growth of *Cinnamomum bodinieri* Levl. annual seedlings [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2016, 47(12): 2118-2123.