

## 大田培育滇牡丹实生苗分级标准及不同种源苗期生长评价研究

普甜<sup>1</sup>, 宋静<sup>2</sup>, 张志华<sup>2</sup>, 陈婉东<sup>1</sup>, 王娟<sup>3\*</sup>

(1. 西南林业大学林学院, 云南昆明 650224; 2. 西南林业大学园林园艺学院, 云南昆明 650224; 3. 西南林业大学绿色发展研究院, 云南昆明 650224)

**摘要** [目的] 开展3年生滇牡丹(*Paeonia delavayi*)实生苗的分级研究, 为人工规模化壮苗培育和确定合理的滇牡丹种苗质量分级标准提供科学依据。[方法] 对滇牡丹5个地理种源3年生的实生苗进行随机取样, 测量苗木的地径、株高、主根长和一级侧根数等7个形态指标, 采用平均值 $\pm 1/2$ 标准差法、逐步聚类法和K-均值聚类法对其进行分级研究。[结果] 主成分分析显示, 滇牡丹实生苗的地径(*D*)和一级侧根数(*B*)2项指标的主成分贡献率分别为63.48%和11.63%, 累计贡献率达75.11%, 因此*D*和*B*可作为3年生滇牡丹种苗等级划分的主要指标, 不同等级的苗木存在显著差异。3种不同聚类方法中, 各级苗木分级范围无显著区别, 3年生滇牡丹实生苗分级指标为: I级苗: $D \geq 7.24$  mm,  $B \geq 6$ ; II级苗: $4.16$  mm  $\leq D < 7.24$  mm,  $3 \leq B < 6$ ; III级苗: $D < 4.16$  mm,  $B < 3$ 。[结论] 不同地理种源间的实生苗生长性状具有显著区别, DNL种源株高生长发育最快; DYP种源地径生长最快; DYP种源苗期质量等级最好, I级和II级苗出圃率最好, 可达70%; DDC种源苗期质量最差, I级和II级苗出圃率仅为35.95%。

**关键词** 滇牡丹; 地理种源; 平均值 $\pm 1/2$ 标准差法; 逐步聚类法; K-均值聚类法; 生长差异

中图分类号 S685.11 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)24-0098-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.24.024



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on the Grading Standards of Seedlings of *Paeonia delavayi* and Seedling Growth Evaluation of Different Provenances

PU Tian<sup>1</sup>, SONG Jing<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-hua<sup>2</sup> et al (1. Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224; 2. College of Landscape and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224)

**Abstract** [Objective] Carry out 3 years of quality evaluation of *Paeonia delavayi* seedlings to provide technical support for the cultivation of strong seedlings and artificial scale development. Principal component analysis method was used to determine the seedling grading index of *Paeonia delavayi*. [Method] The seedlings of 5 geographical provenances of peony in Yunnan were randomly sampled for 3 years, and 7 morphological indicators such as ground diameter, plant height, root length and primary lateral roots of the seedlings were measured, and the ratio and standard of each grade of seedlings were compared and analyzed by means of  $\pm 1/2$  standard deviation method, stepwise clustering method and K-mean clustering method to determine the reasonable quality of peony seedlings classification methods and classification standards. [Result] The contribution rates of the principal components of the ground diameter (*D*) and the number of first-level lateral roots (*B*) 2 traits were 63.48% and 11.63%, respectively, and the cumulative variance contribution rate was 75.11%. *D* and *B* could be used as the main indexes for grading 3-year-old *Paeonia delavayi*. There were significant differences among seedlings of various grades. There was no significant difference in the proportion of seedlings of each grade and the range of grades of *Paeonia delavayi* determined by three different methods. Based on the seedling ratio of each grade, the range of grade values and the actual seedling production process, the quality grading of 3-year-old *Paeonia delavayi* seedlings should adopt the average  $\pm 1/2$  standard deviation method. The grading standard was: Grade I seedlings,  $D \geq 7.24$  mm,  $B \geq 6$ ; Grade II seedling:  $4.16$  mm  $\leq D < 7.24$  mm,  $3 \leq B < 6$ ; Grade III seedling:  $D < 4.16$  mm,  $B < 3$ . [Conclusion] There were obvious differences in the trait performance between different provenances. The DNL provenance grew the fastest in plant height, and the DYP provenance grew the fastest in ground diameter; DYP provenance had the best seedling quality grade, I and II seedlings had the best rate of nursery emergence, up to 70%; DDC provenance had the worst seedling quality of the leaving nursery rate I and II seedlings was only 35.95%.

**Key words** *Paeonia delavayi*; Geographic provenance; Mean  $\pm 1/2$  standard deviation method; Stepwise clustering method; K-means clustering method; Growth difference

芍药科(Paeoniaceae)芍药属(*Paeonia*)牡丹组(Sect. Moutan)植物均产自中国, 是中国特有植物<sup>[1]</sup>, 其中肉质花盘亚组的滇牡丹(*Paeonia delavayi*)是该组植物中分布最南的物种, 分布于西藏东南部、云南中部至北部和四川西部省份, 海拔1 900~4 000 m的稀疏草坡、灌木丛、疏林地或森林环境中<sup>[2]</sup>, 显示其对环境的适应性强, 生态幅较广<sup>[3]</sup>, 具备异地引种的遗传物质基础。牡丹不仅因其美丽而被誉为“花中之王”, 还具有作为大宗药材利用的药用价值和高价值的油料植物资源<sup>[4-6]</sup>, 同时因牡丹耐寒性强可作为温凉气候条件下退耕还林工程林可选择的重要经济物种和绿化造林先锋物

种。然而, 有关牡丹组植物组织培养的研究至今鲜见规模化的苗木生产, 通过种子培育实生苗仍是牡丹规模化种植种苗的来源之一。目前, 实生苗培育也是滇牡丹苗木来源之一, 但滇牡丹规模化育苗及其质量分级研究至今鲜见报道。苗木是植物丰产栽培的基础, 其品质优劣直接关系到栽培的成败<sup>[7-8]</sup>; 同时由于实生苗生长参差不齐, 使栽培及其管理成本投入和不确定性增加, 影响栽培效益。因此, 深入研究苗木质量评价指标是苗木分级的重要基础和依据, 对滇牡丹种苗繁育和丰产栽培具有重要的指导意义和应用价值。

苗木质量是影响栽培效果的主要因素之一, 移植优质的实生苗, 更有利于提高栽培成活率及其植株的正常生长<sup>[9]</sup>。通常情况下, 用于苗木质量分级的技术指标越多, 其分级结果越准确。但在实际生产实践中, 由于苗木质量指标要求不同, 部分指标的测定方法烦琐, 测定工作量巨大, 苗木各性状指标均是反映苗木质量的重要指标, 它们之间往往存在很大的相关性, 其信息往往是重叠的<sup>[10]</sup>。因此, 通过主成分分析

**基金项目** 云南省重大基础专项“生物资源数字化开发应用”(202002-AA10007); 云南省万人计划“云岭产业技术领军人才”专项(云发改[2018]212号); 云南省科技计划-国际合作项目(2015IA005)。

**作者简介** 普甜(1995—), 女, 云南建水人, 硕士, 从事植物多样性保护与利用研究。\*通信作者, 教授, 博士, 从事植物学、生物多样性保护和生态学等研究。

**收稿日期** 2022-07-12

研究选择贡献率最大的指标,作为苗木聚类分级和研究的依据,其结果既能准确划分苗木的级别,又能简化实践工作中苗木的筛选。

查询全国标本馆滇牡丹标本采集记录以及文献报道和近年的野外调查显示,滇牡丹分布于 24°23′~32°56′N、94°11′~104°4′E,但采集记录频次最高,近 70% 的采集记录集中在云南中部昆明地区至滇西北的丽江和迪庆地区。因此,笔者选择分布于滇中地区的东川汤丹、滇西北地区的丽江 2 个种源和迪庆地区的 2 个种源采集种子,进行 5 个种源地种子的实生苗大田育苗研究,旨在为规范化滇牡丹种苗栽培的种源选择及其管理提供参考依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验地概况** 试验地位于云南省曲靖市马龙区小龙井村(103°31′08″E,25°22′21″N),马龙区属低纬高原季风型气候,年平均温度 13.8℃,最热月 5 月平均气温为 23.5℃,最冷月 1 月平均气温为 7.2℃。全年无霜期近年均在 241 d,全年平均日照时数 1 985 h 以上,全年平均降水量为 979.5 mm。

表 1 滇牡丹地理种源地概况

Table 1 Basic information of *Paeonia delavayi* provenances

编号 No.	种源及试验地 Provenance source and test site	种源编号 Provenance number	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	海拔 Altitude m	年均温 Average annual temperature //℃	年降雨量 Annual precipitation mm
1	德钦叶日	DYR	28°24′	99°08′	2 800	6.3	640.0
2	香格里拉普达措	DPD	27°54′	99°54′	3 770	6.3	650.8
3	丽江玉龙雪山	DYL	27°10′	100°09′	3 000	12.9	935.0
4	丽江宁蒍	DNL	27°17′	100°51′	2 280	12.9	920.0
5	东川汤丹	DDC	26°10′	103°03′	3 089	17.8	741.3
6	马龙种源试验地		25°21′	103°31′	2 100	13.8	979.5

注:各地数据来源于中国气象网及中国天气网

Note: The data of various places are from the historical data of China Meteorological Network and China Weather Network

**1.2.3 不同种源苗木取样调查。**2019 年 10 月,将 5 个种源苗木的播种沟进行顺序编号,利用在线随机数分别在 5 个种源中取播种沟的全部苗木(每个播种沟 20~30 株苗木)进行处理,每个种源 3 次重复取样,取样后的苗木按种源不同标记分装带回实验室,测定株高、地径、根粗、侧根数等 7 个指标。

**1.2.4 评价指标确定与分级。**对 3 年生滇牡丹实生苗的地径、株高、分枝数、主根长、主根粗、一级侧根数(侧根长大于 5 cm)、全株鲜重 7 个指标进行统计描述、主成分分析。最后根据逐步聚类法、平均值 $\pm 1/2$ 标准差法和 K-均值聚类分析方法比较分析结果和生产实际,按照最低订级原则制订不同种源滇牡丹种苗的分级标准,同一等级种苗的任意指标若达不到标准则下降一级。

### 1.2.5 苗木分级方法。

(1)平均值 $\pm 1/2$ 标准差法。在计算幼苗种群的均值和标准差时,分别以平均值+1/2 标准差为 I 级苗与 II 级苗的界线,平均值-1/2 标准差为 II 级苗与 III 级苗的界线<sup>[11]</sup>。

(2)逐步聚类法。为了提高观测结果的可比性和统计的精确度,使用 453 株苗的最大值和最小值进行标准化计算。

试验区域土壤类型为黄棕壤,土壤 pH 平均为 6.06,有机质含量为 41.08 g/kg。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 种子采集与催芽。**2016 年 9 月在不同纬度和海拔区域的滇牡丹分布区(表 1),收集不同种源的成熟种子,以种源为单位,对种子进行水洗净种并标记。用 0.3% KMnO<sub>4</sub> 溶液浸种消毒 30 min 和 300 mg/L 赤霉素溶液浸泡 48 h,播种至已消毒的沙床上沙藏催芽 60 d。

**1.2.2 种子播种。**催芽 60 d,待 70% 种子露白后播种至经深挖翻晒起垄的苗床上,苗床宽 100 cm,长度依地形而定,床间步道宽 30 cm。苗床上播种沟间距 30 cm,沟长 100 cm × 宽 20 cm × 深 10 cm,播种沟喷适量多菌灵溶液消毒并加入少许辛硫磷防虫,沟底在播种前施适量腐熟有机肥,将催芽后种子按间隔约 5 cm 均匀播入沟内,覆盖厚 4~6 cm 的细土,轻轻镇压后用松针覆盖并浇透水,播种后保持育苗床湿润,并进行及时除草等常规育苗管理。

使用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 统计分析软件对地径及一级侧根数的标准值进行初始 3 级聚类。首先,统计各级样苗地径和一级侧根数标准化值的平均数,以平均数作为各级苗的凝聚中心,再计算各株苗与各凝聚中心的距离,最后再按照最短距离原则确定种苗所属等级<sup>[12]</sup>。

(3)K-均值聚类法。采用相关性分析和 K 均值聚类分析(K-means cluster)对种苗的地径、株高、主根长、一级侧根数等指标进行统计分析。最后,根据聚类分析结果,并结合生产实践,按照最低分级原则,将不符合标准的同一级的分级指数降至下一级<sup>[13]</sup>。

**1.3 数据处理** 对所有苗木的 7 个生长特征数据进行统计分析,并筛选分级指标,将原始数据进行标准化(Z-score 法)处理后获得最新的数据,然后通过 KMO 检验和 Bartlett 球体检验来检验影响因子分析结果的适用性。应用平均值 $\pm 1/2$ 标准差法和逐步聚类法进行苗木分级,并制订划分准则;主成分分析、逐步聚类分析等方法均采用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 软件完成,采用 Pearson 系数进行相关性分析。

## 2 结果与分析

**2.1 苗木分级指标的确定** 数据分析显示,滇牡丹种苗 7 个

生长发育指标基本符合正态分布, KMO 值等于 0.856, 说明指标间存在相关性。Bartlett 球体检验结果为 2 045.339, 显著性检验为 0.000, 表明各指标相关, 该数据适用主成分分析。

为明确影响反映滇牡丹幼苗质量的主要因素, 主成分分析方法对株高、地径、主根长等 7 个特征的分析结果见表 2。

表 2 滇牡丹苗木不同性状的主成分特征值、贡献率及累计贡献率

Table 2 Principal component characteristic value, contribution rate and cumulative contribution rate of different traits of *Paeonia delavayi* seedlings

指标 Index	地径 Ground diameter mm	一级侧根数 Number of primary side roots//个	主根长 Tap root length//cm	主根粗 Taproot thick mm	分枝数 Number of branches//g	株高 Plant height cm	全株鲜重 Whole plant fresh weight//g
特征值 Eigenvalues	4.44	0.81	0.59	0.45	0.32	0.23	0.15
贡献率 Contribution rate//%	63.48	11.63	8.48	6.41	4.63	3.28	2.09
累计贡献率 Cumulative contribution rate//%	63.48	75.11	83.59	90.00	94.63	97.91	100

## 2.2 苗木分级

2.2.1 平均值 $\pm 1/2$ 标准差法的苗木分级。运用平均值 $\pm 1/2$ 标准差法进行苗木分级, 合格苗(Ⅰ和Ⅱ级苗)的比

例达到 62.03% (表 3), 各等级滇牡丹的地径和一级侧根数均差异显著。

表 3 3年生滇牡丹分级标准与不同苗木等级级别间的生长表现

Table 3 Growth performance between 3a grading standards of *Paeonia delavayi* and different seedling grades

分级方法 Classification method	种苗等级 Seedling grade	分级标准 Grading standards	种苗数 Number of seedlings	占比 Percentage %	地径(D) Ground diameter mm	一级侧根数(B) Number of primary side roots/piece//个
逐步聚类法 Stepwise clustering	Ⅰ	$D \geq 8.72 \text{ mm}, B \geq 8$	58	12.80	11.20 $\pm$ 6.55 a	9.94 $\pm$ 6.50 a
	Ⅱ	$4.66 \text{ mm} \leq D < 8.72 \text{ mm}, 4 \leq B < 8$	199	43.93	6.02 $\pm$ 5.05 b	4.91 $\pm$ 4.00 b
	Ⅲ	$D < 4.66 \text{ mm}, B < 4$	196	43.27	3.34 $\pm$ 2.85 c	1.45 $\pm$ 1.45 c
平均值 $\pm 1/2$ 标准差法 Mean $\pm 1/2$ standard deviation method	Ⅰ	$D \geq 7.24 \text{ mm}, B \geq 6$	76	16.78	10.71 $\pm$ 6.55 a	9.36 $\pm$ 7.00 a
	Ⅱ	$4.16 \text{ mm} \leq D < 7.24 \text{ mm}, 3 \leq B < 6$	205	45.25	5.83 $\pm$ 4.65 b	4.74 $\pm$ 4.00 b
	Ⅲ	$D < 4.16 \text{ mm}, B < 3$	172	37.97	3.27 $\pm$ 2.85 c	1.38 $\pm$ 1.38 c
K-均值聚类法 K-means clustering method	Ⅰ	$D \geq 9.16 \text{ mm}, B \geq 7$	73	16.11	11.43 $\pm$ 6.55 a	10.32 $\pm$ 6.50 a
	Ⅱ	$6.63 \text{ mm} \leq D < 9.16 \text{ mm}, 5 \leq B < 7$	143	31.57	7.42 $\pm$ 4.50 b	6.27 $\pm$ 4.00 b
	Ⅲ	$D < 6.63 \text{ mm}, B < 5$	237	52.32	4.18 $\pm$ 4.10 c	2.60 $\pm$ 2.60 c

注: 同列不同小写字母表示不同分级方法各种苗等级生长性状间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in growth traits among different seedling grades in different grading methods

2.2.2 逐步聚类法的苗木分级。经多次聚类 and 修正后, 苗木的分类结构基本维持不变, 可以得到各级苗的聚集中心依次为 (0.583, 0.614)、(0.301, 0.299)、(0.144, 0.094), 以样苗地径和一级侧根数标准方差之和的平方根为半径, 在 Excel 软件中根据最终凝聚中心, 按照半径的计算公式, 计算出Ⅰ级苗和Ⅱ级苗的临界值, 即可得到滇牡丹 3 年生苗木生长分级标准。合格苗(Ⅰ和Ⅱ级苗)比例达到 56.73%, 且各等级苗木的生长性状间差异显著(表 3)。

2.2.3 K-均值聚类法的苗木分级。通过主成分分析, 苗木地径、一级侧根数、主根长、主根粗、分枝数、株高以及全株鲜重的主要质量指标性状中, 前 2 个特征的累计贡献率达到 75.11%, 而主成分相应的累计贡献越高, 苗木质量指标信息量越大, 因此, 选择地径、一级侧根数作为滇牡丹 K-均值聚类种苗分级的主要指标, 并利用 SPSS 25.0 软件对滇牡丹苗木的各项参数聚为 3 类。结果表明, Ⅰ级种苗质量最好, 共涉及 453 个样品, 其中Ⅰ、Ⅱ等级的种苗数占总数的 47.68%。分级标准的建立必须遵循最低级原则, 即任何一项不符合规

定标准, 均不能定位为相应等级的种苗, 即降为下一级。

2.2.4 苗木分级标准确定。采用平均值 $\pm 1/2$ 标准差法与逐步聚类法对种苗分别进行等级划分, 得到的等级标准相近, 结合实际生产情况中平均值 $\pm 1/2$ 标准差法更易于运用, 故确定滇牡丹 3 年生苗木的等级划分标准为平均值 $\pm 1/2$ 标准差法, 其分级标准为: Ⅰ级苗,  $D \geq 7.24 \text{ mm}, B \geq 6$ ; Ⅱ级苗:  $4.16 \text{ mm} \leq D < 7.24 \text{ mm}, 3 \leq B < 6$ ; Ⅲ级苗:  $D < 4.16 \text{ mm}, B < 3$ 。Ⅰ级苗的平均地径 10.71 mm, 一级侧根数 9.36 个; Ⅱ级苗的平均地径 5.83 mm, 一级侧根数 4.74 个; Ⅲ级苗的平均地径 3.27 mm, 一级侧根数 1.38 个。

## 2.3 滇牡丹不同种源评价

2.3.1 不同种源苗木株高生长的差异。由表 4 可知, 滇牡丹不同种源 3 年生株高的变异系数为 72.86%, 种源遗传力为 0.84, 说明遗传对株高生长有较大的控制作用。总平均株高为 10.66 cm, 最高的 DNL 种源, 株高达到 13.26 cm, 为总平均值的 124.39%, 最矮种源为 DDC 种源, 仅 8.24 cm, 仅达到均值的 77.30%。方差分析  $F$  值显示出种源间株高差异显著。

表 4 不同种源 3 年生滇牡丹苗木生长差异

Table 4 Differences in growth of 3 a seedlings from different geographic provenances of *Paeonia delavayi*

种源 Provenance	株高 Plant height		地径 Ground path		分枝数 Number of branches		全株鲜重 Whole plant fresh weight		主根长 Tap root length		一级侧根数 Number of first- order lateral roots		主根粗 Taproot thick	
	均值 Mean cm	占均 值比 Ratio to the mean//%	均值 Mean mm	占均 值比 Ratio to the mean//%	均值 Mean 个	占均 值比 Ratio to the mean//%	均值 Mean g	占均 值比 Ratio to the mean//%	均值 Mean cm	占均 值比 Ratio to the mean//%	均值 Mean 个	占均 值比 Ratio to the mean//%	均值 Mean mm	占均 值比 Ratio to the mean//%
DDC	8.24	77.30	5.50	101.48	2.29	67.95	26.36	71.20	17.79	83.40	3.17	83.20	14.55	113.14
DNL	13.26	124.39	5.35	98.71	4.55	135.01	37.46	101.19	26.09	122.32	3.55	93.18	13.71	106.61
DPD	11.27	105.72	4.95	91.33	2.87	85.16	34.17	92.30	19.77	92.68	3.46	90.81	11.77	91.52
DYL	11.29	105.91	3.94	72.69	2.51	74.48	36.86	99.57	18.27	85.65	3.52	92.39	9.36	72.78
DYR	9.26	86.87	7.37	135.98	4.64	137.68	50.27	135.79	24.73	115.94	5.33	139.90	14.91	115.94
总均值 Total mean	10.66		5.42		3.37		37.02		21.33		3.81		12.86	
变异系数 Coefficient of variation//%	72.86		53.36		62.36		138.57		47.88		86.99		35.48	
种源遗传力 Provenance heritability	0.84		0.93		0.75		0.93		0.81		0.87		0.87	
F 值 F value	6.09		14.60		4.00		16.63		5.24		8.52		7.70	

**2.3.2 不同种源苗地径生长的差异。**由表 4 可知,滇牡丹不同种源 3 年生苗地径的变异系数为 53.36%,种源遗传力为 0.93,说明地径的生长差异极大部分是由遗传因素决定的。地径生长的总平均值为 5.42 mm,其中最优的种源是 DYR,为 7.37 mm,达到总平均值的 135.98%;其次依次为 DDC、DNL 种源,均值分别为 5.50 和 5.35 mm,生长最差的种源为 DYL,仅 3.94 mm,仅为均值的 72.69%。方差分析 *F* 值也反映种源间地径差异显著。

**2.3.3 不同种源苗分枝数的差异。**由表 4 可知,滇牡丹不同种源 3 年生苗分枝数变异系数为 62.36%,种源遗传力为 0.75,相比较其他性状,受遗传因素的影响程度较低。总平均分枝数为 3.37 个,分枝数最多的也是 DYR 种源,达到 4.64 个,占平均值的 137.68%,其次为 DNL 种源为 4.55 个,分枝数最少的种源为 DDC,为 2.29 个,占均值的 67.95%,仅为 DYR 种源的 50%左右。方差分析 *F* 值也反映种源间分枝数差异显著。

**2.3.4 不同种源苗木鲜重的差异。**由表 4 可知,滇牡丹不同种源 3 年生苗全株鲜重变异系数为 138.57%,种源遗传力为 0.93,说明苗木鲜重及其干物质量的积累差异极大部分也是由遗传因素决定的。总平均全株鲜重为 37.02 g,最重的种源是 DYR,达到 50.27 g,占总平均值的 135.79%;其次依次为 DNL 和 DYL 种源,分别为 37.46 和 36.86 g;最轻的种源为 DDC,为 26.36 g,仅为均值的 71.20%。方差分析 *F* 值反映种源间全株鲜重差异显著。

**2.3.5 不同种源苗木主根长、主根粗的差异。**由表 4 可知,滇牡丹不同种源 3 年生苗主根长和主根粗的变异系数分别为 47.88%和 35.48%,种源遗传力分别为 0.81 和 0.87,说明遗传对滇牡丹的根系生长有较大的控制作用。5 个种源中以 DNL 主根长最长,达 26.09 cm,为均值的 122.32%;其次为 DYR 种源,为 24.73 cm;主根最短的为 DDC 种源,为

17.79 cm,仅均值的 83.40%。5 个种源的总平均主根粗为 12.86 mm,最粗的为 DYR 种源,达到 14.91 mm,其次依次为 DDC、DNL、DPD 种源,最小种源为 DYL,仅 9.36 mm,为均值的 72.78%。经方差分析 *F* 值得出种源间主根长、主根粗差异显著。

**2.3.6 不同种源苗木一级侧根数的差异。**由表 4 可知,滇牡丹不同种源 3 年生苗一级侧根数变异系数为 86.99%,种源遗传力为 0.87,说明苗木一级侧根数也与遗传因素有关。总平均一级侧根数为 3.81 个,一级侧根数最多种源是 DYR,达到 5.33 个,占总平均值的 139.90%;其次依次为 DNL、DYL 种源;最少的种源为 DDC,仅 3.17 个,为均值的 83.20%。方差分析 *F* 值反映了各种源间一级侧根数差异显著。

**2.3.7 不同种源苗木质量分级结果所占比例。**依据平均值±1/2 标准差法,3 年生滇牡丹苗木分级标准为:Ⅰ级苗, $D \geq 7.24$  mm, $B \geq 6$ ;Ⅱ级苗, $4.16$  mm  $\leq D < 7.24$  mm, $3 \leq B < 6$ ;Ⅲ级苗, $D < 4.16$  mm, $B < 3$ 。依此对不同种源的苗木分级得出(表 5),DDC 种源Ⅰ级苗占总种苗 6.67%,DNL 种源Ⅰ级苗占总种苗 11.11%,DPD 种源Ⅰ级苗占总种苗 8.89%,DYL 种源Ⅰ级苗占总种苗 8.97%,DYR 种源Ⅰ级苗占总种苗 26.67%;DDC 种源Ⅱ级苗占总种苗 29.28%,DNL 种源Ⅱ级苗占总种苗 32.22%,DPD 种源Ⅱ级苗占总种苗 35.56%,DYL 种源Ⅱ级苗占总种苗 33.34%,DYR 种源Ⅱ级苗占总种苗 43.33%,其中Ⅰ、Ⅱ级为合格苗,可用于生产,由此可以看出Ⅰ级苗占比 DYR>DNL>DYL>DPD>DDC,DYR 和 DNL 种源 3 年生Ⅰ级苗占比较大,在马龙地区生长趋势最好,这与苗木生长性状差异比较结果一致。

### 3 讨论与结论

苗木质量的优劣一般以综合控制要求和形态指标判定,不符合综合控制要求的为不合格苗木,符合一定要求者则以形态指数来划分,无明显的病虫害和检疫对象,种苗外形整

齐均匀,苗干新鲜充实,顶芽饱满强壮,植株根系完整且发育完善,苗体基本无损伤<sup>[14]</sup>。在实际生产中,难以对每株苗木的诸多指标进行全面的测定(尤其是与根系有关技术指标)。由于生长特征之间的相关性,几个主要指标的信息常常是相互交叉的,可以考虑分析2~3个主要指标<sup>[15]</sup>。在制订苗木质量标准时,应考虑选择直接反映苗木质量且易于测量的特性,并将其作为生产苗木质量指标<sup>[16]</sup>。该研究通过主成分分析并结合实际生产,确定地径、一级侧根数作为3年生滇牡丹栽培和苗木质量分级的重要指标。

表5 不同种源3年生种源所占苗木质量分级比例

Table 5 3a seedlings of different provenances accounted for seedling quality classification ratio

种源 Provenance	种苗等级所占比例 Proportion of seedling grade//%		
	I级 Level I	II级 Level II	III级 Level III
DDC	6.67	29.28	64.05
DNL	11.11	32.22	56.67
DPD	8.89	35.56	55.55
DYL	8.97	33.34	57.69
DYR	26.67	43.33	30.00

当前,苗木质量分级研究方法主要有平均值 $\pm 1/2$ 标准差法和逐步聚类法等,但不同分级方法分级效果不同<sup>[17]</sup>。造林效应适应性试验可以更好地将苗木分级与造林生产联系起来,使得分级标准更加明确和科学<sup>[18]</sup>。该试验所用的分级标准,其分级效果差异不大,平均值 $\pm 1/2$ 标准差法分级的合格苗(I和II级苗)所占比例略高于逐步聚类法,前者不合格苗(III级苗)占比为37.97%,而后者不合格苗占比则是43.27%<sup>[18]</sup>,因此关于3年生滇牡丹实生苗培育仍有待于进一步加强。此外,平均值 $\pm 1/2$ 标准差法的数值统计分析方法较为简便,易于在生产中使用。

不同种源植株在生长发育过程中存在特定差异性,这可能与植物特殊的遗传特性有关,同时,它们长期受同一地区特定的地理条件和气候因素的影响,特别是纬度、温度和降雨等<sup>[19]</sup>,进而影响了植物的生长发育<sup>[20]</sup>。苗木的生长趋势随着苗龄的增加而增加,但由于土壤特性和种子性状的变化,对植物早期生长发育的影响效果也不相同<sup>[21]</sup>。因繁育滇牡丹的种子采自不同区域,即使在相同的外部环境条件下,其材料在形态构成过程中仍存在着较大的表型差异;在相同的环境条件下,2年生滇牡丹实生苗的表型变异仍以不同地理种群间的变异为主,但群体间表型变异的分化不是很明显<sup>[22-23]</sup>,这一结果与该研究3年生滇牡丹生长性状生长是一致的。

根据地径、一级侧根数的特征,采用平均值 $\pm 1/2$ 标准差法对3年生滇牡丹苗木进行等级划分,其分级标准为:I级苗, $D \geq 7.24$  mm,  $B \geq 6$ ; II级苗, $4.16$  mm  $\leq D < 7.24$  mm,  $3 \leq B < 6$ ; III级苗, $D < 4.16$  mm,  $B < 3$ 。如果地径、一级侧根数2个指标中有1个低于一级标准,则等级将降低1级。在滇牡丹种苗生产不仅要按苗地径、一级侧根数进行分级,还应选择种苗壮实、无病虫害、根系发达、树形端正的苗木。此外,还应充

分考虑立地环境及育苗技术的区域差异,因根据苗木的具体条件和繁殖条件对苗木等级进行划分,上述等级划分的标准仅为各地进行3年生滇牡丹苗木栽培管理提供参考。

DYR种源和DNL种源在地径生长和鲜重的积累上有明显优势,株高、主根长和根粗、一级侧根数等性状指标上也处于较优水平,属于苗木质量最优的2个种源;株高、主根长和根粗、一级侧根数的种源遗传力均大于0.80,说明这4个性状受遗传控制的程度也较高,遗传因素是其性状表现的主导因素。通过对5个滇牡丹种源在相同立地条件下育苗的3年苗木早期生长情况进行初步评价,可知3年生滇牡丹实生苗分级结果与不同种源滇牡丹苗期生长性状变异研究结果一致。

## 参考文献

- [1] 潘开玉.芍药科分布格局及其形成的分析[J].植物分类学报,1995,33(4):340-349.
- [2] ZHAO Y J, YIN G S, PAN Y Z, et al. Climatic refugia and geographical isolation contribute to the speciation and genetic divergence in Himalayan-Hengduan tree peonies (*Paeonia delavayi* and *Paeonia ludlowii*) [J]. Frontiers in genetics, 2021, 11: 1-12.
- [3] 龚洵, 潘跃芝, 杨志云. 滇牡丹的多样性和现状评估[J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 218-223.
- [4] 周琳, 王雁. 我国油用牡丹开发利用现状及产业化发展对策[J]. 世界林业研究, 2014, 27(1): 68-71.
- [5] 肖丰坤, 施蕊, 耿菲菲, 等. 滇牡丹籽油的超临界CO<sub>2</sub>萃取工艺优化及其脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2015, 40(6): 12-14.
- [6] 龙正莉, 杨立新, 杨蓉, 等. 牡丹组植物的药用民族植物学研究及考证[J]. 广西植物, 2021, 41(2): 308-317.
- [7] 刘勇. 我国苗木培育理论与技术进展[J]. 世界林业研究, 2000, 13(5): 43-49.
- [8] 侯元兆. 现代林业育苗的理念与技术[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 24-29.
- [9] 姚文静, 王茹, 王星, 等. 3个竹种实生竹苗质量评价研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(5): 116-121, 150.
- [10] 余远焜. 苗木分级指标的提取及聚类分级法[J]. 热带林业科技, 1984(3): 16-26.
- [11] 赵云青, 陈菁琪, 黄瑞平, 等. 金线兰种苗质量分级标准研究[J]. 福建农业学报, 2017, 32(11): 1239-1243.
- [12] 楚秀丽, 吴利荣, 汪和木, 等. 马尾松和木荷不同类型苗木造林后幼林生长建成差异[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(6): 25-29.
- [13] 李梦焱, 袁王俊, 王书辉, 等. 连翘种苗质量标准研究[J]. 河南农业科学, 2019, 48(3): 55-60.
- [14] 陈文普, 刘正俭, 程乾斗. 安康市油用牡丹标准化栽培技术[J]. 陕西农业科学, 2017, 63(11): 101-103.
- [15] 潘超美, 黄崇才, 郑芳昊, 等. 药用植物土沉香种苗分级标准的研究[J]. 广州中医药大学学报, 2012, 29(2): 180-184.
- [16] 杨斌, 周凤林, 史富强, 等. 铁力木苗木分级研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(1): 85-89.
- [17] 黎明, 黄柏华, 韦叶桥, 等. 降香黄檀轻基质容器苗分级标准研究[J]. 南方农业学报, 2016, 47(12): 2103-2107.
- [18] 罗明道, 洪舟, 李科, 等. 交趾黄檀1年生容器苗分级标准研究[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(2): 76-82.
- [19] 赵建华, 叶力勤, 安巍, 等. 宁夏枸杞苗木分级及不同质量苗木定植初期生长特征[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(3): 450-454.
- [20] 夏善智. 不同种源水曲柳苗木生长的差异分析[J]. 中国林副特产, 2019(1): 11-13.
- [21] 肖桂英, 常恩福, 孟广涛, 等. 铁桦栎不同家系苗期生长差异及其早期选择[J]. 西部林业科学, 2020, 49(4): 105-110, 117.
- [22] 苏泽春, 薛润光, 和桂青, 等. 滇牡丹不同采种区种苗质量评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(2): 389-394.
- [23] 苏泽春, 李兆光, 薛润光, 等. 同质环境条件下滇牡丹表型变异研究初报[J]. 中国农学通报, 2020, 36(4): 61-66.