

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.02.006

袁姜莲, 李炎, 罗义维, 等. 不同桑树品种扦插生长情况及其生根能力评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(2): 61-69.

不同桑树品种扦插生长情况及其生根能力评价

袁姜莲, 李炎, 罗义维, 轩亚辉, 何宁佳

资源昆虫高效养殖与利用全国重点实验室/西南大学, 重庆 400715

摘要: 以 10 个桑树品种为研究对象, 分析了 ABT-1、IBA 和 IAA 对桑树扦插的影响, 并通过排队评分法和公式评分法对不同桑树品种扦插生根能力进行综合评价, 结合聚类分析, 以期筛选出易生根的优良品种, 为实现桑树规模化扦插育苗提供理论参考。结果表明: 整体上, 不同激素处理提高了 10 个桑树品种的扦插成活率、新梢及根系指标, 各指标在品种间、激素种类间及其互作间存在着显著或极显著差异。在不同激素处理下, 新剑持的平均成活率和平均根数都最大, 分别为 78.00% 和 9.35 根; 足 83122 的平均新梢长、平均新梢质量和平均根直径都最大, 分别为 54.08 cm、31.35 g 和 1.47 mm; 保坎的平均根质量最大, 为 17.36 g; 双头荷叶白的平均根总长最大, 为 2 385.46 cm。相关分析表明: 成活率与根数呈显著正相关; 新梢性状与根系性状总体呈极显著正相关关系。10 个品种综合得分从高到低排序为: 足 83122、新剑持、双头荷叶白、伊达寿木桑、保坎、60178、沱桑、火桑、山西甜桑、葵桑。聚类分析将 10 个品种聚为易生根型、较易生根型和难生根型 3 类。足 83122 和新剑持在不同激素处理下平均成活率较高, 且各扦插生长指标均表现良好, 可作为桑树规模化扦插育苗的优选品种。

关键词: 桑树; 扦插; 生根能力; 排队评分法; 公式评分法;

聚类分析; 综合评价

中图分类号: S663.9; S888.3

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2025)02-0061-09

Evaluation of Cutting Growth and Rooting Potentials of Different Mulberry Varieties

YUAN Jianglian, LI Yan, LUO Yiwei,

XUAN Yahui, HE Ningjia

State Key Laboratory of Resource Insects/Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: This study investigated the effects of ABT-1, IBA, and IAA hormone treatments on the propagation of ten mulberry varieties by cutting. Seven cutting indexes of every variety were comprehensive

收稿日期: 2024-05-10

基金项目: 国家自然科学基金—青年基金项目(32001328)。

作者简介: 袁姜莲, 硕士, 实验师, 主要从事桑树扦插生根机理研究。

通信作者: 何宁佳, 教授, 博士研究生导师。

evaluated using queuing scoring and formula scoring, in combined with cluster analysis to identify superior mulberry varieties with enhanced rooting capability, and provide theoretical guidance for large-scale propagation of cutting seedlings of mulberry. The results indicated that the application of various hormones improved the survival rate, new shoot index, and root index across the ten mulberry varieties. Significant differences in the survival rates were observed among different varieties, while new shoot index and root index were significantly or extremely significantly influenced by variety, hormone type and their interaction. Under different hormone treatments, Xinjianchi exhibited the highest mean survival rate (78.00%) and root number (9.35 roots), Zu8312 exhibited the highest mean value of new shoot length (54.08 cm), new shoot weight (31.35 g) and root diameter (1.47 mm), Baokan had the highest root weight (17.36 g) and Shuangtouheyebai had the highest mean total root length (2 385.46 cm). Correlation analysis revealed a significant positive correlation between survival rate and root number. Furthermore, an extremely significant positive correlation was observed between new shoot index and root index. A comprehensive evaluation using queuing scoring and formula scoring methods ranked the ten mulberry varieties by rooting ability as follows: Zu83122, Xinjianchi, Shuangtouheyebai, Yidashoumusang, Baokan, 60178, Tuosang, Huosang, Shanxitiansang, Kuisang. Cluster analysis categorized these varieties into three groups: easy-to-root, relatively easy-to-root, and difficult-to-root. In conclusion, Zu81322 and Xinjianchi are recommended as preferred varieties for large-scale cutting seedling propagation due to their high average survival rates, and overall strong performance across various cutting growth indexes.

Key words: mulberry; cutting propagation; rooting capability; queuing scoring method; formula scoring method; cluster analysis; comprehensive evaluation

桑树(*Morus alba* L.)是一种重要的生态经济型林木,除“栽桑养蚕”外,还具有改善空气质量、保水固土防沙等生态功能,其叶、果、茎、根、皮均可利用,在食品、药品、化妆品和保健品等领域具有广阔的多元化开发利用前景^[1-5]。在林木无性繁殖领域,扦插因其操作简便、推广便捷而备受青睐。该方法具有保持母本的优良特性、成本低廉、育苗周期短、种苗一致性好且长势强等优点,非常适合于规模化育苗,可作为推进桑产业多元化可持续发展的一条有效途径^[6]。

早在 19 世纪 40 年代,日本学者已经初步探索了植物扦插繁育技术,并在 50 年代中期成功实现桑树绿枝扦插生根。我国从 20 世纪 50 年代末开始进行桑树扦插的工作,通过施加外源激素、调控扦插环境及基质配比、全光照间歇喷雾等多种方法,使桑树扦插繁殖技术不断得到提升与完善^[7-9]。然而,桑树属难生根树种,不同品种间的生根能力存在显著差异,成为制约其扦插规模化生产的关键因素。目前,关于桑树扦插的研究,大多数集中在外源激素(种类、浓度配比及浸泡时间等)对其扦插效果及生理生化物质含量的影响等方面,关于不同桑树品种扦插生根能力综合评价的研究较少^[10-13]。研究表明,植物扦插生根能力与非生物胁迫耐性密切相关,扦插生根能力强的品种通常具有较高的非生物胁迫耐性^[14-15]。因此,探究不同桑树品种的扦插生根能力,筛选出生根能力和抗逆性较强的优良品种,对于提高桑树扦插育苗的质量和效率、推动桑产业实现规模化扦插育苗具有重要意义。

扦插成活率是扦插生根能力的主要参考指标。在实践中扦插苗的质量直接关系到移栽后续培育的成败。因此,评价桑树生根能力,需综合考虑扦插成活率、新梢指标及根系指标^[16]。在前人的研究中,尽管筛选出了部分扦插生根能力强的桑树品种,如育 711^[17]、鲁插 1 号^[18]、涸盛 2 号^[19]等,但评价方法主要局限于扦插成活率指标的直观比较,缺乏对扦插成活率、新梢和根系相关性状等多个指标的综合评价。排队评分法和公式评分法等方法能够将扦插成活率、新梢性状及根系性状等多项指标转化为同度量值进行综合评分,从而更准确地反映不同品种扦插生根能力的差异,确保评价的客观性和全面性,在油茶^[20]、百香

果^[21]、榛子^[22]等植物扦插效果综合评价中已有应用。

本研究以 10 个桑树品种半木质化插穗为材料, 采用 ABT-1、IBA 和 IAA 处理进行扦插试验, 探讨不同激素种类对桑树扦插生长情况的影响; 并运用排队评分法和公式评分法, 对 10 个桑树品种在不同激素处理的扦插成活率、新梢及根系指标的平均值进行综合分析, 结合聚类分析, 以期筛选出生根能力强的桑树品种, 为桑树扦插规模化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以新剑持、60178、沱桑、伊达寿木桑、火桑、足 83122、葵桑、山西甜桑、保坎 61 号、双头荷叶白等 10 个品种的当年生半木质化枝条为扦插材料, 将枝条剪成 15 cm 左右(留 3~4 个芽)的插穗, 插穗上剪口离芽 1 cm 平剪, 下剪口离芽 1 cm 剪成平滑的马蹄形, 插穗顶端留 1 片剪去 $\frac{2}{3}$ 面积的叶片。所有扦插材料均采自西南大学国家桑树品种改良中心重庆分中心资源圃。

1.2 试验设计

于 2022 年 7 月底至 2023 年 12 月底在西南大学国家桑树品种改良中心重庆分中心苗木繁殖大棚进行扦插试验。选用 ABT 生根粉 1 号(ABT-1)、3-吡啶丁酸(IBA)和吡啶乙酸(IAA)3 种外源激素, 设置 1 000 mg/L 浓度, 以清水作为对照。以蘸浸方式进行快速扦插(浸泡 10 s)。试验共 4 个处理, 每个处理 100 个插穗。利用自动雾化降温系统, 保持棚内温度 28~35 ℃, 遮光率和相对空气湿度都在 80%左右。于扦插 150 d 后, 统计各处理条件下 10 个桑树品种的扦插成活率, 并在各处理条件下选取 5 株长势一致的扦插苗, 测定其新梢质量、新梢长、根质量和生根数, 并采用托普云农 GXY-A 根系分析仪测定根总长度和根直径。

1.3 数据分析

本试验以供试品种各扦插指标在不同激素处理下的平均值为依据, 首先采用排队评分法对各单项指标进行标准化处理, 消除不同指标数值的纲量级差异, 每项最高值定为 10, 最低值定为 1, 各品种单项指标评分值按其与该指标最高值的差异比例计算。计算公式如下:

$$\frac{10 - Y}{10 - 1} = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{1}$$

式中: Y 为各品种单项指标的排队评分值, X 表示各品种单项指标的测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为各品种单项指标的最大值和最小值。再利用公式评分法将各品种所有指标排队评分值乘以权重系数, 相加后即得品种综合评分。权重系数由实践中各项指标的重要程度确定^[20], 扦插成活率的权重设为 3; 平均根数的权重设为 2; 根质量、根总长、根直径、根尖数权重设为 1, 新梢质量和新梢长权重设为 $\frac{1}{2}$ 。

$$\text{综合评分} = 3 \times \text{成活率} + 2 \times \text{根数} + 1 \times (\text{根质量} + \text{根总长} + \text{根直径} + \text{根尖数}) + \frac{1}{2} \times (\text{新梢质量} + \text{新梢长}) \tag{2}$$

利用 Excel 2019 进行数据统计, 并用 SPSSAU 数据科学分析平台(<https://spssau.com/index.html>)进行方差分析和 Duncan 多重比较; 采用 origin 2021 进行相关分析及作图。

2 结果与分析

2.1 不同桑树品种的扦插成活率

由表 1 可知, 扦插成活率在不同品种间具有极显著差异。与对照组相比, ABT-1 和 IAA 处理明显提高了 10 个桑树品种的扦插成活率; 在 IBA 处理下, 除葵桑、山西甜桑未有插穗成活, 其他 8 个桑树品种的扦插成活率均有明显提高。在不同激素处理下, 新剑持的平均扦插成活率最高(78.00%), 其次是足 83122

(66.75%),两个品种分别在 IBA 和 ABT-1 处理下扦插成活率最高,分别为 87.00%和 83.00%;60178、伊达寿木桑、沱桑和双头荷叶白的平均扦插成活率较高,分别为 58.75%、57.50%、51.50%和 48.25%,其中 60178 和沱桑扦插成活率在 IBA 处理下最高,分别达到 78.00%和 68.00%,伊达寿木桑和双头荷叶白的扦插成活率在 IAA 和 ABT-1 处理下最高,分别为 72.00%和 69.00%。10 个品种中有 5 个品种的平均扦插成活率较低,未达 50.00%。

表 1 不同激素处理下 10 个桑树品种的扦插成活率 %

处理	新剑持	60178	沱桑	伊达寿木桑	火桑	足 83122	葵桑	山西甜桑	保坎	双头荷叶白	F 值
ABT-1	82.00	65.00	49.00	63.00	41.00	83.00	17.00	33.00	37.00	69.00	9.42 * *
IAA	76.00	58.00	51.00	72.00	38.00	68.00	15.00	16.00	36.00	46.00	
IBA	87.00	78.00	68.00	52.00	34.00	65.00	—	—	49.00	57.00	
CK	67.00	34.00	38.00	43.00	8.00	51.00	11.00	13.00	10.00	21.00	
平均值	78.00±11.30a	58.75±18.46ab	51.5±12.40bc	57.5±12.66ab	30.25±15.11cd	66.75±13.12ab	10.75±7.59d	15.50±13.58d	33.00±16.43cd	48.25±20.45bc	

注: * * 表示差异达极显著水平($p<0.01$);同行不同小写字母表示不同品种间平均值有显著差异($p<0.05$)。下表同。

2.2 不同桑树品种的扦插新梢指标

由表 2 可知,与对照组相比,不同激素处理对大部分桑树品种的新梢长和新梢质量都有明显的促进作用。2 个新梢指标在不同品种间、不同激素种类间及其两者互作间均有极显著差异,各因素对 2 个新梢性状影响程度依次为品种、激素种类、品种和激素种类互作。

在不同激素处理下,10 个桑树品种的新梢长变化范围为 4.80~87.20 cm,其中:足 83122 的平均新梢长最高,其次是双头荷叶白,分别为 54.08 cm 和 46.25 cm,2 个品种的平均新梢长较其余品种都有极显著性差异。保坎、伊达寿木桑和火桑的平均新梢长也较高,分别为 41.23 cm、39.06 cm 和 35.40 cm,以上 3 个品种较足 83122 和双头荷叶白有极显著降低,但较其他品种都有极显著性提高;山西甜桑和葵桑的平均新梢长比其它品种低,分别为 19.00 cm、13.26 cm,2 个品种均与其他品种有极显著性差异。

在不同激素处理下,10 个桑树品种新梢质量范围为 0.21~72.84 g,其中:足 83122 的平均新梢质量最高,其次是保坎、双头荷叶白,3 个品种的平均新梢质量分别为 37.35 g、16.98 g 和 16.38 g,较其余品种有极显著性差异;平均新梢质量最低的 3 个品种包括山西甜桑(4.63 g)、60718(4.11 g)和葵桑(2.64 g),它们仅与新剑持无显著性差异,但较其他品种有极显著差异。

表 2 不同激素处理下各桑树品种新梢指标及其均值多重比较分析

指标	处理	新剑持	60178	沱桑	伊达	火桑	足 83122	葵桑	山西甜桑	保坎	双头	F 值		
					寿木桑						荷叶白	品种	激素	品种×激素
新梢长/cm	ABT-1	22.60±2.61b	23.20±3.35b	29.40±5.59ab	51.00±6.67a	40.40±6.73b	87.20±5.12a	26.94±6.23a	28.10±5.30b	49.60±3.21a	44.20±3.70b	109.87 * *	76.41 * *	26.89 * *
	IAA	27.30±8.17b	23.40±6.35b	30.30±7.69ab	30.84±2.57c	35.40±4.34b	40.60±2.51c	21.30±5.56a	33.00±4.00a	43.2±6.10b	46.40±6.62ab			
	IBA	40.80±4.49a	45.50±10.40a	38.06±9.58a	33.80±9.28bc	48.80±8.58a	42.60±5.98b	—	—	51.30±2.86a	42.60±5.98a			
	CK	29.80±4.88b	19.20±4.92b	22.20±2.68b	40.60±6.62b	17.00±3.87c	28.68±4.18d	4.80±1.68b	14.90±2.30c	20.80±4.71c	51.80±4.09a			
	平均值	30.13±8.47e	27.43±11.21e	30.34±7.58e	39.06±10.07c	35.40±13.23d	54.08±23.31a	13.26±12.11g	19.00±13.53f	41.23±13.13c	46.25±5.99b			
新梢质量/g	ABT-1	3.25±1.18b	3.46±0.79b	7.30±2.04bc	12.55±2.44a	14.00±2.68b	72.84±5.22b	7.69±2.50a	6.43±1.30b	32.47±5.75b	17.15±4.44a	154.42 * *	98.08 * *	21.21 * *
	IAA	4.60±0.84b	3.39±1.51b	7.91±2.60b	5.56±1.84b	12.61±3.94b	21.31±6.42c	2.65±0.94b	9.88±1.97a	11.85±3.97c	16.39±4.43a			
	IBA	8.99±1.24a	8.03±1.71a	12.07±2.12a	5.84±2.60b	5.84±2.60b	43.45±4.87d	—	—	19.37±4.62d	16.74±4.40a			
	CK	3.25±1.18b	1.55±0.55c	4.79±1.16c	6.19±1.58b	5.56±1.844b	11.82±4.41a	0.21±0.21c	2.23±0.71c	4.22±1.31a	15.27±4.03a			
	平均值	5.22±2.52e	4.11±2.70ef	8.02±3.28d	7.54±3.58d	12.82±8.05c	37.35±24.58a	2.64±3.41f	4.63±4.03ef	16.98±11.39b	16.38±4.03b			

2.3 不同桑树品种的扦插根系指标

由表 3 可知, 与对照组相比, 不同激素处理对根数、根质量、根总长和根直径都有一定的促进作用。4 个根系指标在不同品种间、不同激素种类间及其两者互作间均有显著或极显著差异, 各因素影响程度依次为品种、激素种类、品种和激素种类互作。

表 3 不同激素处理下各桑树品种根系指标及其平均值多重比较分析

指标	处理	新剑持	60718	沱桑	伊达 寿木桑	火桑	足 83122	葵桑	山西甜桑	保坎	双头 荷叶白	F 值		
												品种	激素	品种×激素
根数/根	ABT-1	13.60±1.95a	4.40±1.14a	3.60±1.52a	9.20±2.39a	3.20±1.30a	4.20±1.48a	3.00±1.00ab	2.20±1.10a	4.80±1.79a	5.40±2.41a	55.15	*	*
	IAA	10.60±1.70b	3.80±0.84ab	4.40±1.15a	8.60±2.07a	3.20±0.84a	4.20±1.30a	3.80±1.48a	2.60±0.55a	3.40±0.55ab	1.60±0.89b	32.50	*	*
	IBA	8.20±1.30c	3.00±0.71b	3.80±1.30a	2.00±0.71b	4.60±1.67a	4.20±1.92a	—	—	3.60±1.14ab	6.60±2.88a			
	CK	5.00±1.41d	1.80±0.84c	2.80±1.10a	3.60±0.55b	3.00±1.22a	4.40±1.67a	2.00±1.41b	1.20±0.45b	2.80±0.84b	4.80±1.30a			
	平均值	9.35±3.5a	3.25±1.29de	3.65±1.31cd	5.85±3.53b	3.50±1.36cd	4.25±1.48c	2.20±1.79fg	1.50±1.19g	3.65±1.31cd	2.60±1.57ef			
根质量/g	ABT-1	2.07±0.99b	3.42±1.46b	4.51±1.64ab	12.96±2.04a	8.33±3.50a	27.25±4.18a	5.84±2.21a	14.27±3.72a	24.57±2.23a	8.02±1.17b	75.78	*	*
	IAA	4.47±2.38b	3.11±1.62b	4.14±1.14ab	6.47±1.27b	7.33±1.85a	7.54±1.41c	3.04±1.05b	15.38±3.73a	19.09±7.13a	19.26±3.29a	75.51	*	*
	IBA	9.09±1.00a	8.06±1.50a	6.25±1.95a	5.50±1.45b	9.73±2.15a	12.58±3.20b	—	—	18.45±4.36a	11.08±2.23b			
	CK	4.22±2.10b	1.01±0.85c	2.53±1.29b	4.62±1.28b	3.17±0.83b	5.03±1.00c	0.60±0.47c	3.59±2.44b	7.34±3.64b	8.08±2.01b			
	平均值	4.86±3.07d	3.90±2.93d	4.36±1.96d	7.39±3.65c	7.14±3.27c	13.10±9.10b	2.37±2.63e	8.25±7.22c	17.36±7.73a	11.61±5.16b			
根总长/cm	ABT-1	664.91±215.97a	633.46±225.67ab	472.10±266.02a	1448.04±503.24a	1352.85±606.48b	1262.60±215.26ab	1025.27±696.57a	781.12±558.81a	1573.47±915.18a	2612.29±508.94a	34.64	*	*
	IAA	999.77±520.71a	854.19±77.55a	654.27±120.68a	1537.07±409.30a	1566.29±500.08ab	1157.74±369.13ab	851.87±218.28a	1187.90±399.58a	901.43±43.88a	2465.43±408.37a	10.27	*	*
	IBA	1033.74±377.24a	858.14±351.22a	1111.42±864.51a	382.64±103.12a	2282.77±735.46a	1789.67±630.16a	—	—	1570.19±340.34a	2252.56±282.52a			
	CK	699.60±567.53a	359.56±310.47b	472.10±266.02b	465.95±172.34a	752.812±517.27b	680.03±373.73b	249.82±224.77b	642.04±385.49a	1048.35±34.85a	2211.57±383.17a			
	平均值	849.51±440.94de	676.33±319.63ef	493.74±195.65f	1090.82±528.30cd	1488.68±763.16b	1222.51±556.49bc	531.74±556.06f	652.77±567.89ef	1273.36±579.42bc	2385.46±409.85a			
根直径/mm	ABT-1	0.64±0.06b	0.76±0.21b	0.94±0.29a	0.98±0.13ab	1.10±0.42a	2.60±0.58a	0.82±0.11a	1.06±0.21a	1.53±0.44a	1.40±0.62a	15.37	*	*
	IAA	0.82±0.23b	0.64±0.11b	0.74±0.09a	0.66±0.06c	0.90±0.34a	0.84±0.15c	0.66±0.09b	1.04±0.11a	1.26±0.37a	1.30±0.40a	9.14	*	*
	IBA	1.36±0.62a	1.10±0.24a	1.08±0.42a	1.08±0.22a	1.12±0.45a	1.68±0.65b	—	—	1.24±0.46a	1.30±0.30a			
	CK	1.10±0.27ab	0.66±0.21b	0.78±0.13ab	0.84±0.18bc	0.74±0.11ab	0.76±0.18c	0.64±0.11b	0.68±0.05b	0.93±0.06a	1.34±0.50a			
	平均值	0.98±0.43b	0.79±0.26bc	0.89±0.28bc	0.88±0.21bc	0.97±0.37b	1.47±0.87a	0.53±0.33d	0.76±0.45cd	1.26±0.43a	1.34±0.45a			

注: ** 表示差异达极显著水平($p<0.01$), * 表示差异达显著水平($p<0.05$); 同行不同小写字母表示不同品种间平均值有显著差异($p<0.05$)。

在不同激素处理下, 10 个桑树品种的根数范围为 1.20~13.60 根, 其中: 新剑持的平均根数最多, 其次是伊达寿木桑, 分别有 9.35 根和 5.85 根, 较其他品种均有极显著差异; 山西甜桑的平均根数最少, 为 1.50 根, 较葵桑和双头荷叶白无显著性差异, 但较其他品种均有极显著差异。

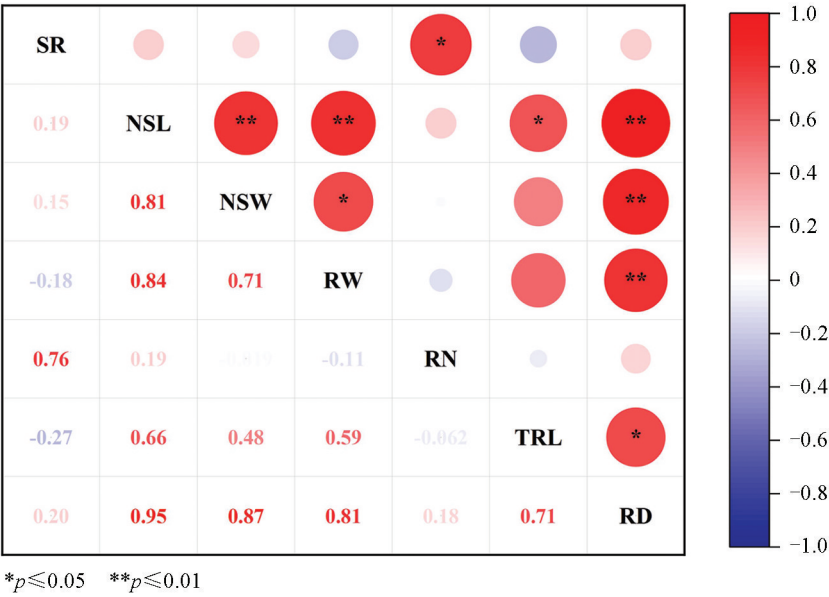
在不同激素处理下, 10 个桑树品种的根质量范围为 0.60~27.25 g, 其中: 保坎的平均根质量最高, 其次是足 83211、双头荷叶白, 分别为 17.36 g、13.10 g 和 11.61 g, 都较其他品种有极显著差异; 葵桑的平均根质量最低, 为 2.37 g, 与 60718 和沱桑无显著性差异, 但较其他品种均有极显著差异。

在不同激素处理下, 10 个桑树品种的根总长范围为 249.82~2612.29 cm, 其中: 双头荷叶白的平均根总长最大, 为 2385.46 cm, 较其他品种均有极显著性差异; 火桑的平均根总长也较大, 为 1488.68 cm, 较足 83122 和保坎无显著性差异, 但较其他品种有极显著性差异; 60718、沱桑、葵桑和山西甜桑的平均根总长都较小, 分别为 676.33 cm、493.74 cm、531.74 cm 和 652.77 cm, 与新剑持均无显著性差异, 比其他品种都有极显著性降低。

在不同激素处理下,10 个桑树品种的根直径范围 0.64~2.60 mm,其中:足 83122 的平均根直径最大,其次是双头荷叶白、保坎,分别为 1.47 mm、1.34 mm 和 1.26 mm,较其他品种均有极显著差异;60718 和山西甜桑的平均根直径较小,分别为 0.79 mm 和 0.76 mm,较葵桑有极显著提高,较足 83122、双头荷叶白和保坎极显著性降低,较其余品种无显著性差异;葵桑的平均根直径最小,为 0.53 mm,较其余品种均有极显著性降低。

2.4 扦插成活率、新梢指标及生根指标的相关分析

由相关性分析可知(图 1),有 9 对扦插指标间具有极显著正相关关系,8 对扦插指标间呈正相关,有 4 对扦插指标间呈弱负相关,其中:成活率仅与根数呈显著性正相关,与根总长、根质量呈弱负相关,与其余 3 个指标呈弱正相关;此外,2 个新梢指标与 4 个根系指标总体呈显著或极显著正相关关系;根直径与根质量、根总长呈显著或极显著正相关。以上结果表明,扦插成活率主要依赖于根数的增加,根系质量与新梢指标紧密相关,此外,根直径、根质量和根总长 3 个根系指标间也密切相关,说明各单项指标之间在一定程度存在着信息重叠。因此,直接利用单项指标难以准确、直观地评价桑树生根能力。为了更全面、更精确地评价桑树的生根能力,有必要采用多个指标进行生根能力综合评价。



SR 为成活率; NSL 为新梢长; NSW 为新梢质量; RW 为根质量; RN 为根数; TRL 为根总长; RD 为根直径。

图 1 10 个桑树品种各扦插指标间的相关性分析

2.5 不同桑树品种嫩枝扦插生根能力的综合评价

利用排队评分法和公式评分法进行综合评价(表 4)发现,10 个品种生根能力综合得分依次为足 83122、新剑持、双头荷叶白、伊达寿木桑、保坎、60178、沱桑、火桑、山西甜桑、葵桑。整体来看,10 个桑树品种的生根能力呈现出明显的差异,其中:足 83122、新剑持得分最高,分别为 65.13 分、63.75 分;双头荷叶白、伊达寿木桑和保坎得分也较高,分别为 53.87 分、49.99 分和 47.31 分;60178、沱桑和火桑的综合得分较低,分别为 37.82 分、37.05 分和 36.74 分,但仍显示出一定的生根能力;山西甜桑得分为 17.61 分,葵桑得分最低,为 10.79 分,生根能力较弱。

以各桑树品种的综合评分作为两类之间的距离进行聚类分析(图 2),以距离 5 为切点,可将 10 个品种分为 3 个类别,其中:新剑持和足 83122 聚为一类,两个品种在不同激素处理下扦插生根能力较突出,新梢及根系指标表现较优,扦插苗木质量良好,属易生根品种;60178、沱桑、保坎、火桑、伊达寿木桑和双头荷叶白的扦插生根能力较强,属较易生根的品种;山西甜桑和葵桑聚为一类,两个品种在不同激素处理下的平均扦插成活率低于 20%,扦插生根能力较弱,且扦插苗新梢及根系指标较低,属难生根品种。

表 4 10 个桑树品种扦插生根能力的综合评价

品种	排队评分值							综合评分	排序
	成活率	新梢长	新梢质量	根质量	根数	根总长	根直径		
新剑持	10.00	4.72	1.67	2.56	10.00	2.69	5.31	63.75	2
60178	7.26	4.12	1.38	1.92	3.01	1.87	3.49	37.82	6
沱桑	6.32	4.77	2.40	2.19	3.46	1.00	4.40	37.05	7
伊达寿木桑	7.10	6.69	2.27	4.01	5.99	3.84	4.39	49.99	4
火桑	3.54	5.88	3.64	3.86	3.29	5.73	5.16	36.74	8
足 83122	8.30	10.00	10.00	7.44	4.15	4.47	10.00	65.13	1
葵桑	1.00	1.00	1.00	1.00	1.80	1.18	1.00	10.79	10
山西甜桑	1.62	2.27	1.52	4.53	1.00	1.76	2.58	17.61	9
保坎	3.90	7.17	4.72	10.00	3.46	4.71	8.02	47.31	5
双头荷叶白	5.89	8.27	4.56	6.55	2.26	10.00	8.71	53.87	3

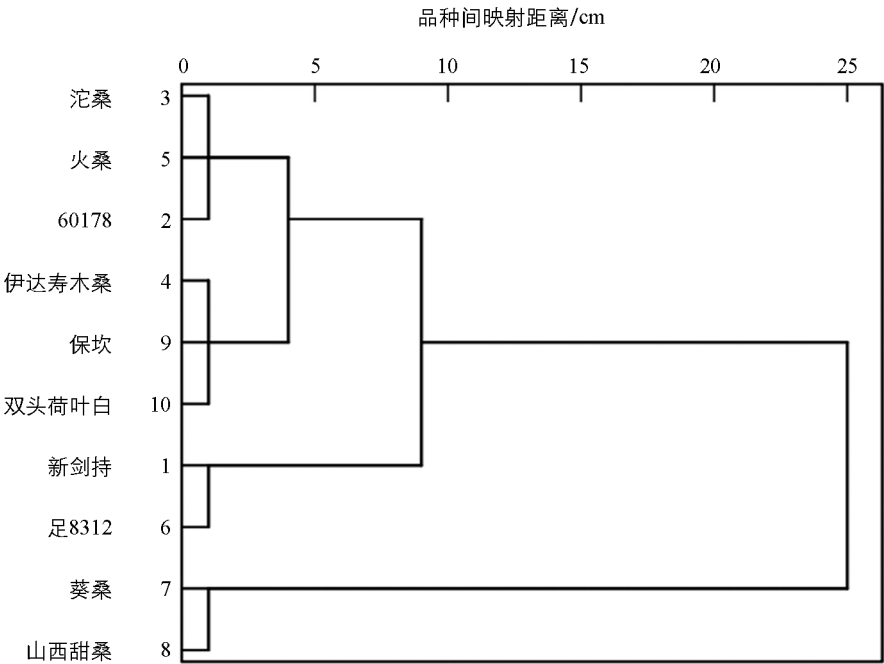


图 2 10 个桑树品种扦插生根能力的聚类分析

3 讨论与结论

3.1 讨论

扦插是林木进行无性繁殖最简便、最易推广的方法，具有取材容易、繁殖系数高、操作简单、成本低等优点，在保持母本优良特性的同时还能提早开花结实，且能在短时间内规模化生产一致性较强的苗木。桑树属难生根树种，其不定根的形成是一个高度复杂、多层次调控的发育过程，受内部因素(品种、内源激素、营养物质、酶活性等)及外部因素(扦插时期、基质、温湿度、外源激素等)的共同影响^[23]。其中，外源激素是提高林木扦插成活率、优化根系发育状况以及提升苗木质量的主要技术手段，尤其是对难生根树种具有显著促进作用^[24-25]。本研究中，施加外源激素 ABT-1、IBA、IAA 对 10 个桑树品种的扦插成活率有明显促进作用，较对照组可提高 3%~48%，同时，对桑树新梢及根系指标也有一定的促进作用，这与文献[13]的研究结果一致。外源激素能够提升桑树扦插效果，和它可调节插穗内部与不定根形成及生长发育有关的营养物质含量、内源激素含量和酶类活性等密切相关^[26]。

除成活率是扦插生根能力的主要参考指标外,扦插苗的质量直接关系到移栽后续培育的成败。在实践中,扦插苗的新梢和根系指标等与扦插苗质量优劣密切相关,因此评判桑树扦插生根能力需要综合考虑扦插成活率、新梢及根系等多个指标^[16]。本研究通过相关分析发现,在供试桑树品种中扦插成活率与根数之间存在显著性正相关关系,而与其他 5 个指标的相关性不显著,说明在评价桑树扦插生根能力时,可将扦插成活率作为主要参考指标。此外,不同桑树品种的新梢指标与根系指标之间整体上呈现出显著或极显著的正相关关系;同时,根直径与根系鲜质量、根总长之间也呈现出显著或极显著的正相关关系,表明不同扦插指标之间存在着密切的关联。因此,仅依赖单一指标或部分根系指标来评价桑树品种的扦插生根能力具有片面性,应综合考虑成活率、新梢及根系等多项指标,才能有效筛选出适应于桑树规模化扦插育苗的优良品种。

本研究采用排队评分法和公式评分法能够将多项指标转化为同度量值进行综合评分,使品种间的生根能力具有可比性^[20-22]。总体而言,本研究中 10 个供试桑树品种的综合评分存在着明显差异,其中:足 83211 和新剑持综合评分最高,平均成活率也较高,且苗木新梢和根系整体质量良好,可作为桑树扦插规模化育苗的优选品种;山西甜桑和葵桑综合评分低,扦插成活率及其生长情况较弱,要实现其规模化扦插,还需进一步探索繁殖技术来提高成活率。桑树扦插生根能力除受品种影响外,也会受环境条件和扦插时期等因素影响^[27-28]。在本试验中,扦插材料均取自重庆北碚,对不同品种在环境、时期等发生改变后的扦插生根能力还需进一步深入研究,同时还需结合更多形态指标(如生根速度、新梢叶片数、根系干重等)以及生理指标(如光合特性、内源激素含量和抗氧化酶活性等)等多个方面进一步综合评价。本研究基于综合评分将 10 个桑树品种分为易生根(足 81322、新剑持)、较易生根(双头荷叶白、伊达寿木桑、保坎、60178、沱桑和火桑)和难生根(山西甜桑、葵桑)3 种类型。除根直径外,其余 6 个扦插指标在 3 种类型间有显著差异,说明基于排队评分法和公式评分法的桑树品种扦插生根能力评价结果较为可靠,初步探索出一条在成活率、新梢及根系等多指标基础上对扦插能力进行综合评价的途径,可以克服仅利用少数指标进行评价的不足,为桑树规模化扦插育苗选择优良品种提供了一定的理论依据。

3.2 结论

综上所述,ABT-1、IBA、IAA 3 种外源激素对不同桑树品种的扦插成活率、新梢指标和根系指标有一定的促进作用。通过综合评价,筛选到新剑持、足 83122 两个优良品种,具有较高的扦插成活率,苗木质量整体良好,可作为桑树扦插规模化生产的优选品种。本研究仅统计了 10 个桑树品种的成活率、部分新梢及根系指标,研究结果可能会存在一定的局限性。为更全面地评价桑树品种的生根能力,后续研究还将增加品种数量,并结合更多形态指标以及生理指标进行综合评价,进一步构建更为完善、精确的评价体系。

参考文献:

- [1] HAO J Y, GAO Y F, XUE J B, et al. Phytochemicals, Pharmacological Effects and Molecular Mechanisms of Mulberry [J]. Foods, 2022, 11(8): 1170.
- [2] 向仲怀,何宁佳,黄先智. 桑与畜牧业 [J]. 草业学报, 2017, 26(2): 1-9.
- [3] 廖森泰. 关于发展生态蚕桑产业的思考 [J]. 蚕业科学, 2018, 44(2): 181-187.
- [4] 廖森泰,向仲怀. 论蚕桑产业多元化 [J]. 蚕业科学, 2014, 40(1): 137-141.
- [5] MAHBOUBI M. MorusAlba (Mulberry), a Natural Potent Compound in Management of Obesity [J]. Pharmacological Research, 2019, 146: 104341.
- [7] 顾青虹,倪国孚,陈爱玉. 关于湖桑扦插繁殖的研究 I. [J]. 蚕业科学, 1980, 6(1): 28-35.
- [8] 符云俊,李叔冗. 桑树全光照间歇喷雾绿枝扦插法 [J]. 农家科技, 2005(4): 33-34.
- [9] 叶青雷,李志,张静,等. 双层双基质扦插营养钵桑树绿枝扦插试验 [J]. 黑龙江农业科学, 2016(1): 87-89.
- [10] 林强,陈小青,莫现会,等. 几种植物激素处理对桑树硬枝扦插成活率的比较试验 [J]. 广西蚕业, 2002(4): 5-7.
- [11] SUN J J, DOU H, CHEN H L, et al. Physicochemical Response of External Plant Growth Regulator in the Cutting

Process of Mulberry [J]. Horticulturae, 2023, 9(9): 1006.

[12] SOURATI R, SHARIFI P, POORGHASEMI M, et al. Effects of Naphthaleneacetic Acid, Indole-3-Butyric Acid and Zinc Sulfate on the Rooting and Growth of Mulberry Cuttings [J]. International Journal of Plant Biology, 2022, 13(3): 245-256.

[13] CHEN H L, LEI Y Z, SUN J J, et al. Effects of Different Growth Hormones on Rooting and Endogenous Hormone Content of Two Morus Alba L. Cuttings [J]. Horticulturae, 2023, 9(5): 552.

[14] DENG Y M, JIANG J F, CHEN S M, et al. Drought Tolerance of Intergeneric Hybrids between Chrysanthemum Morifolium and Ajanía Przewalskii [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 148: 17-22.

[15] 刘浩杰, 江婷蕊, 张雪峰, 等. 39 个传统秋菊品种扦插生根能力综合评价 [J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(2): 91-98, 105.

[16] 袁姜莲, 李炎, 罗义维, 等. 不同种类及浓度激素处理对 3 个果桑品种嫩枝扦插的影响 [J/OL]. 蚕业科学, 2024, 50(2): 97-105.

[17] 杜伟, 程嘉翎. 不同插穗对桑树绿枝扦插生根效果的影响 [J]. 中国蚕业, 2014, 35(1): 11-14.

[18] 陈传杰, 杜建勋, 王照红, 等. 14 个桑树品种扦插成活率及光合特性研究 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(7): 61-62.

[19] 朱光书, 林强, 邱长玉, 等. 6 个桑树品种的扦插试验 [J]. 蚕桑茶叶通讯, 2020(2): 1-5.

[20] 董筱昀, 黄利斌, 吕运舟. 不同处理对浙江红花油茶扦插生根的影响 [J]. 江苏林业科技, 2017, 44(6): 6-9.

[21] 张天翔, 牛先前. 不同处理对百香果扦插繁殖的影响 [J]. 中国农学通报, 2020, 36(31): 37-41.

[22] 赵蕾, 陶秀冬, 宋锋惠, 等. 不同处理对平欧杂种榛嫩枝扦插生根效果的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(12): 22-25, 36.

[23] 尚春琼. 桑树硬枝扦插不同生根类型的生理与转录调控机制比较研究 [D]. 镇江: 江苏科技大学, 2020.

[24] ZHAO Y Q, CHEN Y J, JIANG C, et al. Exogenous Hormones Supplementation Improve Adventitious Root Formation in Woody Plants [J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2022, 10: 1009531.

[25] PACURAR D I, PERRONE I, BELLINI C. AuxinIs a Central Player in the Hormone Cross-Talks that Control Adventitious Rooting [J]. Physiologia Plantarum, 2014, 151(1): 83-96.

[26] SHANG C Q, YANG H L, MA S, et al. Physiological and Transcriptomic Changes during the Early Phases of Adventitious Root Formation in Mulberry Stem Hardwood Cuttings [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(15): 3707.

[27] 崔秋英, 邱长玉, 林强, 等. 桑树硬枝扦插繁殖能力的影响因素研究 [J]. 蚕业科学, 2021, 47(6): 518-527.

[28] 崔秋英, 邱长玉, 林强, 等. 插穗对桑树扦插育苗质量的影响作用 [J]. 广西蚕业, 2021, 58(2): 6-12.

责任编辑 张枸