

外源激素对台湾栾树种子萌发与幼苗生长的影响

苏斌贤¹, 傅妮莎², 周冠宇¹, 高大地¹, 冉裕琪¹, 刘琦¹, 艾叶¹, 叶露莹^{1*}

(1. 福建农林大学 风景园林与艺术学院, 福州 350028; 2. 福建农林大学金山学院, 福州 350002)

[摘要]以台湾栾树种子为材料, 采用3因素3水平试验设计, 探究植物激素种类A(GA₃、IAA、NAA)、浓度B(100、200、300 mg/L)及浸种时间C(24、48、72 h)对其萌发与幼苗生长的影响, 以筛选最佳浸种方案。结果表明, 3种激素处理均能有效促进种子萌发, 其中A₂B₂C₃处理(200 mg/L IAA, 浸种72 h)发芽率最高, 达94.45%, 各处理组均显著高于对照组, 发芽率达87.78%以上。在幼苗生长方面, NAA在100 mg/L、浸种72 h(A₃B₁C₃)时对叶片长度、真叶数、株高和冠幅促进效果较好; 300 mg/L GA₃浸种72 h(A₁B₃C₃)可显著增加叶片宽度; 而200 mg/L GA₃浸种48 h(A₁B₂C₂)则对主根长度促进明显。综合方差分析、极差分析及多重比较结果, 确定理论最优组合为IAA+100 mg/L+浸种72 h(A₂B₁C₃), 该条件下发芽率达92.96%, 形态均衡, 叶片发育良好; 实际最优组合为NAA+100 mg/L+72 h(A₃B₁C₃), 该组合下种子发芽率达94.44%, 叶长和冠幅分别提升至5.19 cm与11.01 cm, 为台湾栾树种子浸种育苗的理想方案。

[关键词]台湾栾树; 种子萌发; 植物激素; 浓度; 浸种时间

中图分类号: S792.99 文献标识码: A 文章编号: 1672-450X(2026)03-0062-07

Effects of Exogenous Hormones on Seed Germination and Seedling Growth of *Koelreuteria elegans*

SU Binxian¹, FU Nisha², ZHOU Guanyu¹, GAO Dadi¹, RAN Yuqi¹, LIU Qi¹, AI Ye¹, YE Luying^{1*}

1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350028, China;

2. Jinshan College of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract: This study investigated the effects of plant hormone types A (GA₃, IAA, NAA), concentrations B(100, 200, 300 mg/L), and soaking durations C(24, 48, 72 h) on the germination and seedling growth of *Koelreuteria elegans* seeds using a three-factor, three-level experimental design to identify the optimal soaking protocol. Results showed that all three hormone treatments effectively promoted seed germination. The A₂B₂C₃ treatment (200 mg/L IAA, 72 h soaking) exhibited the highest germination rate, reaching 94.45%. All treatment groups had significantly higher germination rates than the control group, with their germination rates exceeding 87.78%. In terms of seedling growth, NAA at 100 mg/L with 72 h soaking (A₃B₁C₃) better promoted leaf length, true leaf number, plant height, and crown width; GA₃ at 300 mg/L with 72 h soaking (A₁B₃C₃) significantly increased leaf width; while GA₃ at 200 mg/L with 48 h soaking (A₁B₂C₂) notably enhanced taproot length. Based on comprehensive analysis of variance, range analysis, and multiple comparisons, the theoretical optimal combination was determined as IAA + 100 mg/L + 72 h(A₂B₁C₃). Under these conditions, the germination rate reached 92.96%, with balanced morphology and well-developed leaves. The actual optimal combination was NAA + 100 mg/L + 72 h (A₃B₁C₃), under which the seed germination rate reached 94.44%, and leaf length and crown width increased to 5.19 cm and 11.01 cm, respectively. This serves as an ideal protocol for seed soaking and seedling cultivation of *K. elegans*.

Key words: *Koelreuteria elegans*; seed germination; plant hormones; concentration; seed soaking duration

台湾栾树(*Koelreuteria elegans*)为无患子科栾树属落叶乔木, 又名苦楝舅、五色栾华, 为我国台

湾省特有树种, 其自然分布区域为海拔1 500 m以下的低山丘陵及平原地带^[1-2]。台湾栾树树干

收稿日期: 2025-12-01

作者简介: 苏斌贤(2000—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为观赏植物育种。E-mail: 1549757138@qq.com

*通信作者: 叶露莹(1985—), 女, 讲师, 硕士, 主要从事园林植物方向的教学与研究工作。E-mail: 280221008@qq.com

通直,叶片、花序和果实色彩丰富多变,花期为9月中下旬至11月,果期为10月至翌年3月,具有极高的观赏价值,是秋冬季节观花观果的优良树种^[2-3]。台湾栾树具有较强的耐瘠薄、耐旱和耐盐碱性,且对粉尘、二氧化硫等具有较强的抗性,是干旱贫瘠荒山绿化、矿区废弃地植被修复以及盐碱地生态改良的理想树种。台湾栾树为兼具观赏性和实用性的植物,具有开发利用价值。

栾树种子萌发过程中存在着种皮机械阻碍、休眠机制未破除等现象^[4],自然条件下发芽率较低,破除栾树种子休眠机制可有效提升萌发效率与幼苗抗逆能力,对其苗木繁育具有重要实践价值。在植物培育领域,国内外普遍将外源植物激素的应用作为重要技术手段,包括赤霉素、萘乙酸、吲哚乙酸等^[5-7]。使用特定浓度的植物激素进行浸种,能有效破除种子生理性休眠,破解阻碍种子萌发的抑制物质,从而促进种子萌发^[8-9]。关于植物激素对台湾栾树种子萌发的影响研究还未见报道,本试验通过比较不同激素种类、浓度及浸种时间对台湾栾树种子萌发的作用,旨在探究提升其发芽率与发芽势的有效方法,进而为台湾栾树种苗培育提供一定参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料:台湾栾树种子采摘于2024年12月福建农林大学中华园,选取树形高大、冠层发育良好的健康母树,采集其褐色蒴果,挑选形态饱满的黑色种子(种子大小约5.5 mm),置于通风干燥处晾干,后装入纸袋中贮藏在阴凉处。供试试剂:赤霉素(GA₃)、吲哚乙酸(IAA)、萘乙酸(NAA)。

育苗基质:泥炭土:蛭石:珍珠岩=2:1:1。参考鲍士旦^[10]的方法进行育苗基质的理化性质测定。pH值为6.23±0.06,有机质含量为(30.08±0.22) g·kg⁻¹,容重为(0.55±0.13) g·cm⁻³,总孔隙度为(59.67±0.42)%,其中通气孔隙度为(29.17±0.16)%,持水孔隙度为(30.50±0.08)%。

1.2 试验方法

1.2.1 台湾栾树种子形态特征观测

种子千粒重:依据百粒法推算种子千粒重。随机抽取100粒台湾栾树种子,设置5组重复,测量种子百粒重后通过数据均值处理及10倍系数换算,得出台湾栾树种子千粒重数据。

种子大小:随机选取100粒台湾栾树种子测量长、宽、高并取平均值。

1.2.2 台湾栾树种子消毒及浸种处理

植物激素处理方案:采用3因素3水平L₉(3³)正交设计(表1)。植物激素种类因素设为A:GA₃、IAA、NAA分别为A₁、A₂、A₃。激素浓度因素参照木本植物^[11-12]的激素浸种研究,设置为均衡分散的水平,设为B:100、200、300 mg/L分别为B₁、B₂、B₃。浸种时间因素设为C:24、48、72 h分别为C₁、C₂、C₃。设置蒸馏水处理为空白对照(CK)。

表1 L₉(3³) 正交实验组合

处理	植物激素 (A)	浓度 (B) / (mg · L ⁻¹)	浸种时间 (C) / h	组合
1	赤霉素 GA ₃	100	24	A ₁ B ₁ C ₁
2	赤霉素 GA ₃	200	48	A ₁ B ₂ C ₂
3	赤霉素 GA ₃	300	72	A ₁ B ₃ C ₃
4	吲哚乙酸 IAA	100	48	A ₂ B ₁ C ₂
5	吲哚乙酸 IAA	200	72	A ₂ B ₂ C ₃
6	吲哚乙酸 IAA	300	24	A ₂ B ₃ C ₁
7	萘乙酸 NAA	100	72	A ₃ B ₁ C ₃
8	萘乙酸 NAA	200	24	A ₃ B ₂ C ₁
9	萘乙酸 NAA	300	48	A ₃ B ₃ C ₂

取930粒健康饱满的台湾栾树种子,先将种子消毒,以超纯水漂洗3次后,采用0.1%高锰酸钾溶液浸泡消毒2 h^[12],最后以超纯水反复冲洗至洁净,洗净后用滤纸吸干种子表面水分。按照表1的处理方案,每个组处理30粒种子,设置3个重复,对其进行浸种处理(对照组仅做消毒处理)。完成处理后用去离子水清洗3次并晾干种子,播于装有育苗基质的栽培盆中,然后放置于培养箱中(日光照12 h、光照强度为8 000 lx、温度25 ℃、湿度75%),定期浇水以保持湿润。

1.3 指标测定与数据分析

于2025年1月11日进行播种,将栽培盆放于温暖且有适宜阳光的地方,播种25 d后测定发芽

率,每组重复中随机选取25株幼苗测定形态指标:叶片数量及长宽、根长、株高、冠幅。

发芽率=(正常发芽的种子数/供试种子总数)×100%。

叶片长度(cm):每株幼苗上选取第一片完全展开叶(复叶平展、小叶全部展开),用直尺测量其基部到顶部的距离。

叶片宽度(cm):每株幼苗上选取第一片完全展开叶,在叶片中部用直尺测量其宽度。

株高(cm):从幼苗基部(土壤表面)到植株最高点(最高叶片尖端)的垂直高度。

冠幅(cm):植株在水平方向上的最大扩展宽度,通常测量两个垂直方向(如南北向和东西向)的最大跨度,取平均值。

主根长度(cm):从根颈(茎与根交界处)到主根最末端的直线距离。

数据处理采用Microsoft Excel 2016软件进行表格制作,SPSS 27.0软件进行三因素正交试验方差分析,结合Duncan法对各处理组合间、单因子水

平间的指标进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 台湾栾树种子形态特征

台湾栾树种子为黑色球形状,经观测可知,种子千粒重为(85.98 ± 2.65) g,长为(6.01 ± 0.42) mm,宽为(5.19 ± 0.25) mm,高为(5.44 ± 0.25) mm。

2.2 不同处理对台湾栾树种子萌发及幼苗生长的影响

2.2.1 种子发芽率

由表2可知,在种子发芽率方面,对照组(CK)种子发芽率为76.67%,显著低于所有处理组($P < 0.05$),说明不同激素种类、浓度及浸种时间组合对台湾栾树种子萌发均具有促进效应。其中, $A_2B_2C_3$ (200 mg/L IAA,浸种72 h)处理组发芽率最高,达94.45%, $A_3B_1C_3$ (100 mg/L NAA,浸种72 h)次之,为94.44%,组合效果由高到低依此为 $A_2B_2C_3$ 、 $A_3B_1C_3$ 、 $A_2B_3C_1$ 、 $A_2B_1C_2$ 、 $A_1B_2C_2$ 、 $A_3B_3C_2$ 、 $A_3B_2C_1$ 、 $A_1B_3C_3$ 、 $A_1B_1C_1$ 。

表2 台湾栾树种子处理正交实验结果

实验号	ABC	发芽率/%	叶片长度/cm	叶片宽度/cm	主根长度/cm	株高/cm	冠幅/cm	真叶数
1	111	87.78±3.85d	4.95±0.15a	3.57±0.01bc	8.12±0.04b	8.38±0.09d	9.87±0.03e	2.88±0.06bc
2	122	91.11±1.35bc	4.60±0.33b	3.54±0.01c	8.43±0.04a	7.73±0.10f	10.07±0.09d	2.79±0.04c
3	133	88.88±2.21cd	5.14±0.15a	3.65±0.05a	8.05±0.03c	8.78±0.11c	10.64±0.04b	2.88±0.07bc
4	212	91.11±1.92bc	5.18±0.15a	3.36±0.03d	8.13±0.03b	8.93±0.12bc	10.21±0.05c	2.89±0.04bc
5	223	94.45±1.95a	5.05±0.07a	3.26±0.02e	7.49±0.02e	9.59±0.10a	8.62±0.05h	2.88±0.07bc
6	231	93.33±0.34ab	5.04±0.20a	3.54±0.01c	7.99±0.05c	8.04±0.12e	10.13±0.06cd	2.89±0.06b
7	313	94.44±1.93a	5.19±0.03a	3.58±0.01b	7.69±0.01d	8.99±0.10b	11.01±0.06a	2.99±0.07a
8	321	88.89±1.01cd	5.02±0.11a	2.68±0.01h	7.32±0.03f	8.22±0.09d	8.27±0.03i	3.07±0.06a
9	332	90.00±0.33cd	4.48±0.07b	3.10±0.03f	7.11±0.05h	8.38±0.10d	9.72±0.07f	2.69±0.07d
CK	000	76.67±3.34e	4.62±0.11b	3.00±0.03g	7.20±0.07g	7.56±0.10g	9.48±0.13g	2.61±0.07d

注:表中数据为3次重复试验的平均值。同列数据后不同小写英文字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.2.2 幼苗生长

由表2可知,对幼苗叶片影响:在叶片长度上,组合效果由高到低依次为 $A_3B_1C_3$ 、 $A_2B_1C_2$ 、 $A_1B_3C_3$ 、 $A_2B_2C_3$ 、 $A_2B_3C_1$ 、 $A_3B_2C_1$ 和 $A_1B_1C_1$,均显著长于对照组,而 $A_1B_2C_2$ (4.60 cm)、 $A_3B_3C_2$ (4.48 cm)与对照组(4.62 cm)未有显著差异;叶片宽度方面,处理组 $A_1B_3C_3$ 对台湾栾树幼苗的叶宽促进作用最大,为3.65 cm,显著宽于对照组(3.00 cm),其次 $A_3B_1C_3$ 处理组在叶宽上的促生效果也较好,为

3.58 cm,而处理组 $A_3B_2C_1$ 的叶宽(2.68 cm)显著低于对照组,说明该处理组在叶片宽度方面具有抑制作用。真叶数上,处理 $A_3B_2C_1$ 真叶数最多,为3.07片,其次为 $A_3B_1C_3$ (2.99片),显著多于对照组,其余处理仅 $A_3B_3C_2$ (2.69片)与对照组未有显著差异。

主根长度上,处理组 $A_1B_2C_2$ 下台湾栾树幼苗的主根长度最长,为8.43 cm,与对照组7.20 cm相比具有显著差异,其次为 $A_2B_1C_2$ 和 $A_1B_1C_1$ 处理组,分

别为 8.13 cm 和 8.12 cm, 而处理组 $A_3B_3C_2$ 显著短于对照组。

株高指标中, 各处理组均显著高于对照组 7.56 cm, 从高到低依次为 $A_2B_2C_3$ 、 $A_3B_1C_3$ 、 $A_2B_1C_2$ 、 $A_1B_3C_3$ 、 $A_1B_1C_1$ 、 $A_3B_3C_2$ 、 $A_3B_2C_1$ 、 $A_2B_3C_1$ 、 $A_1B_2C_2$, 分别为 9.59、8.99、8.93、8.78、8.38、8.38、8.22、8.04、7.73 cm。

冠幅方面, 组合 $A_3B_1C_3$ 的冠幅最大, 达 11.02 cm, 其次是 $A_1B_3C_3$, 为 10.64 cm, 均显著大于对照组的 9.48 cm; 而组合 $A_2B_2C_3$ 和 $A_3B_2C_1$ 均低于对照组, 分别为 8.62 cm 和 8.27 cm, 说明这两个处理对幼苗冠幅有一定的抑制作用。

综合来看, 在促进台湾栾树种子萌发上, 各因素不同水平组合与对照相比都有显著促进效果。在幼苗生长方面, NAA 在浓度为 100 mg/L、浸种 72 h ($A_3B_1C_3$) 时, 对叶片长度、真叶数、株高和冠幅都有较好的促进效果; GA_3 在浓度为 300 mg/L、浸种 72 h ($A_1B_3C_3$) 时, 对叶片宽度有明显促进作用; GA_3 在浓度为 200 mg/L、浸种 48 h ($A_1B_2C_2$) 时, 对主根长度促进作用明显。

2.3 不同激素处理主次效应

各因素对台湾栾树种子萌发和幼苗生长的影响程度不同, 对处理结果进行分析, 以确定各因素影响的主次效应。方差分析结果表明(表 3), 不同植物激素(A)对发芽率、叶片宽度、主根长度和株高的影响有极显著性差异($P < 0.01$), 对冠幅有显著差异; 不同浓度(B)对叶片宽度和冠幅有极显著性差异, 对真叶数有显著差异, 而对叶长的影响临近显著水平($P = 0.051$), 表明激素浓度可能对台湾栾树幼苗叶片伸长存在一定的作用, 但受样本个体差异或环境波动等因素影响, 其作用效应未能在统计学上达到显著水平; 不同浸种时间(C)对叶片长度、主根长度、株高、真叶数有极显著差异, 对叶宽和冠幅有显著差异。其中, 发芽率指标的误差较大, 推测与其生物学变异及环境因素相关。

对台湾栾树种子发芽和幼苗生长结果进行极差分析, 表 4 显示 3 个因素影响发芽结果的主次效应为激素种类(A) > 浸种时间(C) > 激素浓度(B); 在影响幼苗叶片生长方面, 最影响叶长和真

叶数指标的均为浸种时间(C), 其次为激素浓度(B)、激素种类(A), 影响叶宽和幼苗主根生长指标的主次效应均依次为激素种类(A) > 激素浓度(B) > 浸种时间(C)。在幼苗株高指标中, 极差最高的为浸种时间(C), 其次依次为激素种类(A)、激素浓度(C), 冠幅指标中, 各因素的主次效应依次为激素浓度(B) > 浸种时间(C) > 激素种类(A)。

表 3 正交实验方差分析结果

测定指标	方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
发芽率	A	61.901	2	30.951	6.847	0.005**
	B	2.501	2	1.251	0.277	0.761
	C	32.005	2	16.003	3.540	0.048
	误差	90.402	20	4.520		
叶片长度	A	0.229	2	0.115	2.722	0.090
	B	0.291	2	0.146	3.463	0.051
	C	0.659	2	0.330	7.832	0.003**
	误差	0.842	20	0.042		
叶片宽度	A	0.995	2	0.497	19.599	<0.001**
	B	0.603	2	0.301	11.876	<0.001**
	C	0.253	2	0.126	4.975	0.018*
	误差	0.508	20	0.025		
主根长度	A	3.097	2	1.548	31.176	<0.001**
	B	0.368	2	0.184	3.704	0.248
	C	0.97	2	0.048	0.972	0.735
	误差	0.993	20	0.050		
株高	A	1.411	2	0.705	9.126	0.007**
	B	0.639	2	0.319	4.131	0.209
	C	4.295	2	2.148	27.789	<0.001**
	误差	1.546	20	0.077		
冠幅	A	1.690	2	0.845	3.518	0.049*
	B	10.016	2	5.008	20.850	<0.001**
	C	2.384	2	1.192	4.963	0.018*
	误差	4.804	20	0.240		
真叶数	A	0.018	2	0.009	1.331	0.287
	B	0.058	2	0.029	4.253	0.029*
	C	0.122	2	0.061	8.918	0.002**
	误差	0.137	20	0.007		

注: *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$ 。

结合不同因子对台湾栾树种子萌发和幼苗生长的影响结果进行多重比较(Waller-Duncan 法)(表 5), 植物激素类型(A)对发芽率($F = 6.847$, $P < 0.01$)、主根长度($F = 31.176$, $P < 0.01$)、株高($F = 9.126$, $P < 0.01$)及叶片宽度($F = 19.599$, $P < 0.01$)的影响最为显著。

表4 不同因素主次效应分析

指标	K/R值	植物激素(A)	浓度(B)	浸种时间(C)
发芽率	K1	267.76	273.31	270.00
	K2	278.89	274.45	272.22
	K3	273.33	272.22	277.78
	k1	89.25	91.10	90.00
	k2	92.96	91.48	90.74
	k3	91.11	90.74	92.59
	R	3.71	0.74	2.60
主次效应顺序		A>C>B		
叶片长度	K1	14.69	15.33	15.01
	K2	15.27	14.67	14.26
	K3	14.70	14.66	15.39
	k1	4.90	5.11	5.00
	k2	5.09	4.89	4.75
	k3	4.90	4.89	5.13
	R	0.19	0.22	0.38
主次效应顺序		C>B>A		
叶片宽度	K1	10.76	10.51	9.80
	K2	10.15	9.48	10.00
	K3	9.37	10.29	10.48
	k1	3.59	3.50	3.27
	k2	3.38	3.16	3.33
	k3	3.12	3.43	3.49
	R	0.47	0.34	0.23
主次效应顺序		A>B>C		
主根长度	K1	24.60	23.94	23.43
	K2	23.61	23.24	23.67
	K3	22.12	23.15	23.23
	k1	8.20	7.98	7.81
	k2	7.87	7.75	7.89
	k3	7.37	7.72	7.74
	R	0.83	0.26	0.15
主次效应顺序		A>B>C		
株高	K1	24.89	26.30	24.64
	K2	26.56	25.54	25.04
	K3	25.59	25.20	27.36
	k1	8.30	8.77	8.21
	k2	8.85	8.51	8.35
	k3	8.53	8.40	9.12
	R	0.55	0.37	0.91
主次效应顺序		C>A>B		
冠幅	K1	30.60	31.12	28.29
	K2	28.98	26.98	30.00
	K3	29.01	30.49	30.30
	k1	10.20	10.37	9.43
	k2	9.66	8.99	10.00
	k3	9.67	10.16	10.10
	R	0.54	1.38	0.67
主次效应顺序		B>C>A		
真叶数	K1	8.55	8.76	8.84
	K2	8.66	8.74	8.37
	K3	8.75	8.46	8.75
	k1	2.85	2.92	2.95
	k2	2.89	2.91	2.79
	k3	2.92	2.82	2.92
	R	0.07	0.10	0.16
主次效应顺序		C>B>A		

其中 IAA 处理整体表现最优,在株高(8.85 cm)方面显著高于 GA₃ 和 NAA。浓度(B)对冠幅($F=20.850$, $P<0.01$)和叶片宽度($F=11.876$, $P<0.01$)具有极显著影响,100 mg/L 激素显著促进叶宽(3.51 cm)和冠幅(10.37 cm)。浸种时间(C)对叶片长度($F=7.832$, $P<0.01$)、株高($F=27.789$, $P<0.01$)及真叶数($F=8.918$, $P<0.01$)的影响最为显著,72 h 浸种显著促进叶片伸长(5.13 cm)和株高(9.04 cm)提升。

综合方差分析、极差分析与多重比较结果,理论最优处理组合为 A₂B₁C₃: 植物激素为 IAA、浓度为 100 mg/L、浸种时间为 72 h。该组合下种子发芽率达 92.96%,株高与主根长度分别提升至 8.85 cm 与 7.87 cm,且幼苗形态均衡,叶片发育良好。实际最优组合为 NAA+100 mg/L+72 h(A₃B₁C₃),该组合下种子发芽率达 94.44%,叶片长度(5.19 cm)、冠幅(11.01 cm)均为最优,株高、真叶数等指标表现次优。

3 讨论与结论

采用植物激素浸种是促进种子打破休眠、利于种子萌发和生根壮苗的一种重要手段^[13],但不同的植物激素对不同的种子的促生效果和内在机制存在差异。本试验中,3种植物激素在提升台湾栾树种子发芽率方面均显著高于对照组,其中 IAA 的促进效果最佳,这与近缘物种黄山栾(*Koelreuteria bipinnata*)^[12]的浸种研究结果相似,但三者之间未有显著差异。这种差异可能源于物种间休眠特性与激素响应机制的特异性。

栾树种子休眠主要受制于由多层石细胞构成的致密种皮的物理阻碍,以及种皮与种胚中持续存在的内源脱落酸(ABA)的生理抑制^[4]。本研究中,3种植物激素可能均通过软化种皮细胞、拮抗内源 ABA 信号或调控下游萌发相关基因等途径,有效突破了这些障碍,从而在发芽率上表现出相似的促进效果。植物激素对台湾栾树幼苗生长有不同的影响,其中 GA₃ 处理能极显著提高幼苗主根长和叶片宽度,这与卓飞等^[14]对红果黄檀(*Dalbergia tsoi*)种子的研究一致,在激素浸种对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)种子萌发生长研究中,

GA₃在根长方面也优于 IAA^[15],可能与 GA₃调动胚内养分向根部运输有关;而 IAA 在株高促进效果最为显著,这与陈志伟^[16]对银杏(*Ginkgo biloba*)种子的激素浸种研究结果一致,可能与其更强的促进细胞伸长能力相关。以上结果表明不同植

物激素对于台湾栾树种子萌发及幼苗生长具有不同的影响,这与与张天瑶等^[17]对大粒种咖啡(*Coffea liberica*)种子的研究结果相似,外源激素在不同阶段通过不同的主导通路发挥作用。

表 5 各单因子不同水平间多重比较分析

因素	水平	发芽率/%	叶片长度/cm	叶片宽度/cm	主根长度/cm	株高/cm	冠幅/cm	真叶数
植物激素	GA ₃	89.25a	4.90a	3.59a	8.20a	8.30b	10.20a	2.85a
	IAA	92.96a	5.09a	3.38a	7.87b	8.85a	9.66a	2.89a
	NAA	91.11ab	4.90a	3.12b	7.37c	8.53ab	9.67a	2.92a
浓度	100	91.10a	5.11a	3.50a	7.98a	8.77a	10.37a	2.92a
	200	91.48a	4.89b	3.16c	7.75a	8.51b	8.99c	2.91a
	300	90.74a	4.89b	3.43b	7.72a	8.40c	10.16b	2.82b
浸种时间	24	90.00a	5.00a	3.27c	7.81a	8.21c	9.43c	2.95a
	48	90.74a	4.75b	3.33b	7.89a	8.35b	10.00b	2.79b
	72	92.59a	5.13a	3.49a	7.74a	9.12a	10.10a	2.91a

注:同列不同小写字母不同表示同一因素不同水平在 0.05 水平差异显著。

植物激素的浓度和浸种时间需要相互均衡才能达到更好的促生效果^[18]。在适宜的浓度范围内,激素能促进种子萌发和幼苗生长,而超过适宜的范围则易产生抑制效果。浸种时间的延长有利于种子吸收植物激素,但时间过长也可能导致吸收激素过量而产生相反作用,抑制种子萌发和幼苗生长。本试验中,100 mg/L 的植物激素对冠幅有极显著的影响,而随着激素浓度的上升,幼苗的叶宽、株高、冠幅均低于 100 mg/L 时的值,高浓度对部分生长指标有一定抑制作用,这与马正才等^[19]对青稞(*Hordeum vulgare*)种子研究、王伟等^[12]对黄山栾种子研究以及韦建杏等^[20]对两粤黄檀(*Dalbergia benthami*)种子研究一致。在本试验中,不同浸种时间的植物激素对台湾栾树种子萌发各项指标的影响存在差异,且并非浸种时间越长,指标提升效果越显著。如在对主根的影响方面,浸种 72 h 的促进效果要低于 48 h,这与宋占丽等^[21]对毛叶苕子(*Vicia villosa*)种子的研究一致,但在个别指标上二者却相反,这表明适宜的浸种时间可促进台湾栾树种子萌发,且随着浸种时间接近最佳值,萌发效果呈上升趋势;但超过最佳值后,相关指标会呈现下降趋势,这与刘松喆等^[22]对冠芒草(*Enneapogon borealis*)种子的研

究一致。高浓度或过长浸种时间对部分生长指标产生抑制,可能由于超出适合浓度的激素扰乱了内源激素平衡或导致代谢毒性。综合而言,本研究中浸种 72 h 对台湾栾树种子萌发生长的指标影响最大,但是否为最佳浸种时间还有待研究。

本研究通过方差、极差分析及多重比较发现,植物激素种类(A)、浓度(B)、浸种时间(C)对台湾栾树种子萌发及幼苗生长影响各异,主次效应因指标而不同,总体以激素种类和浸种时间的促进作用更为突出。其中,IAA+100 mg/L+浸种 72 h 为理论最优组合,此条件下种子发芽率达 92.96%,株高、主根长显著提升,幼苗长势均衡。实际最优组合为 NAA+100 mg/L+浸种 72 h (A₃B₁C₃),该组合下种子发芽率达 94.44%,叶片长度(5.19 cm)、冠幅(11.01 cm)均为最优,株高、真叶数等指标表现次优。本研究结果为台湾栾树的育苗实践提供了参考依据,后续研究可进一步结合内源激素测定、激素信号通路关键基因表达分析,从生理与分子层面深入阐明其特异性机制,筛选最优激素浸种组合,以此提高台湾栾树壮苗成效,并推广到农林生产实践中,这对相关产业发展有重要意义。

参考文献:

- [1] 庄树渊. 福建晋江常用园林树种综合评价分析[J]. 亚热带植物科学, 2014, 43(3): 246-250.
- [2] 李荣彩, 周金火, 黄碧丽, 等. 泉州市区行道树引种应用效果综合评价[J]. 广东园林, 2012, 34(2): 72-77.
- [3] 张文盛. 福州大学城行道树绿化现状调查与分析[J]. 防护林科技, 2018(4): 62-63.
- [4] 李近雨. 栎树种子休眠生理及催芽技术的初步研究[J]. 河北林学院学报, 1987, 2(1): 1-7.
- [5] YUAN Z, WANG C, LI S, et al. Effects of different plant hormones or PEG seed soaking on maize resistance to drought stress[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2014, 94(8): 1491-1499.
- [6] 杨照辉. 激素浸种和叶面喷施对云南松苗木生长的影响[J]. 防护林科技, 2025(3): 61-64.
- [7] 曹双, 刘瑞, 范长有, 等. 不同激素浸种对北柴胡种子萌发的影响[J]. 现代农业科技, 2024(20): 77-80.
- [8] 贾鑫, 王素巍, 张英, 等. 赤霉素和生长素浸种对多叶棘豆种子萌发的影响[J]. 种子, 2020, 39(10): 12-15.
- [9] JABBOUR A, ABDULAZIZ A. The impact of chemical and hormonal treatments to improve seed germination and seedling growth of *Juniperus procera* Hochst. ex Endl [J]. PeerJ, 2024, 12: e17236.
- [10] 鲍土旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 宁黄, 刘革宁, 杨继生, 等. 赤霉素浓度和浸种时间对枫香种子萌发的影响[J]. 种子, 2021, 40(3): 97-101.
- [12] 王伟, 蔡梦影, 万佳. 不同激素对黄山栎种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 林业科技, 2021, 46(5): 9-11.
- [13] 兰琳英, 李以同, 周杰, 等. 植物生长调节剂对海州常山种子萌发的影响[J]. 福建林业科技, 2021, 48(4): 47-51.
- [14] 卓飞, 韦建杏, 田乐宇, 等. 植物生长调节剂对红果黄檀种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 园艺与种苗, 2024, 44(1): 19-21, 32.
- [15] 袁莲珍, 杨斌, 刘际梅, 等. 外源植物激素对杉木种子萌发及苗木生长的影响[J]. 四川林业科技, 2020, 41(6): 75-79.
- [16] 陈志伟. 不同化学试剂对银杏种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 农业工程技术, 2024, 44(28): 33-34.
- [17] 张天谣, 黄家卫, 贾敏, 等. 不同植物生长调节剂对大粒咖啡种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2025, 44(1): 155-161, 169.
- [18] 张婷, 付艳茹. 不同外源激素处理对铁线莲扦插生根的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(11): 2669-2671.
- [19] 马正才, 马月芳. 不同浓度植物激素对青稞种子萌发及育苗的影响[J]. 甘肃高师学报, 2021, 26(5): 14-19.
- [20] 韦建杏, 吴金群, 田乐宇. 4种外源激素处理对两粤黄檀种子萌发的影响[J]. 林业科技通讯, 2023(10): 82-85.
- [21] 宋占丽, 秦德明, 刁永强, 等. 不同浸种时间对毛叶苕子种子吸胀作用及萌发的影响[J]. 种子科技, 2021, 39(13): 29-30.
- [22] 刘松喆, 陈翔, 张健, 等. 赤霉素及浸种时间对冠芒草种子萌发的影响[J]. 农村科学实验, 2025(4): 163-165.