

不同种子及处理方式对红河橙播种幼苗生长的影响

丁子龙^{1,2}, 李坤明², 李 斌^{2*}, 陈 瑶², 丁仁展¹

(1. 西南林业大学 林学院, 昆明 650224; 2. 云南省农业科学院 园艺作物研究所, 昆明 650205)

[摘要]为探究不同种子及处理方式对红河橙播种幼苗生长的影响, 研究分析了红河橙母株、果实质量、种子含水量、赤霉素(GA₃)浸种浓度等4个因素对其播种繁殖幼苗生长指标的影响, 以为红河橙人工育苗提供理论参考。结果表明: 平均单果质量大于1 000 g的红河橙播种苗的株高(13.67 cm)、地上部鲜质量(1.59 g)、根鲜质量(0.80 g)表现最优, 而平均单果质量介于300~400 g的红河橙播种苗的所有指标均最低; 不同母株的红河橙播种苗指标差异较大, YJYL-01的株高最高(13.18 cm), HHNM-04的株高最低(8.40 cm), YJHQD-05的根鲜质量、根干质量、地上鲜质量和地上干质量最小(分别为0.43、0.13、0.75、0.23 g); 5个GA₃浸种浓度处理组间播种苗的根长、根数、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积等指标均无显著差异, 但400 mg/L GA₃浸种后的播种苗株高(14.49 cm)显著高于其他4个处理组; 不同种子含水量对红河橙播种苗的生长影响不显著。综上可知, 以YJYL-01、YJZD-01等优质母株为采果树, 挑选果实质量大于500 g的果实取种, 并用400 mg/L GA₃浸种5 h后播种, 可获得红河橙优质种苗。

[关键词]红河橙; 播种育苗; 母株差异; 果实质量; 种子含水量; 赤霉素

中图分类号: S666.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-450X(2026)04-0095-07

Effects of Different Seed Varieties and Treatment Methods on Seedling Growth of *Citrus hongheensis*

DING Zilong¹, LI Kunming², LI Bin^{2*}, CHEN Yao², DING Renzhan¹

1. Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

2. Institute of Horticultural Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China

Abstract: This study investigated the effects of four factors—mother trees, fruit quality, seed water content and gibberellic acid (GA₃) soaking concentration—on the growth of *Citrus hongheensis* seedlings from seed propagation. The results showed that seedlings derived from fruits with an average single-fruit weight >1000 g exhibited the best performance in terms of plant height (13.67 cm), aboveground fresh weight (1.59 g), and root fresh weight (0.80 g). In contrast, seedlings from fruits weighing 300~400 g had lower values for all measured traits (including plant height and root length) compared to the other three treatments. Seedling traits varied considerably among different mother trees: mother tree YJYL-01 produced the tallest seedlings (13.18 cm), while HHNM-04 produced the shortest (8.40 cm). Seedlings from YJHQD-05 had the lowest root fresh weight, root dry weight, aboveground fresh weight, and aboveground dry weight (0.43, 0.13, 0.75, 0.23 g, respectively). No significant differences were observed among the five GA₃ concentration treatments for root length, root number, leaf fresh weight, leaf dry weight, or leaf area. However, seedlings treated with 400 mg/L GA₃ showed significantly greater plant height (14.49 cm) than those in the other four treatment groups. In addition, seed water content did not significantly affect seedling growth. In summary, high-quality *Citrus hongheensis* seedlings can be obtained by selecting fruits from superior mother trees (YJYL-01, YJZD-01), choosing fruits weighing >500 g, extracting seeds, soaking them in 400 mg/L GA₃ for 5 hours, and then sowing.

收稿日期: 2026-05-21

基金项目: 云南省农业科学院-果蔬科技创新与产业服务能力提升专项项目(2024RCYP-20);

国家科技资源共享平台项目(NHGRC2025-NH19)

作者简介: 丁子龙(2001—), 男, 在读硕士, 研究方向为森林资源培育与利用。E-mail: 13181394349@163.com

*通信作者: 李斌(1991—), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为果树种质资源学。E-mail: libin2015caf@126.com

Key words: *Citrus hongheensis*; seed propagation; differences among mother trees; fruit quality; seed water content; GA₃

红河橙 (*Citrus hongheensis*) 是芸香科 (Rutaceae) 柑橘属 (*Citrus*) 大翼橙亚属的常绿乔木 (图 1), 仅在云南省元江县、红河县等干热河谷地区零星分布^[1-2]。作为云南特有种, 红河橙的发现与定名, 为确立中国是柑橘属植物的原始起源与演化中心提供了有力佐证^[3]。红河橙株型高大, 高度可达 10 m; 枝干带刺, 以徒长枝和隐芽枝的刺尤为发达; 翼叶发达, 长度是本叶的 2~3 倍; 花瓣洁白, 为总状花序; 果皮极厚, 果肉黄白色, 味酸苦且不宜食用。红河橙幼果可作中药“枳壳”, 用以理气宽中; 成熟叶片富含精油, 可作牛羊肉的香辛调料; 此外, 该物种在干旱贫瘠条件下生长良好, 可作为柑橘抗性育种材料和嫁接柑

橘的砧木^[2,4]。

近年来, 受栖息地破坏、种子自然萌发困难、乱砍乱伐等多重因素影响, 红河橙现存种群规模极小, 且多为古树, 林下幼苗罕见, 已被列为国家二级野生濒危保护植物^[5]。当前, 通过播种繁殖培育优质种苗是缓解红河橙濒危现状的重要手段。然而, 现有针对红河橙播种育苗的研究主要集中在外源激素、温度、储藏时间对种子萌发的影响^[2-4,6], 鲜见对红河橙幼苗生长影响因素研究的报道。本研究探究了母株差异、果实质量、种子含水量和赤霉素 (GA₃) 浸种浓度等 4 个因素对红河橙播种苗生长发育的影响, 以为人工培育红河橙优质种苗提供理论依据。



图 1 红河橙资源图片

1 材料和方法

1.1 试验材料

以红河橙种子为试验材料。2024 年 10 月在云南省红河县、元江县采收成熟且无病虫害的红河橙果实, 挑选并取出健康饱满、大小均一的种子, 用无菌水洗净, 自然阴干后于 4 °C 贮藏 180 d。2025 年 4 月在育苗穴盘播种 (基质为

$V_{\text{泥炭土}}:V_{\text{珍珠岩}}:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{红土}}:V_{\text{生态有机肥}}=3:1:1:1:1$, 用浓度为 0.05% 的多菌灵溶液杀菌消毒), 设定温度为 20~25 °C, 保持土壤湿润。

1.2 试验方法

各处理均设 3 次重复, 每个重复 30 粒种子。播种 90 d 后, 测定红河橙播种苗的株高、根长、根数、根鲜质量、根干质量、地上部鲜质量、地上部

干质量、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积、地径,其中叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积从每个幼苗植株选取东南西北4个方向的4片叶子测定,叶面积使用软件数图田调测定。试验处理设置如下,分别观测采种母株、果实质量、种子含水量、GA₃浸种浓度对其播种幼苗的影响。

(1)不同母株:以来自18棵不同母株的红河橙种子播种90 d后进行测定。

(2)不同果实质量:将质量不同的果实分为4个等级,分别播种。1级>1 000 g,800 g<2级<900 g,500 g<3级<600 g,300 g<4级<400 g。

(3)不同含水量种子:将红河橙种子分为鲜种子(含水量61.91%)、阴干10 d(含水量8.52%)、阴干30 d(含水量7.34%)、阴干60 d(含水量6.39%)4个类别播种。

(4)不同浓度GA₃浸种:分别配制0、200、400、600、800 mg/L的GA₃溶液,将种子分别放在5种不同浓度的GA₃溶液中浸种5 h后播种。

1.3 数据分析

试验数据使用SPSS Statistics 27进行单因素方差分析,使用Origin 2024、Adobe Illustrator 2024、Adobe Photoshop 2025软件作图。

2 结果与分析

2.1 母株对红河橙播种苗的影响

由图2可知,不同母株的红河橙播种苗指标差异较大。YJYL-01的株高最高(13.18 cm),其次是YJDM-04(12.30 cm),HHNM-04株高最低,仅为8.40 cm,较YJYL-01矮了36.27%;YJHQD-05的根长最长,达17.67 cm,YJYL-03根长最短,仅为9.20 cm,较YJHQD-05短了47.93%;YJYJ-04的根数最多,为18.33根,HHNM-05根数最少,仅为6.83;YJHQD-04的叶面积最大(2019.40 mm²),其次是YJYJ-04(1720.13 mm²);HHMJ-03的地径最大(3.40 mm),HHNM-04地径最小(1.62 mm);YJZD-01的根鲜质量(0.89 g)、根干质量(0.28 g)最大,YJYJ-04地上部鲜质量(1.32 g)、地上部干质量(0.43 g)最大,YJHQD-05根鲜质量、根干质量、地上部鲜质量和地上部干质量最小(分别为0.43 g、0.13 g、0.75 g和0.23 g);YJHQD-04的叶片鲜质量(0.36 g)、叶片干质量(0.11 g)最大,YJDM-03叶片

鲜质量(0.16 g)最轻,YJHQD-05的叶片干质量(0.06 g)最轻。

2.2 果实质量对红河橙播种苗的影响

不同果实质量的红河橙播种苗如图3所示。由表1可知:果实质量为1级的红河橙播种苗株高(13.67 cm)、地径(3.99 mm)、地上部鲜质量(1.59 g)、根鲜质量(0.80 g)等表现最优,4级的播种苗的所有指标表现最差,地上部鲜质量(1.00 g)、地上部干质量(0.32 g)、叶片鲜质量(0.21 g)、叶片干质量(0.06 g)、叶面积(1 163.20 mm²)指标均显著低于其他处理($P<0.05$);在根长、根数指标上,4个等级的播种苗均无显著差异。由此可知,红河橙果实质量越大,其播种苗的生物量越高,植株生长得越好。

2.3 种子含水量对红河橙播种苗的影响

图4为不同含水量的红河橙播种苗。由表2可知,不同种子含水量各处理播种苗的株高、根长、根鲜质量、根干质量、地上部鲜质量、叶片干质量、叶面积7个指标均无显著差异。地径则以鲜种子播种苗最大(2.78 mm),显著高于其他处理;阴干30 d的播种苗根数(4.67)显著高于鲜种子的(2.33);鲜种子和阴干10 d的播种苗叶片鲜质量(均为0.20 g)显著高于阴干60 d(0.15 g)的播种苗。

2.4 GA₃浸种浓度对红河橙播种苗的影响

不同GA₃浸种浓度处理的红河橙播种苗如图5所示。由表3可知:5个GA₃浸种浓度处理组间播种苗的根长、根数、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积等指标均无显著差异;株高以400 mg/L GA₃浸种的播种苗植株最高(14.49 cm),且与其他4个处理差异显著;地径以200 mg/L GA₃浸种的播种苗最低(2.35 mm),显著低于其他4个处理组。根鲜质量、根干质量均以未用GA₃浸种的播种苗最大,分别为0.87、0.26 g;200 mg/L GA₃浸种的播种苗根鲜质量(0.53 g)、根干质量(0.17 g)、地上部鲜质量(1.06 g)、地上部干质量(0.34 g)最小,较未用GA₃浸种的播种苗分别减小了39.08%、34.62%、17.19%和17.07%;400 mg/L GA₃浸种的播种苗地上部鲜质量(1.61 g)、地上部干质量(0.52 g)最大,根鲜质量(0.77 g)、根干质量(0.25 g)仅次于未用GA₃浸种处理。

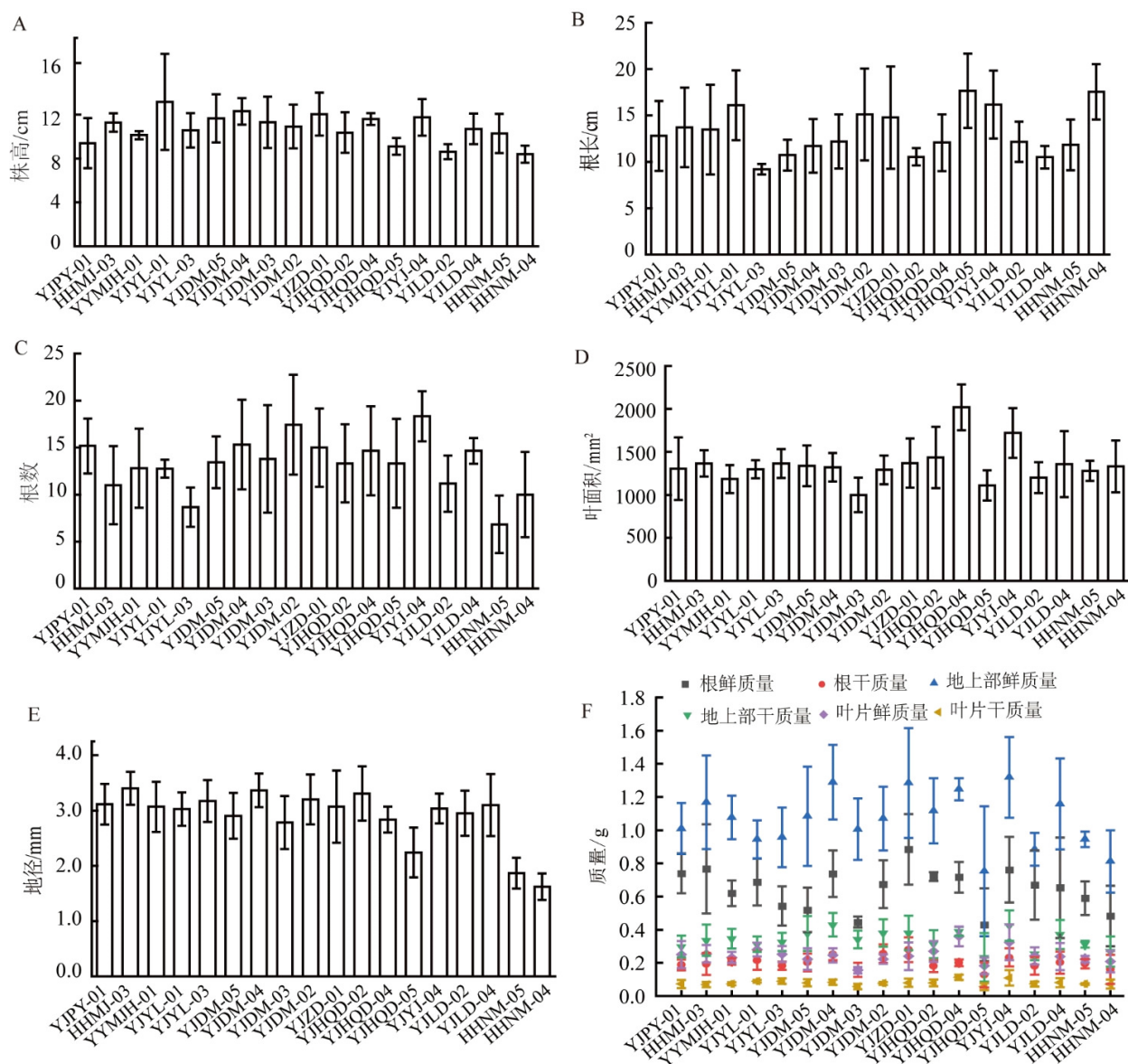


图2 红河橙不同母株的播种苗生长指标

表1 红河橙不同果实质量的播种苗生长指标

果实质量	株高/cm	根长/cm	根数	地径/mm	根鲜质量/g	根干质量/g
1 级	13.67±2.20a	13.86±4.31a	17.78±4.99a	3.99±0.52a	0.80±0.16a	0.27±0.04a
2 级	13.22±2.73ab	13.88±4.38a	15.00±7.43a	3.30±0.42b	0.78±0.29a	0.23±0.08ab
3 级	12.20±1.66ab	13.83±3.65a	18.44±6.09a	3.35±0.40b	0.69±0.18ab	0.20±0.07ab
4 级	11.06±1.99b	13.74±3.99a	13.44±5.32a	2.85±0.35c	0.52±0.17b	0.17±0.06b
果实质量	地上部鲜质量/g	地上部干质量/g	叶片鲜质量/g	叶片干质量/g	叶面积/mm ²	
1 级	1.59±0.37a	0.48±0.11a	0.29±0.06a	0.09±0.02a	1 563.77±228.31a	
2 级	1.58±0.30a	0.48±0.12a	0.30±0.05a	0.08±0.02a	1 707.16±254.61a	
3 级	1.43±0.19a	0.46±0.07a	0.27±0.03a	0.08±0.01a	1 541.04±163.69a	
4 级	1.00±0.36b	0.32±0.09b	0.21±0.06b	0.06±0.02b	1 163.20±283.88b	

注：数据采用平均值±标准差，同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），下同。



图3 红河橙不同果实质量的播种苗比较

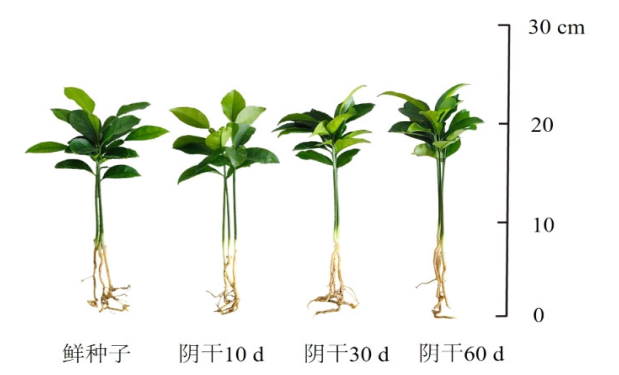


图4 红河橙不同种子含水量的播种苗比较

表2 红河橙不同种子含水量的播种苗生长指标

处理	株高/cm	根长/cm	根数	地径/mm	根鲜质量/g	根干质量/g
鲜种子	12.33±1.27a	9.30±2.62a	2.33±1.53b	2.78±0.26a	0.32±0.04a	0.06±0.01a
阴干 10 d	12.40±0.62a	7.50±0.98a	3.67±1.15ab	2.11±0.14b	0.34±0.03a	0.06±0.01a
阴干 30 d	13.13±0.65a	8.87±3.23a	4.67±1.15a	2.08±0.21b	0.33±0.05a	0.05±0.01a
阴干 60 d	12.33±0.59a	7.10±1.65a	2.67±0.58ab	2.02±0.12b	0.28±0.06a	0.05±0.01a

处理	地上部鲜质量/g	地上部干质量/g	叶片鲜质量/g	叶片干质量/g	叶面积/mm ²
鲜种子	0.74±0.09a	0.09±0.03b	0.20±0.01a	0.04±0.01a	1 292.93±53.59a
阴干 10 d	0.77±0.07a	0.15±0.01a	0.20±0.02a	0.04±0.01a	1 193.50±185.62a
阴干 30 d	0.69±0.02a	0.13±0.01ab	0.17±0.02ab	0.04±0.01a	1 064.00±146.18a
阴干 60 d	0.69±0.10a	0.12±0.03ab	0.15±0.02b	0.03±0.01a	974.03±248.56a

表3 红河橙不同 GA₃ 浓度浸种的播种苗生长指标

GA ₃ 浓度	株高/cm	根长/cm	根数	地径/mm	根鲜质量/g	根干质量/g
0 mg/L	10.43±1.20b	11.72±2.12a	12.89±5.35a	2.89±0.32a	0.87±0.21a	0.26±0.09a
200 mg/L	10.73±1.00b	14.24±4.28a	15.33±6.61a	2.35±0.26b	0.53±0.11c	0.17±0.05c
400 mg/L	14.49±2.30a	12.21±3.23a	15.67±6.25a	2.76±0.36a	0.77±0.13ab	0.25±0.06ab
600 mg/L	11.72±1.51b	12.11±2.59a	12.56±6.19a	2.95±0.29a	0.64±0.19bc	0.20±0.05bc
800 mg/L	11.92±1.89b	12.22±4.34a	15.56±8.90a	2.90±0.27a	0.62±0.11bc	0.21±0.06abc

GA ₃ 浓度	地上部鲜质量/g	地上部干质量/g	叶片鲜质量/g	叶片干质量/g	叶面积/mm ²
0 mg/L	1.28±0.16b	0.41±0.03bc	0.30±0.10a	0.10±0.03a	1 642.90±481.83a
200 mg/L	1.06±0.20b	0.34±0.08c	0.25±0.07a	0.08±0.02a	1 503.44±208.66a
400 mg/L	1.61±0.36a	0.52±0.11a	0.27±0.07a	0.09±0.03a	1 535.36±260.67a
600 mg/L	1.26±0.38b	0.40±0.12bc	0.32±0.18a	0.09±0.05a	1 669.57±671.46a
800 mg/L	1.33±0.28b	0.45±0.13ab	0.25±0.06a	0.08±0.02a	1 510.69±385.67a



图5 红河橙不同 GA₃ 浓度浸种的播种苗比较

3 讨论

研究表明,母株个体间种质特性、遗传背景及生理代谢的差异会直接作用于种子活力,进而影响播种苗的株高、鲜质量等生长指标,使幼苗的生长态势表现出显著差异^[7-9]。在本研究中,不同红河橙母株的播种苗株高、根长及地径等生长指标均存在差异,表明母株间遗传背景的差异可能会影响红河橙播种苗的生长发育。这与文冠

果(*Xanthoceras sorbifolia*)、五角枫(*Axer mono*)等植物的研究结果相一致^[6, 10-11]。

果实质量(单果质量)关乎种子的活力与营养储备,进而影响幼苗生长,质量较大果实的种子因营养充足、活性高,更能促进幼苗早期形态建成与物质积累,展现出更优的初期生长势^[12-13]。尚帅斌等^[13]研究发现,青皮(*Vatica mangachapoi*)果实质量偏小时,所结种子培育的幼苗在株高、地径指标上均表现出显著劣势。在本研究中,红河橙果实质量越大,其播种苗的生物量越高,植株生长得越好。二者结果一致,进一步印证了果实质量越小,其种子萌发后幼苗的株高、根长、鲜质量等性状表现越差这一规律^[14]。

种子含水量是调控幼苗生长的重要因素,含水量适宜能维持细胞膜结构稳定和酶活性,为幼苗株高增长、根系伸长及鲜质量积累提供保障^[15]。含水量过高会加速种子劣变、降低活力,致使幼苗细弱;过度脱水则破坏胞内结构、抑制代谢,造成根系发育迟缓、生物量降低^[16]。在本研究中,由不同含水量种子萌发的红河橙播种苗在株高、根长、根鲜质量、根干质量、地上部鲜质量、叶片干质量、叶面积等指标上均无显著差异,可能是种子含水量仍在适宜生理区间内,未超出临界阈值,因此对红河橙播种苗早期生长未产生明显抑制或促进作用。这与柳枝稷(*Panicum virgatum*)、柚木(*Tectona grandis*)等植物的研究结果一致^[17-18]。

植物激素对种子萌发及幼苗的生长发育具有重要调控作用,其中GA₃能够促进植株地上部分的生长和调控幼苗形态建设^[19-20]。在本研究中,未用GA₃浸种的红河橙播种苗株高低于其他4个处理,400 mg/L GA₃浓度浸种的播种苗株高最高,且与其他4个处理差异显著,这表明外源GA₃溶液浸种能促进红河橙地上部分的生长。这与樟子松(*Pinus sylvestris*)、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、水稻(*Oryza sativa*)幼苗的研究结论相似^[21-22]。

4 结论

红河橙播种苗的生长发育受母株遗传特性、

果实大小、种子含水量、GA₃浸种浓度多重因素影响,通过合理选择可显著提升播种幼苗生长发育质量。在人工育苗过程中,宜选择优良母株(YJYL-01、YJZD-01、YJYJ-04等)所结、单果质量大于500 g的红河橙鲜种子,用400 mg/L GA₃溶液浸种5 h后播种,可获得红河橙优质种苗。

参考文献:

- [1] 全国柑桔资源调查协作组. 云南红河橙——柑桔属大翼橙亚属的一个新种[J]. 柑桔科技通讯, 1976(4): 34-35.
- [2] 李月艳, 牟凤娟. 低温与存储时间对红河橙种子萌发的影响[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(3): 89-96.
- [3] 李军, 蒙进芳, 石文革, 等. 激素处理对红河橙种子发芽的影响[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(16): 105-108.
- [4] 牟凤娟, 黄必娇, 李双智, 等. 野生与栽培红河橙叶表型性状比较研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(2): 56-60.
- [5] 孙卫邦. 云南省极小种群野生植物保护名录[M]. 2021版. 昆明: 云南科技出版社, 2022.
- [6] 高玉红, 李月艳, 魏萌, 等. 红河橙叶表型遗传多样性研究[J]. 中国南方果树, 2022, 51(4): 14-19, 24.
- [7] CASTRO J. Seed mass versus seedling performance in Scots pine: a maternally dependent trait[J]. The New Phytologist, 1999, 144(1): 153-161.
- [8] 陈勇, 唐昌亮, 李浩. 不同基质及母株对洋紫荆种子发芽的影响[J]. 热带农业科学, 2018, 38(10): 10-13.
- [9] 吴志华, 陈粤超, 张苇, 等. 不同子代桐花树幼苗生长适应性比较[J]. 桉树科技, 2017, 34(1): 32-35.
- [10] 王艺林, 吕东, 刘贤德, 等. 5个种源文冠果果实和种子表型性状变异分析[J]. 经济林研究, 2018, 36(3): 38-47.
- [11] 张翠琴, 姬志峰, 林丽丽, 等. 五角枫种群表型多样性[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5343-5352.
- [12] 邓秋菊, 王克春, 曹凡, 等. 不同薄壳山核桃单株种子果实品质与发芽特性比较[J]. 北方园艺, 2016(20): 14-17.
- [13] 尚帅斌, 郭俊杰, 汪奕衡, 等. 果实成熟度对青皮种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2014, 33(7): 27-29.
- [14] 杨水保. 闽楠种子特性与苗木生长关联的研究[J]. 福建林业, 2015(2): 37-40.
- [15] 崔凯, 李昆, 廖声熙. 坡柳种子对脱水干燥的生理生化响应[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 619-626.
- [16] 闫慧芳, 孙娟. 含水量和劣变时间对高丹草种子活力及幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(12): 152-

- 160.
- [17] 何学青,沙亚·海拉提,龙明秀,等. 超干处理对柳枝稷种子活力及幼苗生长特性的影响[J]. 草地学报,2017,25(5):1055-1060.
- [18] 郝海坤,黄志玲,彭玉华,等. 柚木种子耐脱水性及其对幼苗生长的影响[J]. 广西林业科学,2016,45(4):386-390.
- [19] 余文才,孔广红,亚华金,等. 外源植物激素对橡胶树超氧化物歧化酶活性及基因表达的影响[J]. 热带农业科技,2025,48(3):62-68.
- [20] 魏丽萍,刘世红,岳海,等. GA_3 和6-BA对降香黄檀种子发芽的影响[J]. 热带农业科技,2014,37(2):25-27.
- [21] 纪秀娥,蔡景竹,史留功,等. 赤霉酸对3种针叶树幼苗生长及生理特性的影响[J]. 河北林果研究,2007(1):1-3.
- [22] 乔娇. 外源赤霉素对盐胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 亚热带植物科学,2024,53(6):512-519.