

山桃组培苗无糖生根培养研究

刘福云, 孙怡婷, 徐一超, 卢 显, 张 东, 赵彩平

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:针对桃组培苗生根率低, 侧根少, 质地脆, 移栽成活率低的情况, 研究采用无糖生根技术, 以山桃(*Prunus davidiana*)组培苗为实验材料, 探讨了生长素、蛭石含水量对山桃根系发育的影响, 并观察了不同时期山桃根系和地上部的生长发育情况。结果表明: ①生长素为 1.0 mg/L IBA 时, 山桃生根情况最好。②适宜山桃无糖生根的蛭石含水量为 65%~70%。③山桃组培苗培养到第 10 天可以观察到明显的根尖, 第 25 天时生根率达到 100%, 第 35 天时最适合移栽。无糖生根能明显改善山桃组培苗的生根情况, 生根率和平均生根数显著提高, 苗子生长健壮, 根系发达, 操作简单, 适宜在生产中推广使用。

关键词:山桃; 组培苗; 无糖生根; 根系扫描

中图分类号:S685 **文献标识码:**A **文章编号:**0488-5368(2022)05-0054-06

Study on Sugar-free Rooting Culture in Tissue Culture Plantlets of *Prunus davidiana*

LIU Fuyun, SUN Yiting, XU Yichao, LU Xian, ZHANG Dong, ZHAO Caiping

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Focus on the low rooting rate, few lateral roots, brittle texture and low survival rate of transplanting peach tissue culture seedlings, the sugar-free rooting technology was used in this study. With the tissue culture seedlings of *Amygdalus davidiana* as experimental materials, the effects of auxin and vermiculite water content on the root development of peach were studied. The growth and development of root system and aboveground part of peach in different periods were observed. The results showed that: ①The rooting condition was the best in the case that the auxin was 1.0 mg/L IBA. ②The suitable vermiculite water content of sugar-free rooting was 65%~70%. ③On the 10th day of tissue culture, obvious root tips could be observed. The rooting rate reached 100% on the 25th day, and the 35th day was the most suitable for transplantation. Rooting without sugar could significantly improve the rooting condition of tissue culture seedlings of peach, the rooting rate and average number of roots were significantly increased, the seedlings grew healthily, the root system was developed, the operation was simple, which was suitable for popularization and application in production.

Key words: *Prunus davidiana*; Tissue culture seedling; Sugar-free rooting; Root scanning

桃树繁殖方法主要有实生砧木嫁接育苗、扦插育苗和组培快繁育苗^[1]。实生砧木嫁接育苗是我国目前主要的桃苗繁育方法, 实生苗根系发达, 育苗简单, 已广泛应用于桃苗木的生产。但实生砧木生产周期长, 效益低, 出苗整齐度差, 且适应性不一, 不适用于规范化建园^[2]。种质纯净、生长整齐、能保持优良性状的无性系砧木能够有填补实生砧木的缺陷。

无性系苗木的生产主要包括扦插育苗和组织培养育苗。扦插生根率较低, 扦插后的环境因素如光强、温度、湿度、通气等不易控制, 而且高湿度下枝条容易产生病害, 需要配备专门的育苗场地以及人员, 管理难度大, 成本高^[3,4]。组织培养育苗既能保持母株的优良特性, 又能在短时间内提供大量优质、无毒苗木, 且可以实现周年生产, 是一种优质的苗木繁殖方

收稿日期: 2021-04-24 修回日期: 2021-06-18

基金项目: 陕西省重点研发计划(2018NY-048)。

第一作者简介: 刘福云(1996-), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 从事果树组培方向研究。

通信作者: 赵彩平。

法^[1]。但桃组培苗的生根比一般果树困难,且受生长素种类及浓度、体外培养时间^[5]、培养基类型^[6]、碳源^[7]影响很大,而在生根培养基上添加活性炭^[8]、间苯三酚^[5,9]、硫酸^[10]等对桃组培苗的生根效果在不同品种间差异较大,没有稳定的方法适用于所有桃组培苗的生根。受制于离体组织培养快繁中的污染、生根难和育苗成本高等问题,桃组织培养育苗还没有广泛应用于生产。

无糖组织培养技术,又叫光自养组织培养技术,是由日本千叶大学的古在丰树教授发明的。技术核心是用持续不断泵入的气体 CO₂ 作为碳源,促使组培苗由兼养型转为自养型,从而生产根系发达、生长健壮的苗木^[11]。无糖培养通过提高植物的自养能力,减少植物形态结构发育差,生理功能弱等问题^[12]。无糖生根技术在花卉^[13,14]和药用植物^[12]中应用较多,近年来在苹果^[15]、油茶^[16]和欧李^[17]苗木生产中也开始推广应用。有糖组培环境湿度大,不利于空气流通,组培苗根系发育不良,侧根少,质地脆,移栽时容易断裂。而且组培苗长期处于低 CO₂ 浓度的环境,气孔长期开放,调节能力低^[18],移栽时苗子极易失水而导致枯萎死亡^[19]。与有糖生根培养相比,无糖培养用蛭石代替了价格高的琼脂粉^[17],每盒可以生产几十株,成本低廉。无糖培养过程中由于没有添加糖类,接种过程中不易发生污染,夏秋污染高发的时期,有时无糖组培盒会产生一些真菌,但菌斑不易扩散,附近的苗子都不受影响,污染损失率低。无糖生根处理以蛭石为基质,基质疏松多孔,有利于幼苗下部的气体交换^[15],生产出的幼苗根系发达,有大量侧根形成,根系活力强^[20],木质化程度高,移栽时不易断裂。而且蛭石与移栽用基质的环境相似,移栽前不用炼苗^[15],苗子在温室培养至半米高即可移至大田,可极大缩短无性系砧木的生产时间。

桃砧木主要采用毛桃和山桃,山桃适应性强,耐旱、耐寒、耐盐碱,嫁接亲和力强,为我国北方桃产区的主要砧木^[2],应用范围广。目前山桃主要采用种子繁殖,播种时间分为春播和秋播,春播前需要进行沙藏和催芽处理,秋播不需要处理但发芽慢^[21,22]。实生繁殖的山桃造林耗时久,出苗整齐度差,后代性状分离,适应性不一,不利于规模化建园。无糖生根技术能解决组培生根培养中的污染和生根难的问题,并且育苗成本低于有糖生根培养技术,育苗周期短,后代性状稳定,有助于优质山桃种质的推广和应用。

研究以山桃组培苗为实验材料,采用无糖生根技术,通过对山桃生根中生长素和含水量的筛选,

以及不同生根时期山桃根系和地上部的生长情况统计,为山桃无糖组培快繁提高参考,进一步为其他砧木和优质杂交桃品种的无性繁殖提供参考,以期实现桃苗木繁殖的规模化、工厂化生产。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验于2019年5月至2020年11月在西北农林科技大学园艺学院组培室进行,位于陕西省咸阳市杨凌区内。实验所用的山桃母树位于西北农林科技大学园艺场桃种质资源圃,为17年生的实生成年树,实验地土壤类型为沙壤土。以山桃离体茎尖培养而成的组培苗为试验材料,选择继代30d后的组培苗新梢进行生根诱导试验。

1.2 实验方法

1.2.1 生长素种类及浓度的筛选 每升纯水中加入2.215g MS(Murashige and Skoogmedi)培养基,再加入生长素配置成终浓度分别为1.0和1.5 mg/L IBA(Indole-3-butyric acid)、0.5和1.0 mg/L NAA(1-Naphthaleneacetic acid)的营养液,最后用1 mol/L的NaOH溶液调pH至5.8。将蛭石放入灭菌袋中,和营养液一起放入高压灭菌锅中,121℃灭菌21min,再于洁净的地方放凉。开紫外前提前将组培盒和蛭石转移至在超净工作台消毒。先向无糖组培盒中倒入蛭石,再加入营养液至蛭石上方出现一条水线。切去山桃组培苗茎基部的愈伤组织,保留所有叶片,插入蛭石中。每个处理设置三个重复,每个重复接种10棵苗。生根处理30d后,打开盒盖统计山桃的生根率和平均生根数。用根系分析仪分别扫描每个重复的根系,再用分析软件分析出各项根系指标,用Excel计算每株山桃的根长、平均根直径、根体积和根表面积。

1.2.2 蛭石初始含水量的筛选 在筛选出生长素种类及浓度的基础上,配制生长素为1.0 mg/L IBA,其他物质同上的营养液,向蛭石中加入营养液至蛭石含水量分别为65%、70%、75%,灭菌放凉后接种山桃组培苗。每个处理设置三个重复,每个重复接种10棵苗。统计方法如上。

1.2.3 山桃无糖生根不同时期根系和地上部的生长发育情况 配制生长素为1.0 mg/L IBA,其他物质同上的营养液。由于生根培养时间较长,后期山桃苗易缺水干枯,向蛭石中加入营养液至蛭石初始含水量为75%,灭菌放凉后接种山桃组培苗。挑选茎秆粗壮、叶片多而浓绿的山桃组培苗接种到蛭石上,分别培养至0d、10d、15d、20d、25d、30

d、35 d、40 d,统计山桃苗的根系生长情况和地上部生长情况,根系生长指标统计如上,山桃苗地上部统计指标包括山桃组培苗株高(茎基部到生长点距离)、叶片数和茎粗。每个处理三个重复,每个重复 6 棵苗。

1.3 环境控制参数

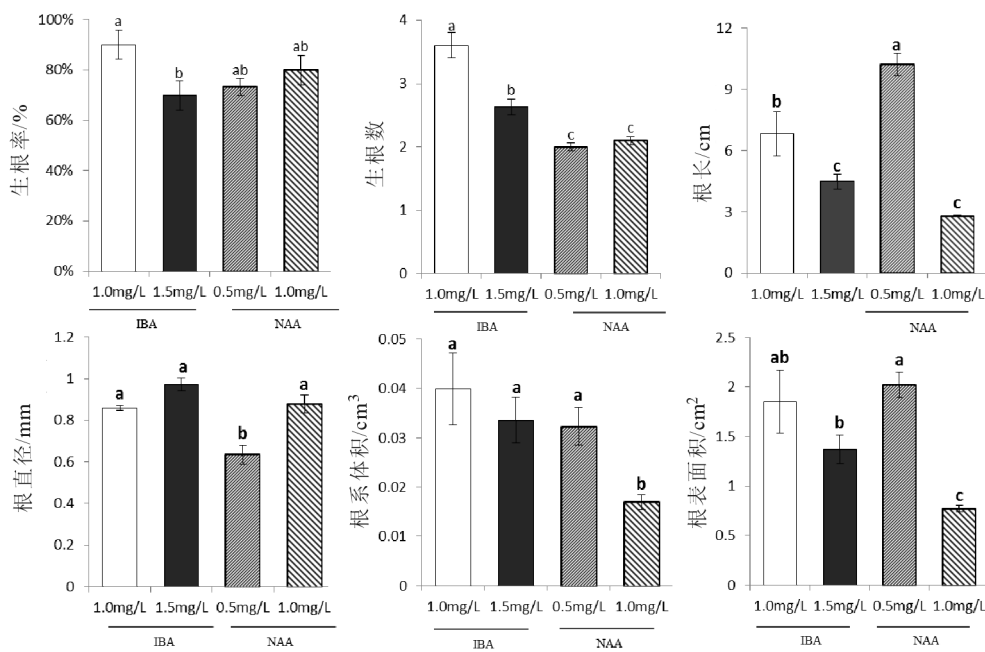
无糖培养系统购自上海离草科技有限公司,主要包括组培架、无糖组培盒、二氧化碳气瓶、气泵、LED 灯、控制器等。为防止二氧化碳逃逸,设置一块密闭避光的空间作为无糖组培室,配置空调调节培养间温度。无糖组培盒的 CO_2 浓度为 $1\ 000 \pm 100\ \text{mL/L}$,组培室温度为 $23 \pm 2^\circ\text{C}$,空气湿度为 $50 \pm 5\%$ 。接种后先密封通气孔遮光,3 d 后见光并通入气体 CO_2 。 CO_2 气阀在第 4 天打开 1/2,两周后全开。光周期为光照 16 h/黑暗 8 h。无糖组培盒上方 30 cm 处单根 LED 灯管的光照度为 $37 \sim 40\ \mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,共设置四根灯管。第 4 天打开中间的一根 LED 灯管,之后每隔一周开一根灯管。

1.4 指标测定与数据统计

生根率 = 生根苗数/总苗数;平均生根数 = 总生根数之和(主根数 + 1 cm 以上的侧根数)/总苗数;含水量 = 营养液重量/营养液与干蛭石的总重量;根长、根系直径、根体积、根表面积由根系扫描仪扫描根系,并通过扫描分析软件分析,最后汇总计算得到。根系扫描仪型号为 EPSON 12 000XL,扫描灰度为 8 位, DPI 为 400,扫描软件为 eson scan2,分析软件为 WinRHIZO pro。利用直尺测得株高;叶片数为每株山桃上的展开叶的叶片数;每株苗子的粗度为山桃苗茎杆上中下三个点的平均粗度,由美耐特牌游标卡尺测得。使用 Microsoft Office Excel 2019 和 IBM SPSS Statistics 22 软件进行数据处理和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同生长素种类及浓度对山桃根系生长发育的影响



注:图中柱状图上的小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

图 1 不同生长素种类及浓度对山桃根系生长的影响

生长素的种类及浓度对植物根系的诱导和发育非常重要,生根的好坏主要表现为生根率和根系质量。生根数、根长、根系直径和根系体积越大,植物根系越发达;根系表面积越大,根系越舒展。从图 1 可以看出,当培养基中添加 IBA 浓度为 1.0 mg/L 时,山桃试管苗的生根效果最好,生根率、生

根数显著高于其他处理,根体积最大。当 NAA 浓度为 0.5 mg/L 时,山桃的根长显著高于其他处理,根表面积最大,但生根数和根系直径最小,根系发育不良。1.5 mg/L IBA 处理的山桃虽然根系直径最大,但生根率低,根长较短,不适宜诱导山桃生根。1.0 mg/L NAA 处理的山桃生根效果最差,

根长、根体积和根表面积显著低于其他处理,生根数低。综合来看,1.0 mg/LIBA 处理的山桃组培苗生根率高,根系质量好,最适宜诱导山桃的无糖

生根。

2.2 不同初始含水量对山桃无糖生根的影响

表 1 不同含水量下山桃的根系发育情况

含水量	生根率/%	生根数	根长/cm	根系直径/mm	根系体积/cm ³	根系表面积/cm ²
65%	84.00±3.241 a	3.40±0.220 b	20.30±0.656 a	0.45±0.019 b	0.032±0.003 a	28.53±1.73 a
70%	68.97±1.111 b	4.21±0.129 a	12.59±1.701 b	0.52±0.019 a	0.027±0.003 a	20.71±2.61 b
75%	64.29±2.222 b	3.43±0.074 b	16.00±0.797 b	0.45±0.010 b	0.025±0.002 a	22.52±1.59 ab

注:表中数字后的小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著。

从表 1 可以看出,蛭石初始含水量为 65% 时,山桃试管苗的生根率和根长显著高于其他处理,根体积和根表面积最大。蛭石初始含水量为 70% 时,根系的生根数和根系直径显著高于其他处理,但该处理生根率较低,根长和根系表面积最低。初始含水量为 75% 时,山桃的生根率最低,生根数和根系表面积与 70% 的含水量相似,生根效果不理

想。三个处理的根系体积无显著差异。适度的干旱有利于山桃根系的诱导和发育,蛭石初始含水量为 65% 时最适宜诱导山桃根的形成,但含水量为 70% 时山桃生根数多,根系直径粗,侧根比前者多,根系更发达。综合来看,初始蛭石含水量为 65%~70% 时无糖生根效果最好。

2.3 山桃无糖生根培养期间根系的生长发育情况

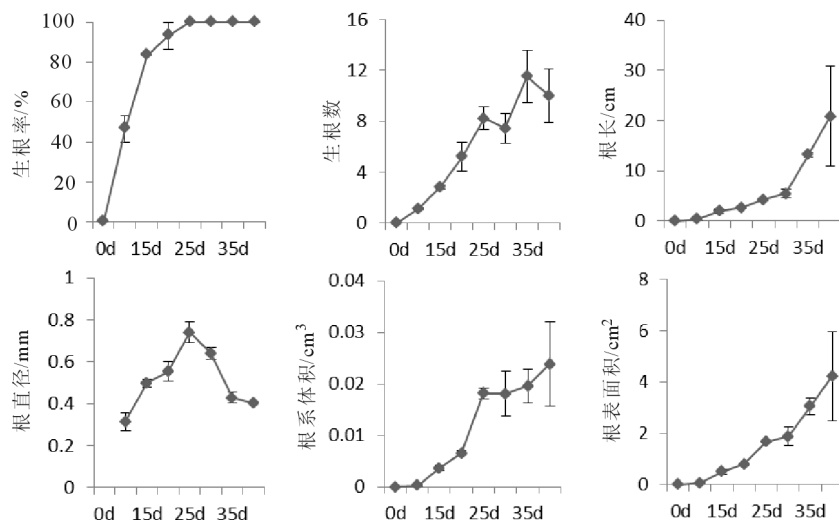


图 2 山桃无糖生根不同时期根系的生长发育情况

无糖组培生根第 10 天能观察到锥形、白色偏透明的根,之后根慢慢增粗变长,主根上渐渐长出侧根。前 20 d 根系白嫩粗短,增长缓慢;20 d 后根系迅速伸长,主根表皮发褐,根尖和侧根白亮,生长迅速。山桃在无糖环境中的生根率在前 15d 迅速升高,在第 25 天达到 100%,之后生根率一直是 100%。山桃的平均生根数 15~25 d 增长速率最

快,在第 35 天达到最大。山桃根的平均直径初期升高,在第 25 天后逐渐下降。每株苗的总根体积在 40 d 内持续上升,在第 20~25 天增长最快。根表面积的曲线与根长相似,第 40 天达到最长,其中根长在 30 d 后以相同的速率加快伸长,根表面积 20~25 d 和 30~40 d 增长最快。综合来看,山桃无糖培养时间以 35~40 d 为宜。

图 3 无糖生根不同时期山桃苗地上部的长势

2.4 山桃无糖生根培养期间地上部的长势

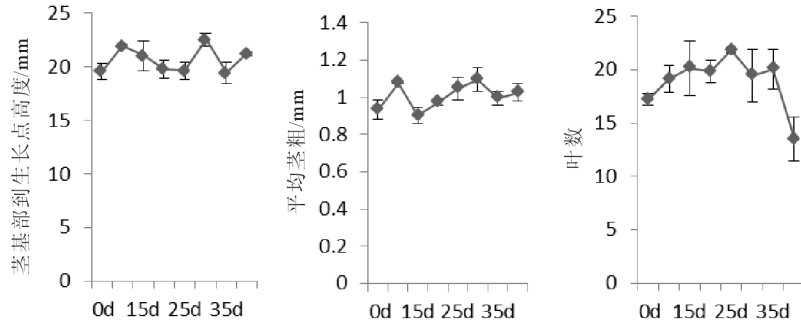
山桃地上部在接种后的前 20 d 叶色深绿,茎秆柔嫩;20 d 后叶子颜色略微泛黄。从图 3 可以看到,山桃茎基部到生长点高度在无糖生根处理的 40 d 内,随时间变化呈波动曲线,但无明显增长。平均茎粗的变化情况与茎基部到生长点高度相似,也无明显增长。叶片数前期略有增加,后期叶片逐渐脱落,第 40 天叶子掉落严重,不适合移栽。结

合根系的生长情况,无糖生根培养时间以 35 d 为宜。

3 讨论

3.1 生长素种类及浓度对山桃生根的影响

不同桃品种之间的生根培养条件差异较大^[23]。闫文义^[24]研究发现将桃杂交优系 2-7 接种于 1/2 MS+0.5 mg/L IBA 的培养基中 10 d 后



转入无生长素的 1/2 MS 培养基中生根效果较好, 生根率达 90.60%。张恒涛等^[25]发现豫农矮砧 1 号的最佳浓度组合是 1.5 mg/L IAA + 1.0 mg/L IBA。IBA 浓度为 1.0 mg/L 时, 山桃试管苗的生根效果最好, 生根率为 95.83%, 根系粗壮^[26], 与笔者实验结果一致。笔者实验还发现当 NAA 浓度为 0.5 mg/L 时, 虽然山桃生根率和生根数较低, 但根长和根表面积显著高于 1.0 mg/L IBA 的处理。有糖生根中, 有的桃组培苗直接生根, 有的先产生愈伤组织, 后从愈伤组织中长根^[27]。无糖生根处理中所有的山桃都不产生愈伤, 大部分根分布在茎基部周围, 少部分根长在底部切口处。可能是无糖环境中营养物质都吸附在蛭石中, 不容易吸收, 初期较低的 CO₂ 浓度和光强使山桃的光合作用降低, 营养缺乏使山桃不产生愈伤。

3.2 蛭石含水量对无糖生根的影响

不同物种的根系生长情况随含水量的变化表现不一致。土壤含水量在土壤萎蔫含水量至田间持水量之间时, 杨树插穗的生根率和根系长度随着含水量的增加而增长; 超过田间持水量时, 插穗的生根率和根系长度随着含水量的上升降低少^[28]。而笔者实验中含水量由 65% 上升到 75% 的过程中, 山桃无糖组培苗的生根率持续降低。说明在适宜的含水量范围内, 一定程度的干旱能刺激根系的产生。杨树插穗生根实验中, 含水量低时, 生根率低, 淹水和中等供水处理下生根率高且相差不大。根生物量上, 淹水处理低于低供水处理, 低供水处理低于中等供水处理^[29]。在土壤含水量较高的条件下, 头花蓼扦插生根率高, 生根数量多, 根系粗壮; 土壤较为干旱的条件下, 头花蓼扦插生根率低, 生根数少, 根长最长, 但根系比较细弱^[30]。而笔者实验中蛭石初始含水量为 65% 时, 山桃的生根率最高, 根系体积和表面积最大, 根长最长, 生根数较少, 总根量最大; 含水量为 70%, 生根率较低, 生根数最多, 根系直径大, 根系质量最好; 含水量为 75% 时, 生根率最低, 生根数低, 根长较短, 根系质量差。

3.3 不同生根处理时期山桃根系以及地上部的差异

从图 2 可以看出, 根长与根表面积的变化曲线相似, 都是前期增长缓慢, 30~40 d 加快增长。20~25 d 根系明显增多, 根表面积在此期间增长速率加快。接种后 30~40 d, 虽然根体积变化不大, 但根长和根表面积却迅速增加, 这可能是因为 30 d 后主根增长量小, 但侧根和毛细根迅速出现和伸长。山桃根系的平均直径前期升高是由于根系变粗, 后期由于根尖迅速伸长, 侧根大量增加, 平均直径降低。根在变粗的同时逐渐伸长, 前期变粗的速度高于伸长的速度, 平均直径逐渐升高。后期主根逐渐伸长, 根尖处较细, 并长出了更为细弱的侧根, 平均根直径逐渐降低。

无糖培养促使植物由兼养型转向自养型^[11], 减少植物形态结构发育差, 生理功能弱等问题^[12]。组培苗一般呈长条状, 由主茎和几组叶片组成, 茎叶娇嫩且呈亮绿色, 根部有少量黑色须根^[31]。山桃地上部在接种后的前 20 d 叶色亮绿, 茎秆柔嫩, 与组培生根状态的山桃苗相似; 20 d 后叶子增大, 叶缘处泛黄, 山桃苗的生理状态可能发生了改变, 对环境的适应能力增强。与琼脂培养基相比, 蛭石含水量较低, 且下降迅速。山桃在生根过程中需要大量的营养和水分, 无糖生根后期蛭石含水量过低, 营养缺乏。前期叶片数量的增加, 很可能是茎尖处的幼叶成长为功能叶导致。山桃在无糖组培诱导生根期间除了叶片增大外, 其他地上部无明显生长, 且第 40 天时落叶严重。生根处理 35 d 时, 根系发育良好, 而且地上部叶片较多, 适合移栽。

与一般组培技术相比, 无糖生根对外植体的要求较高, 如茎叶要粗壮, 需要具有进行光自生长的叶面积等^[12], 苗子茎秆过细过短、叶子过少, 都不利于无糖生根。观察不同时期山桃的根系和地上部生长状况时, 由于生根培养时间较长, 后期苗子可能因水分和营养缺乏而枯死, 因此含水量设置为 75%。尽管筛选含水量时发现过高的含水量不利于山桃生根, 但含水量为 75% 的情况下第 25 天

时山桃的生根率就达到 100%。生长素筛选和含水量筛选中山桃的生根率和根系质量效果较差,原因可能所用的山桃组培苗质量较差。随着生根条件和环境控制的逐步完善,山桃的生根率和生根质量将进一步提升,为实现桃苗木繁殖的规模化、工厂化生产提供了更大的可能。

4 结论

①山桃在 1.0 mg/L IBA 中生根情况最好,生根率为 90%,平均生根数为 3.6 条;0.5 mg/L NAA 的生根效果次之。②山桃在含水量为 65%的蛭石中生根率最高,平均根长、根体积和根表面积均为最大;在含水量为 70%的蛭石中平均生根数、根直径最高,适宜山桃无糖生根的蛭石含水量为 65%~70%。③山桃组培苗第 35 天最适合移栽。无糖生根能明显改善山桃组培苗的生根情况,生根率和平均生根数显著提高,苗子生长健壮,根系发达,周期短,适宜在生产中推广使用。

参 考 文 献:

- [1] 姜林,张翠玲,邵永春,等.国内外桃树育苗技术研究进展[J].北方果树,2011(02):1-5.
- [2] 姜林,张翠玲,于福顺,等.我国桃育苗的现状与发展建议[J].北方园艺,2012(18):214-21.
- [3] 郑先波,李明,王昊,等.埋干幼化对新疆毛桃扦插生根的影响[J].河南农业大学学报,2017,51(01):19-24.
- [4] 四川省农业科学院园艺研究所.一种 GF677 桃砧木无性繁殖的方法:CN202010453844.7 [P].2020-08-17.
- [5] Park S H, Elhiti M, Wang H, et al. Adventitious root formation of in vitro peach shoots is regulated by auxin and ethylene[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 226:205-260.
- [6] Erfani M., Miri S. M., and Imani A., 2017, In vitro shoot proliferation and rooting of garnem rootstock as influenced by basal media, plant growth regulators and carbon sources, Plant Cell Biotechnology & Molecular Biology, 18(3-4): 101-109.
- [7] Younas M., Hafeez-ur-Rahman Siddiqui S. U., and Chaudhary M. F., 2008, Effect of different carbon sources on in vitro shoot proliferation and rooting of peach rootstock GF- 677, Pakistan J. Bot., 40: 1 129-1 134.
- [8] Felek W., Mekibib F., and Admassu B., 2017, Micropropagation of peach, Prunus persica (L.) BATSCH, In: Bajaj Y. P. S. (ed.), High-tech and micropropagation II, Springer, Berlin, Germany, pp. 490-498.
- [9] 李洪雯,刘建军,邓家林,等.桃砧木 GF677 离体快繁技术体系研究[J].西北植物学报,2008(11):2 226-2 230.
- [10] Sepahvand S, Ebadi A, Kamali K, and Ghaem-maghani S. A, Effects of Myo-Inositol and thiamine on micropropagation of gf677 (Peach × Almond Hybrid), J. Agr. Sci., 2012, 4 (02): 275-280.
- [11] 黄丽娜,陈清西.园艺植物组培育苗技术研究进展[J].北方园艺,2012(22):184-188.
- [12] 林小苹.铁皮石斛无糖组培技术初探[J].福建热作科技,2018,43(02):6-10.
- [13] 蔡汉,陈晓强,熊作明,等.茉莉离体微繁及无糖生根技术[J].江苏农业学报,2007(05):464-468.
- [14] 杨凯,王荔,杨艳琼,等.灯盏花不定芽无糖生根培养的微环境调控技术研究[J].云南农业大学学报,2007(03):319-322.
- [15] 张东,徐一超,李珂,等.一种苹果砧木楸子的快速繁殖及无糖生根培养方法、应用[P].陕西省:CN111616052A,2020-09-04.
- [16] 贾效成,陈良秋,刘艳菊.无糖培养对油茶生根及叶绿素含量的影响[J].现代农业科技,2020(09):9-10.
- [17] 袁振,廖荣君,邢刚,等.欧李无糖组培生根研究[J].山东林业科技,2020,50(04):39-4.
- [18] CAO Z Y, LI W, WANG X S. Effect of ABA and Environmental Factors on the Degree of Stomatal Opening in Grape Leaf in Ted Tube[J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1993, 19(04): 371-378.
- [19] 和世平,王荔,陈疏影,等.半夏无糖组培苗营养生长和光合生理对增施 CO₂ 的响应[J].云南农业大学学报,2009,24(02):204-209.
- [20] 管道平.丛枝菌根与无糖培养对海棠组培苗生理效应研究[D].北京:中国农业科学院,2007:25-28.
- [21] 郭绍杰,王东健.山桃栽培技术[J].新疆农业科技,2005(03):35.
- [22] 来德乾.山桃树育苗及嫁接技术[J].农技服务,2013,30(12):1 299-1 300.
- [23] Balla Ildikó, Mansvelt Lucienne. Micropropagation of peach rootstocks and cultivars. [J]. Methods in molecular biology (Clifton, N. J.), 2013, 11013.
- [24] 闫文义.桃试管苗生根诱导研究[J].现代农业科技,2011(07):103-104.
- [25] 张恒涛,李靖,宋尚伟,等.桃矮化砧木的组织培养及植株再生[J].河南农业大学学报,2004(01):77-81.
- [26] 张雪冰,张帆,吴鑫泉,等.添加 IBA 和 6-BA 对山桃试管苗增殖及生根的影响[J].甘肃农业科技,2020(06):19-21.
- [27] 许建兰,马瑞娟,俞明亮,等.霞晖 6 号桃离体快繁及叶片愈伤诱导技术[J].江西农业学报,2018,30(02):11-15.
- [28] 刘广文,张文胜,尚振武,等.土壤含水量对杨树插穗成活率的影响[J].吉林林业科技,2001,30(04):24-26.
- [29] 杨文化,孙志虎,王庆成.土壤水分供应梯度对银中杨扦插生根及苗木生长的影响[J].东北林业大学学报,2002(04):125-128.
- [30] 袁桂美,孙华,王海洋.激素与土壤含水量对头花蒙扦插生根的影响[J].西南农业学报,2009,22(01):170-172.
- [31] 赵婉云.面向移栽过程的组培苗识别技术研究[D].天津:河北工业大学,2016:14-16.