

DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.2019.01.004

黑木相思组培苗瓶外生根技术研究

黄玉梅¹, 刘 丽¹, 赵苗菲¹, 黄 猛¹, 丁国昌²

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学园林学院, 福建 福州 350002)

摘要: 以黑木相思优良无性系组培苗为材料, 开展了移栽基质与基质含水率, 生根促进剂种类、浓度和处理时间, 光照强度和光周期对组培苗瓶外扦插生根影响的研究, 探讨组培苗瓶外生根的最佳条件, 以期在黑木相思快速繁殖技术提供一定理论支撑和技术支持。结果表明: 移栽基质以泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)效果最好, 其平均生根率达 94.45%; 含水率以 50% 效果最佳; 生根促进剂以 ABT(50 mg·L⁻¹ 处理 25 min) 表现最好, 其平均生根数、平均根长、平均生根率分别为 11.05 条、1.67 cm、98.66%; 光照强度对黑木相思组培苗瓶外生根影响显著, 在光照强度为 45~135 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 内, 随着光照强度的增加, 平均生根数与平均生根率随之增加, 而平均根长呈下降趋势; 光周期对黑木相思组培苗瓶外生根的影响不显著。

关键词: 黑木相思; 瓶外生根; 生根促进剂; 光环境

中图分类号: S723.1⁺32.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-0018(2019)01-0021-06

Test on *ex vitro* rooting technology of tissue culture seedlings of *Acacia melanoxylon*

HUANG Yumei¹, LIU Li¹, ZHAO Miaofei¹, HUANG Meng¹, DING Guochang²

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Tissue culture seedlings of *Acacia melanoxylon* were used as materials, the following factors on the *ex vitro* rooting influence of tissue culture seedlings, including transplant substrate and substrate water content, type of rooting promoter, concentration and processing time, the light intensity and photoperiod were studied to explore the best conditions for *ex vitro* rooting of *A. melanoxylon* and provide some theoretical and technical support for the rapid breeding technology of *A. melanoxylon*. The results showed that: the graft substrate of peat+vermiculite+perlite (5:4:1) was the best, with an average rooting rate of 94.45%; the effect of water content of 50% was the best; the effect of rooting promoter of ABT (50 mg·L⁻¹, 25 min) was the best with the average root number, the average number of rooting, the average root length and the average rooting rate were 11.05, 1.67 cm and 98.66%, respectively. Different illumination intensity had a great influence on *ex vitro* rooting of *A. melanoxylon* seedling. When the intensity of illumination was 45~135 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and the intensity of light increased, the average number of rooting and the average rooting rate increased with the increase of light intensity, but the average root length was decreasing; the effect of photoperiod on the *ex vitro* rooting of *A. melanoxylon* was not significant.

Key words: *Acacia melanoxylon* R. Br.; *ex vitro* rooting; rooting promoter; light environment

黑木相思(*Acacia melanoxylon* R. Br.) 属于含羞草科(Mimosaceae) 金合欢属常绿乔木, 于 20 世纪 90 年代初由澳大利亚引入我国^[1]。黑木相思具有速生、固氮等特点, 加上材质致密, 纹理优美, 生态、经济价值较高, 现已成为我国具有较大发展潜力的重要珍贵树种之一。

由于种子成本高且繁殖分化严重^[2], 导致育苗成本高, 苗木质量参差不齐。无性系造林不仅可以保持母本优良性状, 且具有林相整齐等诸多优点, 无性系育苗越来越受到重视。无性系育苗主要包括嫁接、扦插和组织培养等方式。扦插需要消耗大量的繁殖材料, 常规的组织培养不仅成本高、生长周期长, 而且移栽成活率不高。而试管苗瓶外生根技术将生根和驯化结合起来, 用自养生根取代传统组培的异养生根, 不仅缩短培养周期, 节约成本, 而且提高了移栽成活率^[3]。所以试管苗瓶外生根技术将成为未来的发展趋势。严华兵等^[4]研究发现, 相对于瓶内生根, 瓶外生根不需经过任何生长素处理, 即可获得 90% 左右的生根率; 施琼等^[5]研究表明, 马大杂种相思瓶内和瓶外生根率均可达到 90% 以上,

收稿日期: 2018-03-18 修回日期: 2018-05-31

基金项目: 福建省科技重大专项“特色树种人工林分质量精准提升技术研究与应用”(2018NZ0001-1)。

第一作者简介: 黄玉梅(1993-), 女, 硕士研究生, 从事植物地理研究。Email: 2406531607@qq.com。通信作者: 丁国昌(1970-), 男, 副教授, 从事景观林理论与技术研究。Email: fjdgc@fafu.edu.cn。

但每生产 1 万株苗, 瓶外生根比瓶内生根多 1 288.26 元的经济效益(2015 年)。虽然黑木相思组培技术基本能满足产业化需求, 但其生产周期比一般树种长, 生产成本低。为了进一步提高其生根率, 缩短生产周期, 降低成本, 本研究从基质、生根促进剂和光环境三方面来研究黑木相思瓶外生根技术, 以期在黑木相思快速繁殖技术提供一定理论支撑和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 研究材料

以福建农林大学杉木研究中心提供的黑木相思优良无性系组培苗为材料。在福建农林大学杉木研究中心组培苗驯化室进行壮苗培养, 温度(25 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 80%~90%; 经过 2~3 周的壮苗培养后, 选取平均高度约为 3 cm 的健壮组培苗用于研究。

1.2 研究方法

1.2.1 试验方法 经壮苗培养后的黑木相思无根苗用自来水冲洗干净, 用接种刀切下黑木相思无根苗, 保留顶芽附近 4~6 片羽叶。基质以长 $\times$ 宽 $\times$ 高分别为 33.5 cm $\times$ 24 cm $\times$ 15.5 cm 的透明保鲜盒为容器, 用接种镊子在处理好的基质上均匀戳出 1 cm 深的小孔, 小苗用镊子插入基质并压实, 露出顶芽及叶片 2~3 cm 即可。

扦插后期管理: 扦插后立即用稀释 1 000 倍的多菌灵(有效成分 25%) 溶液喷洒基质表面, 之后每隔 7 d 喷 1 次。早晚用自来水喷叶 1 次, 培养第 1 周每天早晚喷水时开盖 2 min 以通风换气。培养第 2 周, 用镊子支起 1/4 盒盖(透明), 3 周后支起 1/2, 4 周后完全开盖。开盖后室内相对湿度保持 90% 以上, 增加叶面浇水次数, 避免叶片失水。

1.2.2 移栽基质对黑木相思瓶外生根的影响 采用单因素试验设计, 考虑 3 种基质: ①泥炭土; ②泥炭土+蛭石(1:1); ③泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)。黑木相思无根茎芽不做任何生根处理, 培养光照强度为 $135 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光周期为 16 h/8 h(光/暗), 基质含水率为 50%。每个处理 30 株, 各重复 3 次。30 d 后统计生根率、平均根长和平均根数, 确定较佳基质。

1.2.3 移栽基质含水率对黑木相思瓶外生根的影响 采用单因素试验设计, 设计 3 组基质含水率: 40%、50%、60%。此试验中使用的基质为泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1), 黑木相思无根茎芽不做任何生根促进剂处理, 培养光照强度为 $135 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光周期为 16 h/8 h(光/暗)。每个处理 30 株, 各重复 3 次。30 d 后统计生根率、平均根长和平均根数, 确定较佳的基质含水率。

1.2.4 生根促进剂对黑木相思瓶外生根的影响 选用 NAA、IBA、ABT 三种生根促进剂, 设计 3 个浓度梯度(50、100 和 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 3 个处理时间(5、15 和 25 min), 进行正交设计(表 1)。此试验基质为泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1), 培养光照强度为 $135 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 培养光周期为 16 h/8 h(光/暗)。每个处理 30 株, 各重复 3 次。30 d 后统计生根率、平均根长和平均根数, 确定较佳的生根促进剂的种类、浓度和处理时间。

表 1 生根促进剂对瓶外生根影响的正交设计

Table 1 The orthogonal design of the effect of rooting promoter on *ex vitro* rooting

处理号 No. of treatment	生根促进剂 Rooting promoter	浓 度 Concentration/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	时 间 Treatment time/min
1	NAA	50	5
2	NAA	100	25
3	NAA	200	15
4	IBA	50	15
5	IBA	100	5
6	IBA	200	25
7	ABT	50	25
8	ABT	100	15
9	ABT	200	5

1.2.5 光照强度对黑木相思瓶外生根的影响 设计 3 种光照强度(45、90、 $135 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。试验基质为泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1), 培养光周期为 16 h/8 h(光/暗), 不做任何生根处理。每个处理 30 株, 各重复 3 次。30 d 后统计生根率、平均根长和平均根数, 确定较佳的培养光照强度。

1.2.6 光周期对黑木相思瓶外生根的影响 设计 2 组培养光周期: 12 h/12 h(光/暗)与 16 h/8 h(光/暗)。试验基质为泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1), 培养光照强度为 $135 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 不做任何生根处理。每个处理 30 株, 各重复 3 次。30 d 后统计平均根数、平均根长和生根率, 确定较佳的培养光照周期。

1.3 数据处理方法

应用 SPSS19.0 软件和 Excel 软件对试验数据进行方差分析、LSD 法多重比较处理。

2 结果与分析

2.1 移栽基质对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

移栽基质作为插穗的立足点及养分来源,直接影响扦插成活率。而不同的树种扦插所需移栽基质不同^[6],为了挑选适合黑木相思扦插的基质,本试验设计了3组不同移栽基质:泥炭土、泥炭土+蛭石(1:1)、泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)。扦插30 d后统计其平均生根率、平均生根数及平均根长,并进行方差分析,结果如图1。该3种移栽基质均可促进黑木相思瓶外生根,生根率均在80%以上。其中,泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)效果最好,其平均生根率达94.45%,平均生根数为28.33条;效果最差的为泥炭土,平均生根率最低,为80.21%,平均生根数最少,为24.07条,与泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)差异显著。就平均根长而言,泥炭土+蛭石(1:1)效果最好,培养的苗木平均根长最长,为1.55 cm,其次为草泥炭土,最短的为泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1),但三者差异不显著。

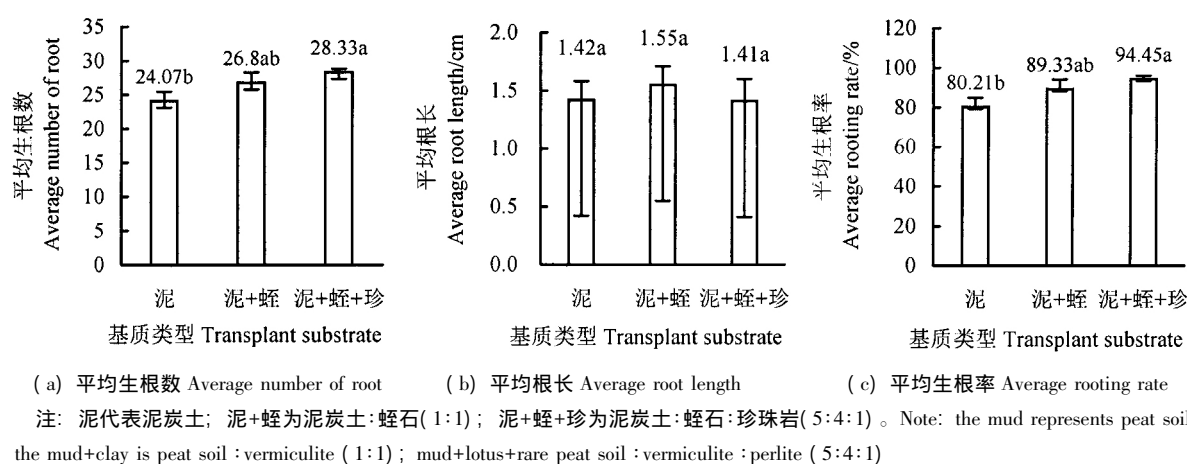


图1 基质类型对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

Figure 1 Effect of trasplant substrate on *ex vitro* rooting of tissue culture seedlings of *A. melanoxylon*

2.2 移栽基质含水率对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

移栽基质的含水率直接影响到扦插的成活率,基质含水率过低,插穗易缺水死亡;而含水率过高,插穗则易腐烂。确定合适的基质含水率尤为重要。本试验设置3组基质含水率:40%、50%、60%。

扦插30 d后,统计数据,结合多重比较分析,结果如图2。不同含水率对平均生根数和平均生根率的影响差异显著,但对平均根长的影响不显著。在3组不同含水率中,以含水率为50%最佳,其平均生根率、平均生根数与平均根长均达到最大值,分别为91.33%、27.4条、1.20 cm;而含水率为60%的平均生根率、平均生根数与平均根长均为最小值,分别为72.44%、21.73条、0.89 cm。

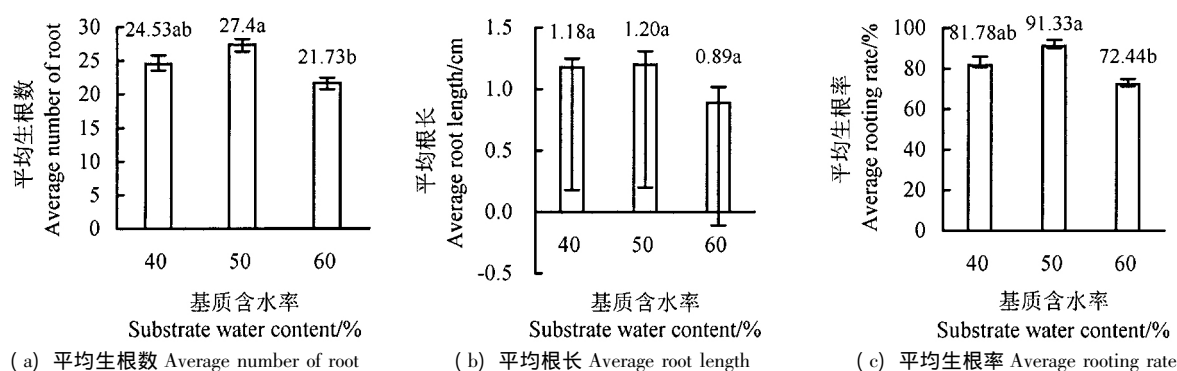


图2 基质含水率对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

Figure 2 Effect of the substrate water content on *ex vitro* rooting of tissue culture seedlings of *A. melanoxylon*

2.3 生根促进剂对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

从表 2 可看出,生根促进剂的种类、浓度和处理时间对黑木相思瓶外生根均起促进作用。在 NAA、IBA、ABT 三种生根促进剂的 9 个处理中,其平均生根率都高于 80%,其中以 ABT 表现最佳,在 ABT 的 3 个处理中,处理 7 和处理 8 在平均生根数、平均根长和平均生根率均高于其他两种生根促进剂,处理 9 除了平均根长外,平均生根数与平均生根率也高于其他 2 种生根促进剂。且处理 7(浓度为 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 ABT 处理 25 min)对黑木相思瓶外生根的促进作用最大,其平均生根率达到 98.66%,平均根长为 1.67 cm,平均生根数为 11.05 条。

表 2 生根促进剂对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

Table 2 Effects of rooting promoter on *ex vitro* rooting of tissue culture seedlings of *A. melanoxylon*

处理号 No. of treatment	生根促进剂 Rooting promoter	浓 度 Concentration /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	时 间 Treatment time/min	平均生根数 Average number of root	平均根长 Average root length/cm	平均生根率 Average rooting rate/%
1	NAA	50	5	$6.57\pm 1.16\text{a}$	$1.17\pm 0.19\text{a}$	$82.66\pm 1.25\text{a}$
2		100	25	$9.03\pm 1.85\text{ab}$	$1.22\pm 0.17\text{ab}$	$88.68\pm 4.17\text{abc}$
3		200	15	$8.26\pm 1.06\text{ab}$	$1.07\pm 0.13\text{a}$	$83.32\pm 6.06\text{a}$
4	IBA	50	15	$9.76\pm 1.13\text{ab}$	$1.34\pm 0.18\text{ab}$	$87.98\pm 4.54\text{abc}$
5		100	5	$8.70\pm 0.67\text{ab}$	$1.22\pm 0.09\text{ab}$	$89.34\pm 3.23\text{abc}$
6		200	25	$9.83\pm 0.53\text{ab}$	$1.05\pm 0.13\text{a}$	$87.32\pm 3.05\text{ab}$
7	ABT	50	25	$11.05\pm 1.48\text{b}$	$1.67\pm 0.15\text{b}$	$98.66\pm 1.34\text{c}$
8		100	15	$10.24\pm 1.11\text{ab}$	$1.43\pm 0.14\text{ab}$	$96.00\pm 1.95\text{bc}$
9		200	5	$11.00\pm 1.89\text{b}$	$1.12\pm 0.11\text{a}$	$97.34\pm 1.25\text{bc}$

注: 同列数据后相同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异不显著。Note: the same letter in the same column indicates that the difference is not significant at the $P<0.05$ level.

2.4 光照强度对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

光照强度对黑木相思瓶外生根影响显著(图 3)。在光照强度为 $45\sim 135\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,随着光照强度的增加,平均生根数与平均生根率随之增加,而平均根长呈下降趋势。在光照强度为 $135\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,平均生根数与平均生根率达最大值,且与其他两组光照强度差异显著,平均根长最短,但与其他两组差异不明显。

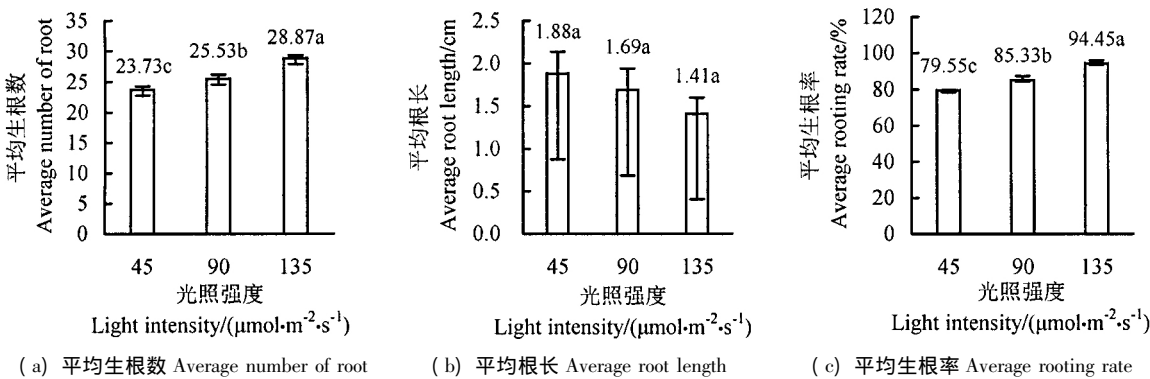


图 3 光照强度对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

Figure 3 Effect of light intensity on *ex vitro* rooting of tissue culture seedlings of *A. melanoxylon*

2.5 光周期对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

就本试验而言,不同光周期对黑木相思瓶外生根的影响差异不大(图 4)。但在光周期为 12 h/12 h 与 16 h/8 h 的两组试验中,光周期 12 h/12 h 的平均生根率、平均生根数和平均根长都略高于光周期 16 h/8 h。

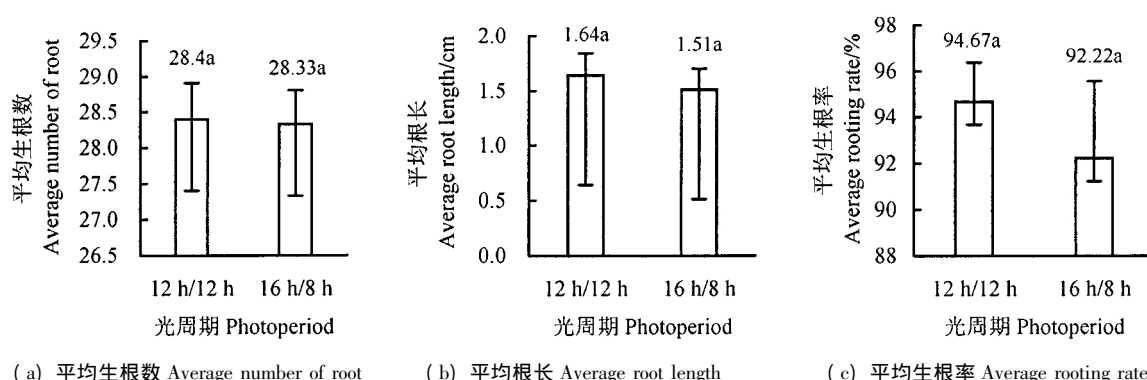


图4 光周期对黑木相思组培苗瓶外生根的影响

Figure 4 Effect of photoperiod on *ex vitro* rooting of tissue culture seedlings of *A. melanoxylon*

3 讨论

不定根的产生与形成是植物扦插成活的关键,而影响扦插生根除了植物自身的遗传等生理特征外,还受扦插基质、外源激素、扦插环境等影响^[7]。

扦插基质作为插穗养分和水分等来源,直接影响插穗的成活率。基质类型不同,其理化性质也不同,导致养分含量、保水透气等能力差异大^[8-9]。而不同树种对水热条件、养分条件等要求不同,导致不同树种在不同扦插基质上的生根率也不同^[6]。本研究发现,以复合基质泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)最佳,生根率达94.45%,而单一基质泥炭土效果最差。这与王小敏等^[10]发现复合基质较单一基质更有利于扦插生根的结论一致。张树振等^[11]在紫花苜蓿的扦插繁殖中也有相同发现。

基质含水率对扦插生根也有重要影响。张兴等^[6]指出,基质含水率适宜才能让插穗基部有充足的氧气,促进插穗的愈合生根;陈银^[12]在研究中也发现,彩叶草在基质含水率为20%~30%生根率最高,低于或高于该范围时,其死亡率增加。本研究也有相同发现:相对于含水率40%和60%,黑木相思在含水率为50%时生根率最佳。

生根促进剂不仅能促进插穗内源激素的合成,而且能促进根原基的形成,从而加速根尖分化,缩短生根周期,提高生根率^[13-14]。本试验结果显示,3种生根促进剂的9组处理均促进了黑木相思瓶外生根,其平均生根率都高于80%,其中以ABT表现最佳,其次为IBA、NAA。同一组生根促进剂因浓度和处理时间不同,对黑木相思瓶外生根的影响也存在差异,不同生根促进剂种类、浓度和处理时间对扦插生根率影响存在差异,这与大多数研究观点一致,尚秀华等^[15]研究中发现,生根促进剂种类、浓度和浸泡时间对南美油藤扦插生根率有显著影响;史锋厚等^[16]发现,生根剂处理可显著提高生根率,NAA的效果明显优于IBA。

组培苗瓶外生根时,其营养方式由原来的异养变为自养,需要通过光合作用为自身提供必须的营养物质,因而光照条件必不可少^[17-18]。本试验结果表明,不同光照强度对黑木相思瓶外生根影响显著。在光照强度为45~135 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内,随着光照强度的增加,平均生根数与平均生根率随之增加,而平均根长呈下降趋势;最佳光照强度为135 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这与李武等^[19]的研究结果类似;殷琳毅等^[20]也发现,适当加强光照,有利于试管苗生根,在20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光照条件下,其生根少,而在25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时生根达到最佳。而在光周期的试验中发现,光周期对黑木相思瓶外生根的影响不显著。这与CAMERON *et al*^[21]和ADAMS *et al*^[22]的研究结果存在差异,造成该种差异可能与品种有关。

4 结论

黑木相思为难生根树种。直接用穗条进行扦插的生根率不高,普遍低于80%^[23-25],而常规组培需要经过初代、继代、生根和驯化等多个环节,周期长。与黑木相思瓶外生根相比较,黑木相思瓶内生根根系发育较差,侧根少且短;移栽成活率为93%,而瓶外扦插生根率可达98%左右^[26]。所以黑木相思的瓶外生根技术是理想的生根技术。

就本试验而言,移栽基质以复合基质泥炭土+蛭石+珍珠岩(5:4:1)最佳,基质含水率以50%最好;

经壮苗培养的组培苗用浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 ABT 处理 25 min, 其平均生根率、平均根长和平均生根数都达到最大值, 分别为 98.66%、1.67 cm、11.05 条; 光照强度在 $45 \sim 135 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内, 光照越强, 平均生根率也越高。

由于本试验主要为探讨基质、生根促进剂和光环境这 3 个独立因子对黑木相思瓶外生根的影响, 三者叠加对其的影响有待进一步研究。

参考文献

- [1] 刘建潮. 黑木相思引种栽培技术及效益分析[J]. 广东林业科技, 2012, 28(1): 100–103.
- [2] 刘德朝. 马占相思扦插快繁育苗技术研究[J]. 防护林科技, 2007(6): 24–25.
- [3] 徐振华, 王学勇, 李敬川, 等. 试管苗瓶外生根的研究进展[J]. 中国农学通报, 2002, 18(4): 84–86.
- [4] 严华兵, 方锋, 董伟清, 等. 山薯组培苗瓶内与瓶外生根技术研究[J]. 广西农业科学, 2010, 41(10): 1 046–1 048.
- [5] 施琼, 胡峰, 烈健. 马大杂种相思瓶内和瓶外生根技术研究[J]. 植物研究, 2015, 35(6): 891–897.
- [6] 张兴, 李桐森, 段安安. 国内松树扦插技术研究进展及对策[J]. 西南林学院学报, 2004, 24(1): 66–69.
- [7] 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.
- [8] 徐世彦, 梁建军, 梁彬, 等. 不同处理对吉塞拉系樱桃砧木扦插效果的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(1): 54–60.
- [9] 黄斌龙, 阮少宁, 马志慧, 等. 不同轻型基质对卷荚相思容器苗生长的影响[J]. 森林与环境学报, 2015, 35(2): 153–158.
- [10] 王小敏, 彭大庆, 吴文龙, 等. 扦插基质和生根剂处理对滨梅嫩枝扦插生根的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4): 114–118.
- [11] 张树振, 金樑, 周虹, 等. 生长调节剂和基质对紫花苜蓿扦插繁殖效率的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(6): 874–879.
- [12] 陈银. 彩叶草的扦插生长量与基质含水量、基质中空气的关系探讨[J]. 北方园艺, 2007(3): 154–155.
- [13] 贾娟, 姚延寿, 史敏华, 等. 生根剂促进槭树植物扦插繁殖的研究进展[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 107–109.
- [14] 曾晶珏, 张成, 李志辉, 等. 不同生根剂及处理枝条方式对钩栗扦插生根的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(6): 56–60.
- [15] 尚秀华, 高丽琼, 谢耀坚, 等. 油料植物南美油藤扦插技术研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(2): 14–18.
- [16] 史锋厚, 刘斯通, 陈欣, 等. 生根剂处理对红缨海棠嫩枝扦插生根的影响[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(5): 96–99.
- [17] FU W G, LI P P, WU Y Y, *et al.* Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce[J]. Horticultural Science, 2012, 39(3): 129–134.
- [18] XU Y, XIAO Y, ZHI G, *et al.* Effects of light intensity on leaf microstructure and growth of rape seedlings cultivated under a combination of red and blue LEDs[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(1): 97–105.
- [19] 李武, 郑锦荣, 莫钊文, 等. 光照强度对铁皮石斛组培幼苗生长及生理特征的影响[J]. 热带作物学报, 2014, 35(1): 121–125.
- [20] 殷琳毅, 陆健. 环境因子对网纹甜瓜组培生根培养的影响[C]//中国园艺学会. 中国园艺学会十届二次理事会暨学术研讨会会议论文集. 南京: 中国园艺学会出版社, 2007: 217.
- [21] CAMERON R W F, HARRISON MURRAY R S, JUDD H L, *et al.* The effects of photoperiod and light spectrum on stock plant growth and rooting of cuttings of *Cotinus coggygia* âRoyal Purpleâ[J]. Journal of Pomology & Horticultural Science, 2015, 80(2): 245–253.
- [22] ADAMS S R, LANGTON F A. Photoperiod and plant growth: a review[J]. Journal of Pomology & Horticultural Science, 2005, 80(1): 2–10.
- [23] 刘建美. 黑木相思扦插育苗技术研究[J]. 林业勘察设计, 2006(2): 106–109.
- [24] 马红. 黑木相思扦插繁殖技术及生根机理研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [25] 陈柳英. 黑木相思嫩枝扦插繁殖试验[J]. 林业科技, 2005, 19(5): 73–74.
- [26] 刘丽. 不同黑木相思优良无性系的组织培养关键技术优化[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.

(责任编辑: 卢凤美)