

吴雅静,王雯雯,田兴军. 不同灯光和培养方式对柳树、杨树插条生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):256-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.078

不同灯光和培养方式对柳树、杨树插条生长的影响

吴雅静,王雯雯,田兴军

(南京大学生命科学学院,江苏南京 210046)

摘要:为了解不同的灯光和培养方式对柳树、杨树插条生长的影响,为柳树、杨树的无土栽培技术提供理论指导,采用红蓝白混合荧光灯和 LED 灯对竹柳、旱柳、意杨、白杨插条进行为期 4 周的雾培和水培试验,比较这些培养方式对它们生长状况和生理特性的影响。结果表明:就无土栽培方式而言,除了意杨插条,其余插条雾培生长状况比水培的要好,竹柳插条生长状况最好的培养方式是 LED 灯雾培,最适合旱柳、白杨插条生长的培养方式是荧光灯雾培,意杨生长状况最好的培养方式则为 LED 灯水培。

关键词:灯光;雾培;水培;植物工厂;插条生长;柳树;杨树;培养方式

中图分类号: S723.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0256-04

在苗木生产实践中,经常会因为土壤盐碱化,细菌、病菌感染,营养匮乏以及天气、季节等的影响导致苗木长势不佳,近年来新兴的无土栽培方式则可以很好地解决这些问题。无土栽培法又称营养栽培法、水耕法,它是在栽种作物时仅用营养液供给作物所需养分的特殊栽培方法,一般在较封闭的室内环境进行,因此受病虫害感染的机会很小,而且无土栽培很少施用农药,所以可种植出无污染、无公害的作物。常用的无土栽培方式有雾培、水培、基质培等。

雾培技术又称喷雾栽培、气雾栽培,是一种新型的无土栽培方式,它是把植物的根系悬空置于空气中,通过雾化的水气营造雾化环境以满足植物根系对水肥需求的一种栽培方式^[1-3]。水培是一种新型的植物无土栽培方式,其核心是将植物根系悬浮并固定于植物营养液中,使植物能够正常生长并完成其整个生命周期^[4]。

本研究拟采用红蓝白混合荧光灯和 LED 灯对竹柳、旱柳、意杨、白杨插条进行为期 4 周的雾培、水培试验,探讨光照度等培养方式对杨树、柳树插条生长状况、生理特性的影响。

1 材料与与方法

1.1 供试材料

供试材料主要为:竹柳(*Salix maizhokung gal* ‘ei’ 1313)、旱柳(*Salix matsudana* Koidz)、意杨(*Populus euramevicana* cv. ‘I-214’)、白杨(*Populus alba*)插条,购于江苏省宿迁市颐亨园花卉中心。插条长 18 cm 左右,基部直径 1 cm 左右。

收稿日期:2014-11-11

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(编号:XDA05050204);国家重大水专项项目(编号:2012ZX07204004-003);教育部博士点基金(编号:20110091110018);江苏省林业三新工程(编号:LYSX[2012]02)。

作者简介:吴雅静(1990—),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事植物工厂、植物无土栽培的研究。E-mail:yuweier99@163.com。

通信作者:田兴军,博士,教授,博士生导师,研究方向为植物生物学和生态学。E-mail:tianxj@nju.edu.cn。

1.2 试验设计

本试验设计了 2 个集雾培、水培装置为一体的 2 层带轮培养架,上层用于水培,下层用于雾培。其中 1 个架子上下层均为红蓝白 LED 灯[功率 15W,灯头接口(灯头型号)为 T5,形状为条形],另 1 个架子则全为红蓝白荧光灯[功率 20W,灯头接口(灯头型号)为 T5,形状为条形]。架子每层分别扦插 10 株竹柳、旱柳、意杨、白杨的插条。试验于 2014 年 5 月 22 日至 6 月 24 日在南京市生命科技园植物工厂内进行。

1.2.1 水培试验 水培装置由贮液池、栽植板、充氧泵、光照控制系统组成。贮液池长×宽×高=100 cm×60 cm×12 cm,栽植板为聚乙烯泡沫板,泡沫板上每隔 10 cm 开有定植孔,营养水深度为 6 cm。

1.2.2 雾培 雾培装置由种植槽、定植板、贮液桶、营养液循环流动系统和光照控制系统组成。种植槽的尺寸与上述水培装置中的贮液池尺寸一致。种植槽长×宽×高=100 cm×60 cm×12 cm。喷头的设计及尺寸:20 m 管,15 个 4 号喷头,微型喷嘴型号为 TW4010D,孔径 0.5 mm,JD-0410 配套的白晶陶瓷喷嘴孔径 0.5 mm。

1.2.3 设备与基质消毒 用 0.1% 高锰酸钾溶液对种植槽、栽植板、定植孔、定植海绵进行药剂消毒,浸泡 3 h 以上。

1.2.4 定植与管理 将这些插条在清水中浸泡 2 h 后,再用生根粉处理 10 min,把插条用定植海绵固定在定植板上。架子用遮阳网遮住,关闭灯光对插条进行黑暗催根处理。水培装置贮液池和雾培装置贮液桶中装的都是清水,雾培喷雾流量设置:开 30 s 关 8 min。1 周后,插条上有根和芽苞冒出,此后打开灯光,每天光照 14 h,黑暗 10 h,以促进插条营养生长。培养间昼温 25 ℃,夜温 20 ℃。1 周后,雾培、水培更换 1 次清水,接着培养 1 周;到 6 月 3 日,开始更换 1/8 体积 Hoagland 营养液^[5],此时雾培喷雾频率设置成开 30 s 关 6 min;6 月 10 日,更换 1/4 体积 Hoagland 营养液,雾培频率同上周;以后每周更换 1 次 1/4 体积 Hoagland 营养液。

1.3 取样与测量

为了研究每种插条在不同培养方式下的生长情况,优选适合插条生长的培养方式,从 6 月 3 日开始每隔 1 周测量每

株插条生长旺盛枝条的生长状况,测量其长度、叶片数、根数、生长最为旺盛的根长度及插条的成活率。试验至 6 月 24 日截止时,除测定上述数据外,还测定每株插条上枝叶鲜质量(指的是枝条、叶片鲜质量)、根系鲜质量、根系体积、枝叶干质量、根系干质量,获取具有代表性的插条根系形态。其中根系体积用量筒排水法测定,干质量在 80 ℃ 烘箱内烘至恒质量称质量获得。根系洗净后分别放入盛水的根系盘内,完全展开,通过超微立体扫描仪(EPSON Perfection V330)获取根系图像。每种培养方式选取 3 株长势较好的插条,测叶绿素含量、SOD 活力、根系活力。其中叶绿素、类胡萝卜素含量均采用分光光度法测定,超氧化物歧化酶(SOD)含量用氮蓝四唑(NBT)法测定,根系活力用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定^[6]。

1.4 统计与分析

表 1 不同培养方式下插条生长情况

插条种类	LED 灯水培			LED 灯雾培			荧光灯水培			荧光灯雾培		
	根数 (条)	叶片数 (张)	成活率 (%)	根数 (条)	叶片数 (张)	成活率 (%)	根数 (条)	叶片数 (张)	成活率 (%)	根数 (条)	叶片数 (张)	成活率 (%)
竹柳	13.0bc	60.0a	100a	15.0ab	39.7c	100a	11.3c	38.3c	100a	16.0a	42.3b	100a
旱柳	13.0d	44.8c	100a	17.2b	46.0b	90b	13.8c	40.7d	100a	19.0a	48.2a	100a
意杨	2.9b	5.0a	60a	0.0	0.0	0	5.7a	5.0a	40b	0.0	0.0	0
白杨	8.3ab	6.0c	60a	8.5ab	6.9b	40b	8.1b	4.0d	30c	8.7a	10.0a	60a

注:所测根条数和叶片数均为统计后的平均值,成活率=(每处理成活插条数/每处理初始插条总数)×100%,对同一种插条的成长进行差异显著性检验,同行、同一类别数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由表 1 还可看出,根系的生长情况各不相同,竹柳插条根数在荧光灯雾培条件下最多,为 16 条;旱柳插条根数最多的培养方式也是荧光灯雾培,为 19 条;荧光灯水培意杨的根数为 5.7 条,要多于 LED 灯水培的根数;白杨插条中荧光灯雾培方式的根数最多,为 8.7 条。竹柳叶片数最多的培养方式是 LED 灯水培,为 60 张;荧光灯雾培旱柳的叶片数为 48.2 张,是旱柳插条中叶片数最多的;荧光灯水培意杨和 LED 灯水培意杨的叶片数相近,均为 5 张;白杨插条中荧光灯雾培的叶片数最多,为 10.0 张。观察发现,柳树 2 个品种比杨树的 2 个品种生长茂盛。

2.1.2 不同插条的枝条生长状况 为了优选适合插条生长的培养方式,测量每株插条生长旺盛枝条的生长状况。由图 1 可见,培养 4 周时,荧光灯雾培竹柳插条生长旺盛枝条的长

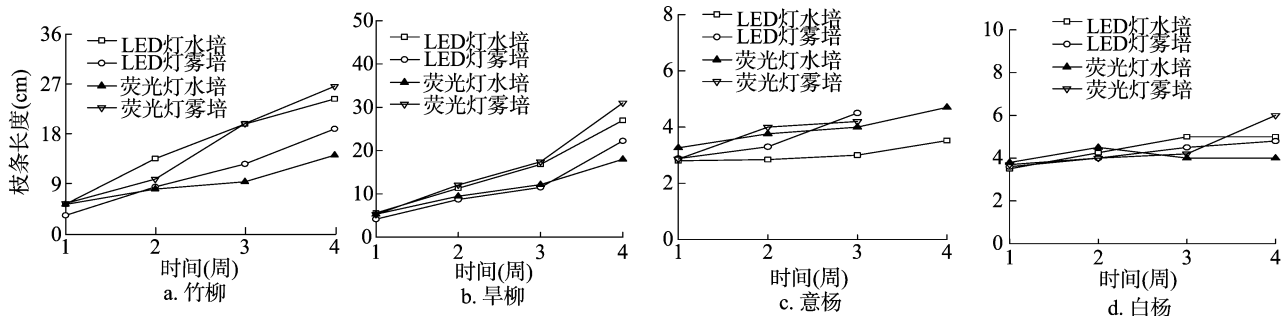
每个处理取 3 株具有代表性的植株的叶片,利用 SPSS Statistics 17.0 软件进行试验数据的处理、分析,并进行显著性检验(Duncan's 和 LSD 法, $P < 0.05$),数据表示为“平均值±标准差”形式。用 Origin 8.0 软件进行绘图^[7]。

2 结果与分析

2.1 不同的培养方式对插条生长状况的比较

2.1.1 不同插条的根数、叶片数、成活率 表 1 数据为最后 1 周试验统计结果,通过横向、纵向比较不难看出,所有的竹柳插条成活率为 100%;旱柳插条除了 LED 灯雾培为 90%,其余的培养方式均为 100%;意杨的成活率偏低,只有 60%的 LED 灯水培法、40%的荧光灯水培法成活,其余成活率为 0;白杨插条 LED 灯水培法、荧光灯雾培法、荧光灯水培法的成活率分别为 60%、60%、30%。

度比其他培养方式竹柳插条生长旺盛枝条长度都要长;旱柳插条中,荧光灯雾培插条生长旺盛枝条长度也是所有旱柳插条生长旺盛枝条中长度最长的;培养 4 周时,荧光灯水培意杨生长旺盛枝条的长度要长于荧光灯雾培意杨的;培养 4 周时,荧光灯雾培白杨生长旺盛枝条的长度是所有白杨插条生长旺盛枝条中最长的。荧光灯水培白杨开始时迅速生长,生长旺盛枝条长度从培养 2 周开始下降后停止生长,可能原因是荧光灯水培白杨的成活率最低,只有 30%;从培养 2 周开始,长势良好的插条开始枯死。杨树水培不易生根,新生的枝条和叶片维持生长一段时间后便开始衰弱死亡,这种现象是插条的假活,假活时间不长,才导致插条呈现如此状态。LED 灯水培白杨的插条生长旺盛枝条长度在培养 3 至 4 周开始停止生长,处于假活状态。



意杨 LED 灯雾培法、荧光灯雾培法在试验 3 周后未成活,因此无数据

图 1 不同的培养方式对 4 种插条枝条生长状况的影响

2.1.3 不同插条的根系生长情况 图 2 为不同插条生长旺盛根系长度的统计数据,可见不同插条生长旺盛的根系长度基本随时间推移而呈增长趋势。竹柳、旱柳插条中生长旺盛

根系长度都是荧光灯雾培方式最长;LED 灯水培意杨生长旺盛根系长度>荧光灯水培意杨生长旺盛根系长度;白杨插条中荧光灯雾培白杨生长旺盛根系长度基本是所有白杨插条生

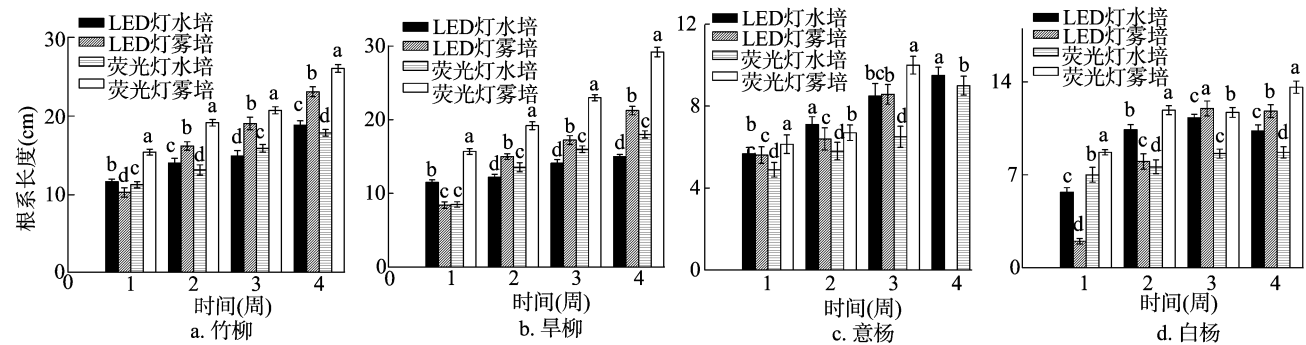


图2 不同的培养方式对 4 种插条根系生长情况的影响

长旺盛根系长度中最长的。综合可见,雾培插条根系数目多、长度长,须根数目多。

2.2 不同的培养方式对插条生物量及根冠比的影响

表2 试验结果表明,LED 灯雾培竹柳根鲜质量、枝叶鲜质量最大;旱柳插条则是 LED 灯雾培枝叶鲜质量最大,荧光灯雾培旱柳根系鲜质量最大;荧光灯水培意杨插条的枝叶鲜质量、根系鲜质量稍高于 LED 灯水培意杨;LED 灯水培白杨枝叶鲜质量最大,荧光灯雾培白杨根系鲜质量最大。根冠比反映了植株地下部分与地上部分的相关性,由表 2 可见,竹柳插条中 LED 灯雾培根冠比最大;旱柳插条是荧光灯雾培根冠比最大;LED 灯水培意杨根冠比 > 荧光灯水培意杨根冠比;荧光灯雾培白杨根冠比也稍高于其他的白杨插条。

表 2 不同的培养方式对插条生物量及根冠比的影响

品种	枝叶鲜质量(g)	根鲜质量(g)	根体积(cm ³)	枝叶干质量(g)	根干质量(g)	根冠比
L 水竹	3.01 ± 0.04b	0.81 ± 0.05c	1.67 ± 0.02a	0.35 ± 0.03b	0.04 ± 0.01b	0.27 ± 0.01b
L 雾竹	3.25 ± 0.05a	1.17 ± 0.02a	2.00 ± 0.00a	0.43 ± 0.02a	0.08 ± 0.01a	0.36 ± 0.01a
荧水竹	2.52 ± 0.03c	0.58 ± 0.06d	1.50 ± 0.50a	0.20 ± 0.03c	0.03 ± 0.00b	0.23 ± 0.01c
荧雾竹	3.10 ± 0.06b	1.05 ± 0.03b	2.00 ± 0.00a	0.37 ± 0.02ab	0.08 ± 0.00a	0.34 ± 0.02a
L 水旱	2.55 ± 0.03c	0.40 ± 0.04c	1.13 ± 0.01c	0.27 ± 0.02c	0.03 ± 0.01b	0.18 ± 0.01d
L 雾旱	3.20 ± 0.05a	0.85 ± 0.02b	2.00 ± 0.00a	0.42 ± 0.02a	0.07 ± 0.02a	0.27 ± 0.01b
荧水旱	2.06 ± 0.02d	0.48 ± 0.06c	0.90 ± 0.01c	0.21 ± 0.01d	0.03 ± 0.01b	0.23 ± 0.01c
荧雾旱	2.70 ± 0.01b	0.99 ± 0.04a	1.60 ± 0.20b	0.35 ± 0.01b	0.05 ± 0.01ab	0.37 ± 0.02a
L 水意	0.60 ± 0.08a	0.18 ± 0.02b	0.40 ± 0.10a	0.09 ± 0.01a	0.01 ± 0.00a	0.30 ± 0.03a
L 雾意	—	—	—	—	—	—
荧水意	0.70 ± 0.10a	0.19 ± 0.03a	0.40 ± 0.10a	0.10 ± 0.02a	0.01 ± 0.00a	0.27 ± 0.01a
荧雾意	—	—	—	—	—	—
L 水白	0.77 ± 0.02a	0.20 ± 0.03a	0.50 ± 0.02a	0.12 ± 0.01a	0.01 ± 0.01a	0.26 ± 0.05a
L 雾白	0.72 ± 0.01a	0.21 ± 0.05a	0.50 ± 0.03a	0.10 ± 0.02a	0.01 ± 0.01a	0.29 ± 0.04a
荧水白	0.70 ± 0.04a	0.17 ± 0.01a	0.40 ± 0.05b	0.10 ± 0.04a	0.01 ± 0.00a	0.24 ± 0.02a
荧雾白	0.73 ± 0.05a	0.23 ± 0.03a	0.50 ± 0.03a	0.10 ± 0.03a	0.01 ± 0.01a	0.32 ± 0.03a

注:为方便统计,表中和下文中的 L 指 LED 灯,荧指荧光灯,水指水培,雾指雾培,竹指竹柳,旱指旱柳,白指白杨,黑指黑杨。同种插条、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。L 雾意、荧雾意处理插条未成活,因此无数据。

2.3 不同插条生理特性比较

由图 3 - a 可见,不同培养方式的叶绿素含量差异较大。

由图 3 - b 可见,同种培养方式下,竹柳插条叶片 SOD 活力要明显高于旱柳,意杨高于白杨。竹柳、旱柳、白杨叶片 SOD 活力最高的培养方式是荧光灯雾培,意杨最高的培养方式是 LED 灯水培。

由图 3 - c 可见,竹柳根活力最高的是 LED 灯雾培方式插条,荧光灯雾培方式次之。旱柳插条则为荧光灯雾培方式根系活力最高;LED 水培意杨根系活力 > 荧光灯水培意杨根系活力;荧光灯雾培白杨根系活力为白杨插条中最高的。

关之外,也说明这些培养方式更适合柳树。杜克兵等研究认为,淹水胁迫对杨树叶片的超微结构产生了明显伤害,且随胁迫程度的加重和淹水时间的延长而严重^[8]。封华的研究表明,竹柳喜水,只要不长期淹在水中,在生长过程中土壤湿度保持在 60% 以上,就能保证快速生长,特别是扦插初期和幼苗期,必须保持苗床湿润^[9]。意杨培养至 3 周,雾培的意杨均停止生长甚至死亡,因此表明杨树更加适合有土培养,就无土栽培方式而言,水培比雾培更适合意杨。此外,白杨的成活率要高于意杨。对竹柳、旱柳和白杨而言,雾培方式比水培方式生长情况好。

3 讨论

本研究的各项结果显示:柳树插条的成活率明显高于杨树,除了与杨树比柳树需水量更多、耐水性更强、易于成活有

在竹柳插条中,LED 灯雾培竹柳根系活力旺盛,具有较大的根长、根质量、根冠比,利于根系对水分和各种营养的吸收,进而使地上部生长迅速。LED 灯雾培竹柳叶片叶绿素含量较高,叶片鲜质量最高。荧光灯雾培竹柳叶片有最大的

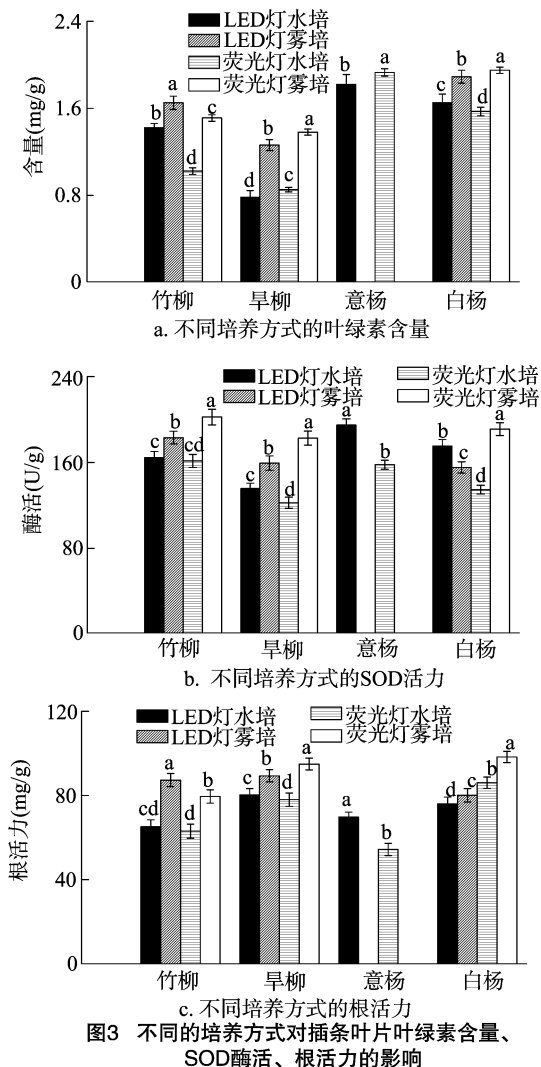


图3 不同的培养方式对插条叶片叶绿素含量、SOD酶活、根活力的影响

SOD 活力, 插条抗逆性较强。这些结果表明, 红蓝白 LED 灯是促进植物生长的最好光源之一。後藤英司等认为, 红蓝白 LED 灯除了给植物在缺光时间里得到补光外, 还使植物在生长过程中促进侧枝多发和芽的分化, 加快根茎叶生长及植物碳水化合物合成和维生素的合成, 缩短了生长周期^[10], 所以枝叶生长繁茂。

旱柳插条中, 除了 LED 灯雾培旱柳插条有最大的枝叶干、鲜质量外, 其他指标较优秀的还有荧光灯雾培。荧光灯雾培旱柳插条根系环境含氧量高、根系活力高、抗逆性强, 促使根系吸收营养快、生长旺盛。其最大叶片 SOD 活力使插条叶片存在活跃的活性氧代谢^[11-12], 红蓝白荧光灯波长类型丰富, 正好与竹柳植物光合成和光形态建成的光谱范围吻合。叶片中的叶绿素很好地吸收红蓝白混合荧光灯灯光, 旱柳插条叶片产生最佳的光合作用, 植物得到最佳的生长状态。

在杨树插条的培养中, LED 灯水培意杨相对于荧光灯水培意杨来说生长能力更强。荧光灯水培意杨插条叶片的叶绿素含量较高, 推测 LED 灯光更利于意杨进行光合作用, 但荧光灯水培意杨的枝叶鲜质量比 LED 灯水培意杨的高。LED 灯水培意杨根系活力较大, 有最大的根冠比, 叶片中的高 SOD 活力也促使其进行高效的光合作用。LED 灯水培白杨

的叶绿素含量不是最高的, 但枝叶鲜质量最高, 说明白杨吸收利用红蓝白混合 LED 灯光后光合作用比较强。虽然荧光灯雾培白杨枝叶鲜质量不是最高的, 但根冠比及其他指标比较优异。白杨叶绿素含量较高, 对荧光灯灯光的利用效率没有 LED 灯光强, 不过这些并不影响其活跃的根系活力和 SOD 活力, 促使植株长势较佳。

柳树、杨树都是易成活的传统土培绿化树种, 因其防风固沙能力强而成为世界上广泛栽培的重要造林植物^[13-14]。相对而言, 柳树更加适合无土的水培和雾培。而杨树在水培、雾培条件下生长状况不好, 不适合无土栽培。本研究表明, 柳树苗木的批量工厂化育苗可以通过水培和雾培的方式进行。水培和雾培木本植物由于没有土, 无土栽培的植物放在室内可以净化空气、美化环境。本试验用的培养架成功培养了近 108 株插条, 节省了空间资源。

综上所述, 就无土栽培方式而言, 除了意杨插条, 其余品种插条雾培生长状况比水培的要好; 竹柳插条生长状况最好的培养方式是 LED 灯雾培; 最适合旱柳、白杨插条生长的培养方式是荧光灯雾培; 意杨生长状况较好的则为 LED 灯水培。当然, 目前雾培技术尚处于探索阶段, 尚存在很多问题有待进一步解决, 也是我们继续研究的方向。

参考文献:

- [1] Christie C B, Nichols M A. Aeroponics - a production system and research tool[J]. Acta Horticulturae, 2004, 648: 185 - 190.
- [2] Hayden A L, Yokelsen T N, Giacomelli G A, et al. Aeroponics: an alternative production system for high - value root crops[J]. Acta Horticulturae, 2004, 629: 207 - 213.
- [3] Nichols M A. Aeroponics and potatoes [J]. Acta Horticulturae, 2005, 670: 201 - 206.
- [4] 刘士哲. 现代实用无土栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [5] Epstein E, Bloom A. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives[M]. Sunderland: Sinauar Associates, 2004: 30 - 33.
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119 - 195.
- [7] 贾中民, 王 力, 魏 虹, 等. 垂柳和旱柳对镉的积累及生长光合响应比较分析[J]. 林业科学, 2013, 49(11): 51 - 59.
- [8] 杜克兵, 许 林, 涂炳坤, 等. 淹水胁迫对 2 种杨树 1 年生苗叶片超微结构和光合特性的影响[J]. 林业科学, 2010(6): 58 - 64, 183.
- [9] 封 华. 竹柳扦插育苗技术[J]. 山西林业, 2014(1): 25 - 26.
- [10] 後藤英司, 夏 晨. 人工光源在植物生产中的应用[J]. 中国照明电器, 2014(2): 40 - 44.
- [11] 黎瑞珍, 杨庆建, 陈盼锐, 等. 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定及其应用研究[J]. 琼州大学学报, 2004(5): 34 - 36.
- [12] Shalata A, Neumann P M. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52(364): 2207 - 2211.
- [13] 姚 丽, 禹 婷, 秦 刚, 等. 转双抗虫基因 741 杨树对节肢动物群落食物网的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 299 - 301.
- [14] 蔡桂荣. 辽西北半干旱地区旱柳规范化扦插育苗技术[J]. 防护林科技, 2014(1): 124 - 125.