

# 不同基质对茅苍术移栽组培苗叶片导水度及光合的影响

陈璐<sup>1</sup>, 邢德科<sup>1</sup>, 吴沿友<sup>2</sup>, 赵玉国<sup>1</sup>, 周荣山<sup>3</sup>

(1.现代农业装备与技术教育部重点实验室/江苏大学农业工程学院, 江苏 镇江 212013;

2.环境地球化学国家重点实验室环境生物科技研究中心/中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002;

3.江苏金色年华健康养生发展有限公司, 江苏 镇江 212115)

**摘要:**选取茅苍术(*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC)组培苗为实验材料,进行驯化栽培,研究不同基质的物理性质,比较茅苍术组培苗在各基质中的叶片固有导水度、光合作用及生长状况,以筛选出最优炼苗基质。结果表明,基质持水特性是影响组培苗驯化的关键因素,T3(蛭石:珍珠岩:泥炭土=1:1:2)基质中培养的驯化苗的叶片水分状况、光合及生长方面与其他处理相比表现较好,可作为茅苍术组培苗驯化的理想基质。基于生理电阻的叶片固有导水度可用于水分状况的及时诊断。研究结果为快速获得大量优势茅苍术种苗提供指导,同时为组培苗驯化炼苗提供理论基础和技术支撑。

**关键词:** 生理电阻; 驯化; 固有导水度; 光合; 组织培养

DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2021.02.007

中图分类号: Q 945.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-4705(2021)02-0007-07

## Effects of Different Substrates on Leaf Water Conductivity and Photosynthesis of Tissue Culture Plantlets of *Atractylodes lancea*

CHEN Lu<sup>1</sup>, XING Deke<sup>1</sup>, WU Yanyou<sup>2</sup>, ZHAO Yuguo<sup>1</sup>, ZHOU Rongshan<sup>3</sup>

(1.Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education,

Institute of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China;

2.Research center for Environmental Bio-Science and Technology, State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang Guizhou 550002, China;

3.Jiangsu Golden Age Health Care Development Co., Ltd, Zhenjiang Jiangsu 212115, China)

**Abstract:** In this study, the tissue culture seedlings of *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC were selected as experimental materials for domestication and cultivation. The physical properties of different substrates were studied, and the inherent water conductivity, photosynthesis and growth status of the leaves of tissue culture seedlings of *A. lancea* were also compared in each substrate, so as to select the optimal substrate. The results showed that the water-holding capacity of substrate was the key factor affecting domestication of tissue culture seedlings. Compared with other treatments, T3 (vermiculite: perlite: peat=1:1:2) showed better leaf water, photosynthesis and growing status, and could be used as an ideal substrate for domestication of tissue culture seedlings of *A. lancea*. Leaf intrinsic water conductivity based on physiological resistance could be used for timely diagnosis of water status. The results of this study provided guidance for rapid acquisition of a large number of dominant *A. lancea* seedlings, and provided theoretical basis and technical support for domestication of tissue culture seedlings.

**Key words:** physiological resistance; domestication; inherent water conductivity; photosynthesis; tissue culture

收稿日期: 2020-10-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016 YFC 0502602); 镇江市丹徒区重点研发计划项目(NY 2018004)。

作者简介: 陈璐(1996—), 女(汉族), 山西省阳城县人; 硕士, 主要从事植物生理生态学研究(E-mail: 846264936@qq.com)。

通讯作者: 邢德科(1983—), 男(汉族), 河南南阳人; 博士, 副研究员, 主要从事植物逆境生理生态研究(E-mail: xingdeke@ujs.edu.cn)。

茅苍术 [*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC] 是一种菊科多年生草本植物, 江苏镇江茅山为其道地产区, 常以根茎入药, 具有很高的药用价值, 广泛用于治疗风湿性、消化系统疾病以及流行性感冒等<sup>[1]</sup>。有效药用成分主要包括  $\beta$ -桉叶醇、苍术素、苍术醇等<sup>[1-2]</sup>。研究表明, 水分含量高的下坡位和营养元素含量较低的上坡位均不利于茅苍术生长<sup>[3]</sup>, 整个生长期尤其是生殖生长期, 茅苍术对水分胁迫较为敏感, 干旱和涝渍胁迫都会引起生长量和挥发油含量的降低<sup>[4]</sup>。近年来, 由于人们的胡乱挖采和对土地资源的不当利用, 适宜茅苍术生长的环境遭受严重破坏, 野生数量锐减。目前, 研究者们已尝试多种方法拯救濒危物种茅苍术。在人工栽培的基础上通过人工辅助授粉、人工补种<sup>[5]</sup>; 覆膜栽培<sup>[6]</sup>, 组织培养<sup>[7]</sup>等进行扩大种植。因组织培养可在短期内获得大量优质种苗, 且不受时间地点限制, 受到关注。

组培瓶内通常是高湿、恒温、弱光和无菌的环境, 野外则为湿度较低的有菌环境。组培瓶内的植物根系无根毛, 吸收和转运水分能力弱, 且组培苗气孔控制能力差, 叶面保护组织如叶表角质层不发达甚至完全缺失, 出瓶后根系吸收的水分难以满足蒸腾作用的消耗, 极易造成叶片失水枯萎, 甚至整株植物的死亡<sup>[8]</sup>。基质中水分过多又会造成根系缺氧, 抑制有氧呼吸, 积累酒精, 限制植物生长。因此, 基质良好的物理性状是组培苗驯化得到优质种苗的保障。基质中的水分按状态可分为毛管水、重力水和束缚水, 根系主要吸收毛管孔隙中的水分。栽培基质物理性质的理想范围为: 总孔隙度(60%~90%), 通气孔隙(15%~30%), 气水比(0.25~0.67), pH值(5.5~7.0)。组培苗驯化阶段, 通过调配合适基质用以协调根系水汽比, 保持根系活力, 进而保证根对水分和无机养分的吸收利用能力。植物叶片水分传输特性与植物光合作用密切相关, 并最终影响植物生长速率<sup>[9]</sup>。植物叶片电生理特性能够反映叶片内部的水分输送情况, 且能被快速检测, 在植物叶片水分状况的及时诊断中发挥着重要作用<sup>[10]</sup>。

李西腾等<sup>[7]</sup>以泥炭土和珍珠岩(体积比 1:1)作为炼苗基质, 成活率达 90%; 王红娟等<sup>[11]</sup>以蛭石为炼苗基质, 成活率为 91%。然而, 成活率只是茅苍术组培苗驯化成功的基础, 后期良好的水分状况及生长态势才是茅苍术组培苗完全移栽成功的有效保障。目前, 有关基质物理性质对茅苍术组培苗驯化后期叶片导水特性及长势影响的研究仍未见报道。不同基质物理性质间存在差异, 如珍珠岩具有较强的吸水性, 疏松透气, 但质轻, 容重小, 不利于植物根系固定; 蛭石具有较

高的缓冲性和离子交换能力, 不同产地 pH 值存在差异, 多数偏碱性, 持水孔隙大, 通气性差<sup>[12]</sup>; 泥炭土含有丰富的有机质, 可以降低基质 pH 值, 调节孔隙度, 但是大量开采会破坏生态环境。陈彦君等<sup>[13]</sup>研究表明, 不同基质配比对植物生长产生不同影响。各基质以一定比例混合, 调整水汽比, 取长补短, 可以获得更好的根系生长环境。

本研究基于生理电阻跟外界激励的关系, 利用能斯特方程, 推导并定义叶片固有导水度, 通过添加蛭石, 调整泥炭土在基质中所占的比例, 研究不同基质配比对茅苍术叶片固有导水度、光合作用、叶绿素荧光及幼苗生长的影响, 以期筛选出合适的驯化基质, 保证驯化茅苍术幼苗持续拥有良好长势。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验培养和处理

#### 1.1.1 茅苍术组织培养

实验在江苏大学农业工程研究院人工温室内进行。供试实验材料茅苍术由江苏省镇江市金色年华有限公司提供。选择腋芽为外植体, 分别用 75% 酒精灭菌 30 s, 无菌水冲洗 3~5 次, 再用 0.2%  $\text{HgCl}_2$  消毒 4 min, 无菌水冲洗 8 次; 芽诱导培养基:  $\text{MS}+2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA+ $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  NAA+2% 蔗糖+7 g 琼脂; 分化培养基:  $\text{MS}+1.0\sim 3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA+ $0.05\sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  NAA+2% 蔗糖+7 g 琼脂; 生根培养基:  $1/2 \text{ MS}+0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  NAA+ $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA+2% 蔗糖+7 g 琼脂, 温度(25±2)°C, 光照  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $70 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 湿度 100%。

#### 1.1.2 茅苍术组培苗炼苗驯化

参考李西腾等<sup>[7]</sup>的炼苗方法, 选取株高 4~5 cm, 叶片数 4~5 片, 生根数 5~8 条的组培苗, 先移至光照较强的室外进行炼苗 7 d, 打开封口膜 2~3 d, 取出组培苗, 洗净根部的培养基, 移栽基质为珍珠岩、蛭石、泥炭土以不同体积混合得到, 各基质用量如表 1, 混合之前基质进行高压灭菌处理, 温度 121 °C, 20 min。培养环境, 温度 23~27 °C, 光照  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 相对湿度 70% 以上, 基质中的幼苗隔 2 d 浇一次  $1/2 \text{ MS}$  液体培养基溶液。

表 1 实验设计

Table 1 Experimental design

处理	基质配方(体积比)		
	珍珠岩	蛭石	泥炭土
T1	1	1	0
T2	1	1	1
T3	1	1	2

## 1.2 指标测定及方法

### 1.2.1 基质物理性质的测定

水土比 1:5, 分别用电导率仪 (DDS-307 A) 和台式酸度计 (FE 28-Sstandard) 测定基质电导率 EC 和 pH 值, 根据程斐等<sup>[14]</sup> 的方法测定基质密度、总孔隙度、通气孔隙度、毛管孔隙度、饱和含水量。

### 1.2.2 基于生理电阻的叶片固有导水度的计算

生物膜对穿过它的电流所呈现的电阻称为膜电阻。植物细胞膜主要由蛋白质和脂质构成, 电阻率较大, 构成了生物组织电阻的主要部分。电阻性电流是由离子传递引起的, 所以它是由膜对各种离子通透性的大小和通透离子是否大量存在等因素决定的。外界刺激改变了膜的通透性, 影响膜内外离子的浓度, 而膜内外离子浓度差服从能斯特方程, 生理电阻和电导率呈反比, 电导率与细胞内离子浓度呈正比, 由此可以推导出生理电阻与外界刺激的关系。

取相同生长状态不同处理的叶片, 每种处理 3 片叶子, 每片叶子取 5 个点, 置于自制平行电极板上, 该电极板与 LCR 测试仪 (3532-50, HIOK) 相连, 设定电压 1.5 V, 测试频率 3 000 Hz, 通过增加砝码改变对叶片的夹持力, 测定不同压力下叶片生理电阻 ( $R$ )。运用力学公式, 得出夹持力大小:

$$F = (M + m)g \quad (1)$$

其中,  $M$  为砝码质量, 单位 kg;  $m$  为塑料棒与电极片的质量, 单位 kg;  $F$  为重力 (夹持力), 单位 N;  $g$  为重力加速度, 为  $g = 9.8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

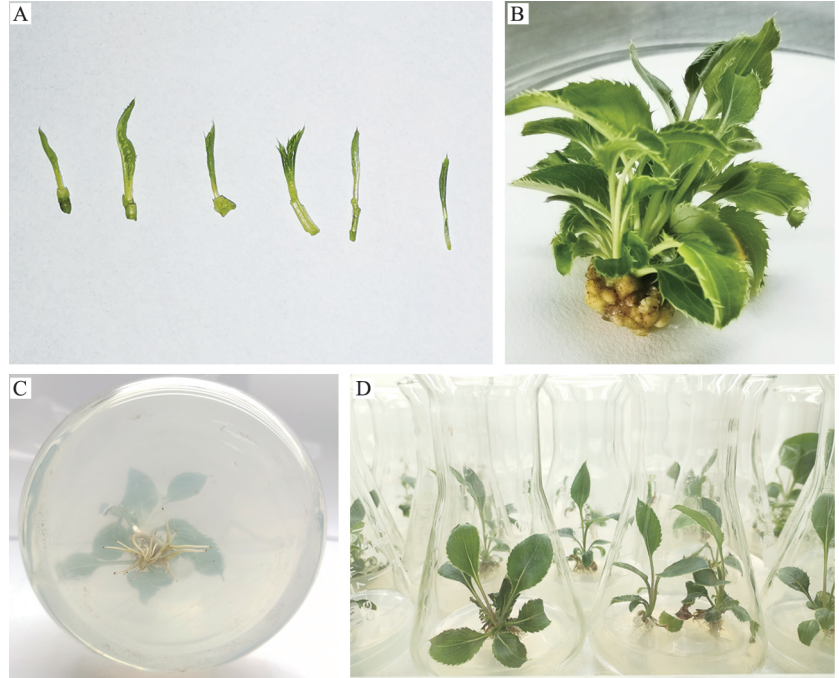
能斯特方程的表达式:

$$E - E^0 = \frac{R_0 T}{ZF_0} \ln \frac{C_i}{C_0} \quad (2)$$

其中,  $E$  为电动势;  $E^0$  为标准电动势;  $R_0$  为理想气体常数,  $R_0 = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $T$  是温度, 单位 K;  $C_i$  为细胞膜内浓度;  $C_0$  为细胞膜外浓度;  $F_0$  是法拉第常数,  $F_0 = 96 \text{ 485 C} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $Z$  为通透离子转移数, 单位 mol。电动势的内能可转化成压力做功, 与  $PV$  呈正比,  $PV = aE$ , 即

$$PV = aE = aE^0 + \frac{aR_0 T}{ZF_0} \ln \frac{C_i}{C_0} \quad (3)$$

其中,  $P$  为植物受到的压强,  $a$  为电动势转换能量系数,  $V$  为植物细胞体积; 压强可由压强公式求得



注: A 为外植体; B 为增殖培养阶段; C 为生根; D 为打开封口膜驯化阶段。

图 1 茅苍术组织培养

Fig.1 Tissue culture of *A. lancea*

$P = \frac{F}{S}$ , 其中,  $F$  为夹持力,  $S$  为极板作用下的有效面积;

叶肉细胞中, 液泡和细胞质占据了细胞内绝大部分空间, 对叶肉细胞而言,  $C_0$  与  $C_i$  之和等于膜内外通透离子总量  $C$ , 是固定不变的,  $C_i$  与电导率呈正比, 电导率又是电阻的倒数, 因此,

$$\frac{C_i}{C_0} = \frac{\frac{f_0}{R}}{C - \frac{f_0}{R}} = \frac{f_0}{CR - f_0}$$

其中,  $R$  为电阻,  $f_0$  为  $C_i$  与电阻之间转化的比例系数, 因此(3)式可变为:

$$\frac{V}{S}F = aE^0 - \frac{aR_0 T}{ZF_0} \ln \frac{CR - f_0}{f_0} \quad (4)$$

(4)式变形得:

$$\frac{aR_0 T}{ZF_0} \ln \frac{CR - f_0}{f_0} = aE^0 - \frac{V}{S}F \quad (5)$$

$$\ln \frac{CR - f_0}{f_0} = \frac{ZF_0 E^0}{R_0 T} - \frac{VZF_0}{SaR_0 T}F \quad (6)$$

(6)两边取指数得:

$$\frac{CR - f_0}{f_0} = e^{\frac{ZF_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{VZF_0}{SaR_0 T}F} \quad (7)$$

进一步变形得:

$$R = \frac{f_0}{C} + \frac{f_0}{C} e^{\frac{ZF_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{VZF_0}{SaR_0 T}F}$$

式(8)中  $R$  为生理电阻, 对于同一片待测叶片在



同一环境下,  $V, S, a, E^0, R_0, T, Z, F_0, C, f_0$  都为定值, 令

$$y_0 = \frac{f_0}{C}, k = \frac{f_0}{C} e^{\frac{ZF_0 E^0}{R_0 T}}, b = \frac{VZF_0}{SaR_0 T}, \text{因此(8)可变形为:}$$

$$R = y_0 + ke^{-bf} \quad (9)$$

生理电阻可反映膜内外离子浓度差值, 单位夹持力下水分输出量的变化与水势相关, 继而与膜内外离子浓度差的变化相关, 即单位夹持力下植物叶片  $R$  的变化值反映水分输出量的变化。单位夹持力下叶片  $R$  的变化:

$$R' = -kbe^{-bf} \quad (10)$$

单位压力下植物细胞的水分输出量的变化, 反映的是植物叶片水力传输特性, 单位时间单位压力下植物叶片细胞的水分输出量的变化值, 可定义为植物叶片导水度。在没有外来刺激的情况下, 植物叶片导水度即为植物叶片固有导水度。细胞水分输出量等效于生理电阻的变化, 单位时间单位压力下植物叶片水分输出量的变化值等效于单位时间单位压力下植物叶片生理电阻值的变化值。当  $F = h$  ( $h$  指被考察的夹持力) 时单位夹持力变化下的叶片生理电阻值的变化值  $RV_h, RV_h = -kbe^{-bh}$ , 又生理电阻的变化与测试频率有关, 因此基于生理电阻的叶片导水度  $WC_{PR}$  的公式为  $WC_{PR} = -fRV_0 = kfb e^{-bf}$ , 其中  $f$  为测试频率;  $F = 0$  时, 可定义叶片固有导水度, 基于生理电阻的植物叶片固有导水度  $IWC_{PR}$  的公式为:

$$IWC_{PR} = kfb \quad (11)$$

### 1.2.3 成活率和生长指标的测定

移栽两周后产生新叶为移栽成活判定标准<sup>[15]</sup>; 用直尺和游标卡尺分别测量幼苗的株高、最大叶片的叶长和叶宽, 拟合叶面积模型, 测算最大叶面积<sup>[16]</sup>。

### 1.2.4 光合指标的测定

幼苗生长 30 d 时, 选取长势一致的叶片, 于 09:00—11:00 时, 用 Li-6400 XT 便携式光合测量系统 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), 测量光合参数, 并计算水分利用效率。其计算公式为:  $WUE = Pn/Tr$ 。其中,  $WUE$  为水分利用效率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ),  $Pn$  为净光合速率 ( $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ),  $Tr$  为蒸腾速率 ( $\text{mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ )。

### 1.2.5 叶绿素荧光参数的测定

幼苗生长第 31 天, 于 17:00—20:00 时在江苏大学温室内进行测定。首先将植物进行暗适应 20 min, 用 IMAGING-PAM (Heinz Walz GmbH), 调制式叶绿素荧光仪测定叶片最大光化学量子产量 ( $F_v/F_m$ )、实际光合效率 ( $\Phi_{PSII}$ )、非光化学猝灭系数 ( $NPQ$ )、表观电子传递速率 ( $ETR$ )。参考黄伟等<sup>[17]</sup>的方法计算叶片 PSII 反应中心吸收光能分配情况。

### 1.2.6 数据分析

数据处理及图表绘制采用 Microsoft Excel 2010 和 Origin 2019 软件完成, 数据之间的多重比较采用 SPSS 26 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 育苗基质的物理性质

由表 2 可知, 3 种基质在电导率、pH 值及各种物理性质方面存在显著差异, 随着泥炭土在基质中所占比例的增加, 电导率增加, pH 值则减小。添加泥炭土后基质密度减小, 不同比例间差异不显著。在基质中添加泥炭土可优化土壤结构, T2、T3 处理的总孔隙度、毛管孔隙度、通气孔隙度、饱和含水量均大于 T1 处理。T3 处理的土壤结构物理性质在栽培基质物理性质的理想范围内, 兼顾通气性和持水量, 而 T1 基质总孔隙度、通气孔隙度均低于理想值, T2 通气孔隙度也低于理想范围值。

### 2.2 不同育苗基质对茅苍术幼苗叶片固有导水度的影响

由图 2 可知, 叶片生理电阻值随夹持力的增加而减小, 且电阻变化率  $T1 > T2 > T3$ , 同一压力下, 电阻值大小为  $R_{T1} > R_{T2} > R_{T3}$ , 且 T1 基质中生长的茅苍术叶片电阻值随压力增大变化量最小。不同基质类型上生长的茅苍术幼苗具有不同的固有导水度, 图 3 比较了各处理组的叶片  $IWC_{PR}$ , T1 叶片的  $IWC_{PR}$  最大, 且与添加泥炭土的处理组间存在显著差异, T2 叶片  $IWC_{PR}$  略高于 T3。

### 2.3 不同育苗基质对茅苍术幼苗叶绿素荧光参数的影响

$F_v/F_m$  为经过充分暗适应后的叶片 PSII 最大光

表 2 不同基质物理特性比较

Table 2 Comparison of physical properties of different substrates

处理	电导率/ ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	pH 值	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	通气孔隙度/%	饱和含水量/%
T1	64.80±0.18 c	8.48±0.04 a	0.55±0.02 a	46.75±1.14 b	33.83±1.12 b	12.92±0.18 b	46.02±0.72 b
T2	85.48±2.46 b	6.65±0.03 b	0.37±0.01 b	63.21±2.24 a	48.85±3.19 a	14.36±0.63 ab	63.40±0.62 a
T3	126.67±0.36 a	6.15±0.02 c	0.39±0.01 b	64.20±1.68 a	48.65±1.56 a	15.55±0.43 a	62.15±1.03 a

注: 表中数据显示平均值±标准误差; 同列不同字母表示不同处理之间在  $p < 0.05$  时存在显著差异。下同。

化学量子效率,在不受环境胁迫的情况下,一般植物恒定在 0.75~0.85 之间,茅苍术幼苗经驯化,  $Fv/Fm$  表现为  $T3>T1>T2$ 。不同基质类型上生长的幼苗叶片实际光化学效率间存在显著差异,且  $T3>T1>T2$ 。表 3 中,  $T2$  处理的幼苗  $\Phi_{PSII}$ 、 $NPQ$ 、 $ETR$  的值在三种处理中均为最低,且与其他两种处理间存在明显差异。 $T3$  茅苍术叶片具有最大的  $\Phi_{PSII}$  和  $ETR$ ,但是  $NPQ$  低于  $T1$  处理组叶片的值,且两者间存在显著差异。

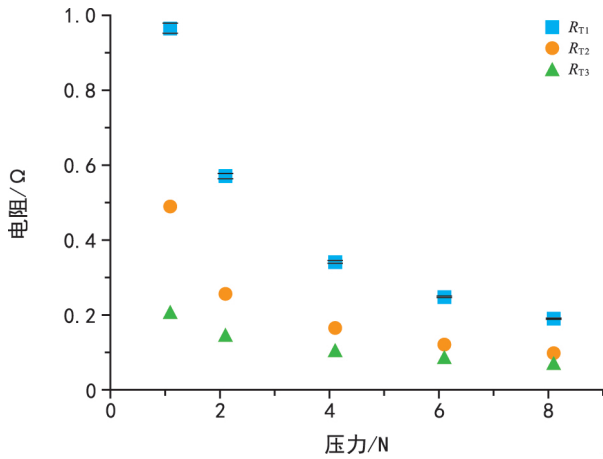


图 2 不同育苗基质下叶片在不同夹持力下的生理电阻  
Fig.2 Physiological resistance of leaves under different clamping forces under different substrates

表 3 不同育苗基质对茅苍术幼苗叶绿素荧光参数的影响  
Table 3 Effects of different substrate on chlorophyll fluorescence parameters of *A. lancea* seedlings

处理	最大光化学效率 ( $Fv/Fm$ )	实际光化学效率 ( $\Phi_{PSII}$ )	非光化学淬灭系数 ( $NPQ$ )	表观光合电子传递速率 ( $ETR$ )
T1	0.73±0.01 a	0.38±0.01 b	0.18±0.01 a	21.47±0.71 b
T2	0.71±0.01 b	0.35±0.01c	0.10±0.01 a	19.54±0.54 c
T3	0.74 a	0.42±0.01 a	0.12±0.01 b	23.60±0.57 a

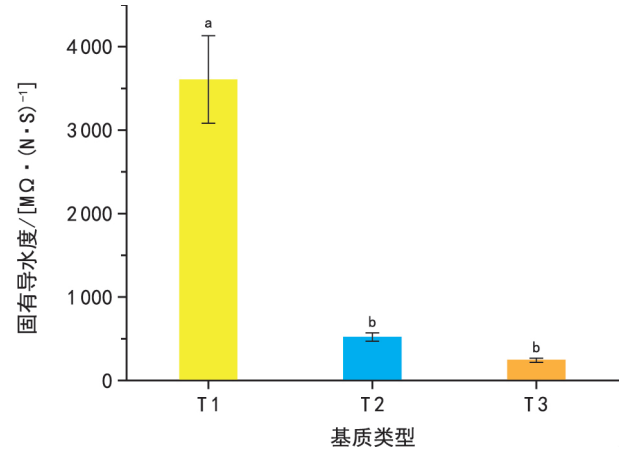


图 3 不同育苗基质对叶片固有导水度的影响

Fig.3 Effects of different seedling substrates on inherent water conductivity of leaves

#### 2.4 不同育苗基质对茅苍术幼苗叶片吸收光能分配影响

由表 4 可知,  $T3$  处理叶片的热耗散分别比  $T1$ 、 $T2$  低 1.05%、3.36%,其光化学反应耗散最高,分别比  $T1$ 、 $T2$  高 1.32%、8.29%,非光化学反应耗散分配比例最少,与  $T1$ 、 $T2$  相比,分别减少 0.27%、4.93%。

表 4 茅苍术幼苗驯化 30 d 后叶片 PSII 反应中心吸收光能分配情况

Table 4 Comparison of light energy distribution in PSII reaction centers of *A. lancea* seedlings leaves at 30 d after domestication

处理	光能分配		
	天线热耗散/%	光化学反应耗散/%	非光化学反应耗散/%
T1	26.79±0.55 b	45.72±1.73 a	27.49±1.63 b
T2	29.10±0.51 a	38.75±1.25 b	32.15±1.46 a
T3	25.74±0.24 b	47.04±0.99 a	27.22±0.90 b

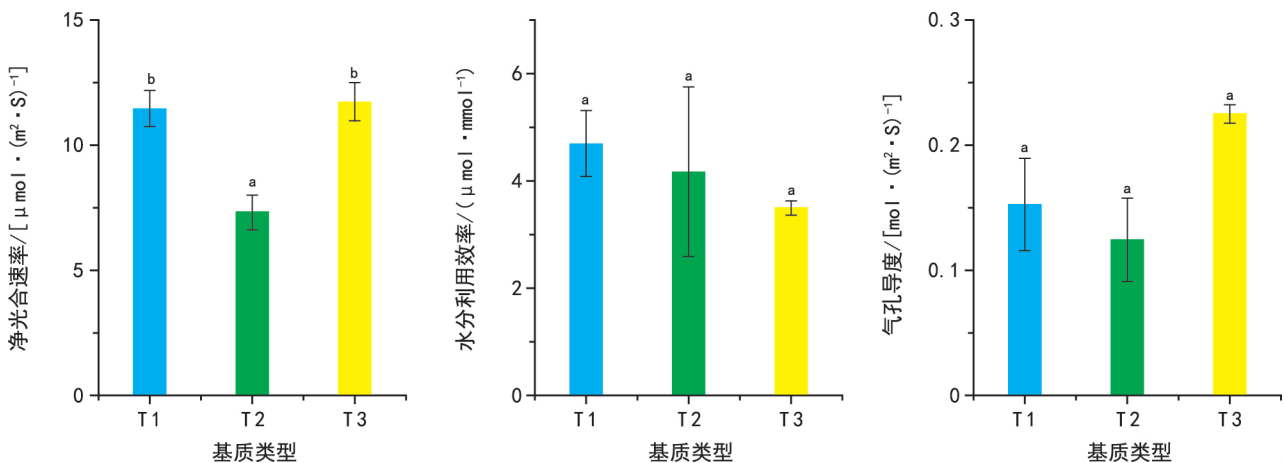


图 4 不同育苗基质对茅苍术幼苗光合作用的影响

Fig.4 Effects of different substrate on photosynthesis of *A. lancea* seedlings

## 2.5 不同育苗基质对茅苍术幼苗光合作用的影响

由图4可知,T3处理的茅苍术幼苗具有最高的净光合速率,T1的净光合速率次之,T2处理净光合速率最低。气孔导度和蒸腾速率与净光合速率具有相同的变化趋势,水分利用效率由大到小依次为T1>T2>T3。

## 2.6 植株生长指标

由表5可知,T1、T3两种处理均可保证幼苗具有较高的成活率,T2上生长的幼苗成活率相对较低。不同基质对茅苍术幼苗株高和最大叶面积影响显著,其中T3组幼苗株高最高,T1和T2间差异不明显;T3处理组的单株叶片数相对最多,T1次之,T2处理组最少,但三者间差异不显著;T3处理组植株具有最大的叶面积,T1处理组最大叶面积低于T3,T2处理组最大叶面积最小,且与T3相比差异显著。

表5 不同育苗基质对茅苍术幼苗成活率及生长的影响

Table 5 Effects of different substrate on survival rate and growth of *A. lancea* seedlings

处理	成活率/%	株高/cm	单株叶片数/片	最大叶面积/cm <sup>2</sup>
T1	97.20	5.60±0.15 b	5.20±1.10 a	4.27±0.18 ab
T2	80.50	5.54±0.07 b	4.80±1.64 a	3.88±0.69 b
T3	91.60	6.00±0.15 a	6.20±1.10 a	5.01±0.34 a

## 3 讨论

蛭石、珍珠岩和泥炭土是幼苗常用基质。不同比例混合形成的基质,其物理性质间存在显著差异。蛭石粒径较小,能够降低土壤通气孔隙度和毛管孔隙度。珍珠岩总孔隙度大,吸附的水分被根系吸收利用的程度较低。泥炭土保持了植物纤维的基本结构,通气性高且不易降解,持水能力强。电导率表示土壤中可溶性盐浓度,可溶性盐为植物生长提供营养,另外,pH值过高或过低也会影响营养元素在土壤中的有效性<sup>[18]</sup>。本研究中T1基质持水能力相对较弱,植物易于获取水分,但会造成水分的无效流失,相同灌溉情况下,叶片水分耗散严重,表现出较高的叶片固有导水度,同时气孔导度下降,减弱蒸腾作用,提高水分利用效率,以此来适应水分状况较差的基质环境<sup>[19]</sup>。该处理pH值大于8,电导率很低,因此营养成分较为缺乏,虽然幼苗成活率高,但后期长势相对较差。

T2基质在T1基础上添加了泥炭土,增加了基质的持水能力,植物固有导水度降低,不利于水分运输,基质通气较差,根系有氧受到呼吸抑制,根系活性逐渐受到抑制,因缺氧而降低呼吸速率,能量供应减弱,叶片中产生大量活性氧,叶绿素合成路径受阻,光

能捕获能力降低<sup>[20]</sup>,*Pn*、*ETR*均降低。该基质中泥炭土提供了养分,但含量较少,仍不足以支撑植物正常生长,所以T2基质中幼苗成活率低,生长受阻<sup>[21]</sup>。顾永华等<sup>[19]</sup>的研究表明,在营养期,涝渍胁迫会降低茅苍术成活率,这与本研究结果一致。

T3基质中泥炭土占比最多,电导率更高,大幅降低了基质pH值,与道地产区茅山的土壤pH值更为接近。基质持水能力的大幅加强导致叶片固有导水度降低,容易引发涝渍胁迫。然而,基质中有效养分的增加,有利于幼苗的生长,在T3基质中驯化30d后,幼苗净光合速率甚至优于T1处理的幼苗,株高、最大叶面积和叶片数等均比其他两种基质中的高。

## 4 结论

泥炭土可增加基质营养水平,提高持水能力。与其他两个基质相比,T3基质通气性好、保水能力强,能够减少水分的无效流失,可为茅苍术组培苗驯化提供良好的生长环境。在T3基质中驯化30d后,幼苗的水分、光合及生长状况良好,用水更为经济,幼苗与T3基质环境较为适配。因此,T3(蛭石:珍珠岩:泥炭土=1:1:2)组合可作为茅苍术组培苗驯化的适用基质。考虑到T3基质持水能力较强,在实际生产中可降低灌溉频次,以减轻该基质引发的涝渍胁迫问题。此外,基于生理电阻的叶片固有导水度可用于植物叶片水分状况的及时诊断。

## 参考文献:

- [1]陈飘雪,陈飞,袁洁,等.内生菌复合接种对茅苍术生长和倍半萜积累的影响[J].生态学杂志,2020,39(9):2944-2952.
- [2]Zhu S D,Guo L P,Cui Y J,et al.Quality suitability modeling of volatile oil in Chinese Materia Medica-Based on maximum entropy and independent weight coefficient method; Case studies of *Atractylodes lancea*, *Angelica sinensis*, *Curcuma longa* and *Atractylodes macrocephala*[J]. *Industrial Crops and Products*,2019,142:111807.
- [3]张莉,王玉鑫,张艳玲,等.不同坡位对土壤特性及茅苍术幼苗长势的影响[J].北方园艺,2019(21):102-108.
- [4]顾永华,冯煦,夏冰.水分胁迫对茅苍术根茎生长及挥发油含量的影响[J].植物资源与环境学报,2008,17(3):23-27.
- [5]谷巍,巢建国,张莹,等.濒危药用植物茅苍术野生抚育技术研究[J].南京中医药大学学报,2008,24(4):248-250.
- [6]封海东,张振,柯磊,等.茅苍术覆膜绿色高效栽培技术[J].中国现代中药,2019,21(1):68-70.
- [7]李西腾,吴沿友.茅苍术的组织培养和快速繁殖[J].广西热带农业,2006(2):33-34.

(下转第19页)

- and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119: 1300-1306.
- [9]任贵兴,杨修仕,么杨.中国藜麦产业现状[J].作物杂志, 2015(5):1-5.
- [10]顾娴,黄杰,魏玉明,等.藜麦研究进展及发展前景[J].中国农学通报, 2015, 31(30): 201-204.
- [11]王成树,李增智.分子数据的遗传多样性分析方法(综述)[J].安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 90-94.
- [12]齐冰洁,张智勇,赵利梅,等.燕麦种质资源遗传多样性的 AFLP 分析[J].麦类作物学报, 2012, 32(4): 648-652.
- [13]王敏,杨万明,李润植,等.大豆种质资源 RAPD 标记遗传多样化研究[J].核农学报, 2010, 24(2): 231-238.
- [14]Bekele BD, Naveen GK, Rakhi S, et al. Genetic evaluation of recombinant inbred lines of rice (*Oryza sativa* L.) for grain zinc concentrations, yield related traits and identification of associated SSR markers[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2013, 16(23): 1714-1721.
- [15]Fairbanks D, Waldrigues A, Ruas CF, et al. Efficient characterization of biological diversity using field DNA extraction and random amplified polymorphic DNA markers[J]. *Revista Brasileira de Genetica*, 1993; 16, 11-22.
- [16]Maughan PJ, Bonifacio A, Jellen EN, et al. A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on AFLP, RAPD and SSR markers [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2004; 109, 1188-1195.
- [17]Jarvis DE, Kopp OR, Jellen EN, et al. Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. *Journal of Genetics*, 2008, 87: 39-51.
- [18]陆敏佳,蒋玉蓉,陆国权,等.利用 SSR 标记分析藜麦品种的遗传多样性[J].核农学报, 2015, 29(2): 260-269.
- [19]樊文强,盖红梅,孙鑫,等. SSR 数据格式转换软件 Data Formater[J].分子植物育种, 2016(1): 265-270.
- [20]张体付,戚维聪,顾闽峰,等.藜麦 EST-SSR 的开发及通用性分析[J].作物学报, 2016, 42(4): 492-500.
- [21]胡一波,杨修仕,陆平,等.中国北部藜麦品质性状的多样性和相关性分析[J].作物学报, 2017, 43(3): 464-470.
- [22]陆敏佳,莫秀芳,王勤,等.藜麦基因组 DNA 提取方法的比较[J].江苏农业科学, 2014, 42(4): 42-45.
- [23]宋娇.藜麦种质资源遗传多样性研究及藜麦品种(系)变异率分析[D].西宁:青海大学, 2018.
- [24]Ogungbenle HN. Nutritional evaluation and functional properties of quina (*Chenopodium quinoa*) flour[J]. *Intl J Food Sci Nutr*, 2003, 54: 153-158.
- [25]王黎明,马宁,李颂,等.藜麦的营养价值及其应用前景[J].食品工业科技, 2014, 35(1): 381-384.

~~~~~

(上接第 12 页)

- [8]Gomez-Bellot M J, Ortuno M F, Nortes P A, et al. Effectiveness of bacterial inoculation in alleviation of salinity on water status, mineral content, gas exchange and photosynthetic parameters of *Viburnum tinus* L. plants[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 237: 303-310.
- [9]宋慧清,倪鸣源,朱师丹.乔木与木质藤本的水力与光合性状的差异:以热带森林崖豆藤属和买麻藤属为例[J].植物生态学报, 2020, 44(3): 192-204.
- [10]Xing D K, Chen L, Wu Y Y, et al. Leaf physiological impedance and elasticity modulus in *Orychophragmus violaceus* seedlings subjected to repeated osmotic stress[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 276: 109763.
- [11]王红娟,杨岚,向增旭.药用植物茅苍术工厂化育苗关键技术研究[J].药物生物技术, 2014, 21(2): 152-155.
- [12]韩洪润.不同的基质对比对番茄幼苗生长的影响[J].青海农林科技, 2020, 118(2): 16-20.
- [13]陈彦君,柴忠金,罗辉,等.不同基质对南天竹容器苗生长和生理的影响[J].种子, 2020, 39(5): 152-157.
- [14]程斐,孙朝晖,赵玉国,等.芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析[J].南京农业大学学报, 2001, 24(3): 19-22.
- [15]宋刚,徐银,史俊,等.茅苍术规模化组培快繁体系的建立[J].江西农业学报, 2018, 30(9): 63-67.
- [16]徐小健.模拟岩溶干旱下叶片紧张度的响应及在变量灌溉中的应用[D].镇江:江苏大学, 2019.
- [17]黄伟,杨谋,柳永强.塑膜保水集热对马铃薯种苗 PS II 荧光特性和吸收光能分配的影响[J].黑龙江农业科学, 2012(4): 39-41.
- [18]刘宇锋,罗佳,苏天明,等.外源腐殖酸对栽培基质性状和辣椒生长发育的影响[J].江苏农业学报, 2016, 32(3): 647-655.
- [19]Hussain S, Iqbal N, Brestic M, et al. Changes in morphology, chlorophyll fluorescence performance and Rubisco activity of soybean in response to foliar application of ionic titanium under normal light and shade environment[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 658: 626-637.
- [20]余卫东,冯利平,胡程达.涝渍胁迫下玉米苗期不同叶龄叶片光合特性[J].玉米科学, 2019, 27(5): 73-80.
- [21]李孟洋,巢建国,谷巍,等.不同产地茅苍术对淹水胁迫的生理生化响应及耐淹性的 TOPSIS 综合评价[J].生态学杂志, 2016, 35(2): 407-414.