

田娜, 刘范, 孙雪丽, 车婧如, 项蕾蕾, 赖钟雄, 程春振. 水培炼苗对香蕉组培移栽苗生长及光合特性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26 (3): 582-589

Tian N, Liu F, Sun XL, Che JR, Xiang LL, Lai ZX, Cheng CZ. Effects of hydroponic culture hardening on the growth and photosynthetic characteristics of banana seedlings [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2020, 26 (3): 582-589

水培炼苗对香蕉组培移栽苗生长及光合特性的影响

田娜 刘范 孙雪丽 车婧如 项蕾蕾 赖钟雄✉ 程春振✉

福建农林大学园艺学院, 园艺植物生物工程研究所 福州 350002

摘要 为了解采用改良Hoagland溶液进行水培炼苗对香蕉组培苗生长和光合特性的影响, 以‘巴西蕉’组培苗为材料, 进行直接移栽(G1)、正常炼苗移栽(G2)和水培一周后移栽(G3)处理, 比较3组香蕉苗形态、生理特性和生长相关指标的差异。结果显示, 与G1和G2组相比, G3组香蕉幼苗根长、地上部和地下部干重、根冠比极显著增加($P < 0.01$), 根数显著增多($P < 0.05$)。移栽后4个月, G3组株高、叶宽、叶长极显著大于G2组($P < 0.01$), 大于G1组, 但差异不显著。植株叶片叶绿素含量和根系活力由高到低均为G3组、G2组、G1组, 且G3组极显著高于其他两组($P < 0.01$)。移栽后4个月, G3组叶片叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素和类胡萝卜素含量与G1组相比分别增加49.0%、50.1%、49.4%和58.5%, 与G2组相比分别增加23.98%、28.38%、25.43%和26.77%; G3组根系活力分别约为G1和G2组的3.04倍和1.86倍; G3组植株净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、实际光合效率(YII)、电子传递速率(ETR)、光化学猝灭系数(q_p)也均极显著高于其他两组($P < 0.01$)。本研究表明水培炼苗可以提高香蕉苗根系活力, 加快植株生长, 提高叶片叶绿素含量和光合效率, 增强植株生物量的积累, 说明水培炼苗具有应用于香蕉种苗繁育的巨大潜力。(图7 表2 参33)

关键词 水培炼苗; 香蕉; 植株生长; 根系活力; 光合特性

Effects of hydroponic culture hardening on the growth and photosynthetic characteristics of banana seedlings

TIAN Na, LIU Fan, SUN Xueli, CHE Jingru, XIANG Leilei, LAI Zhongxiong✉ & CHENG Chunzhen✉

College of Horticulture/Institute of Horticultural Biotechnology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract The aim of this study is to investigate the effects of hydroponic culture hardening using modified Hoagland solution on the growth and photosynthetic characteristics of tissue cultured banana seedlings. Micro-propagated ‘Brazil’ banana seedlings were divided into three groups: direct transplanting (G1), transplanting after normal hardening (G2), and one week of hydroponic culture before transplanting (G3). Following transplantation, the morphological and physiological characteristics and growth related indexes of banana seedlings from these three groups were compared. Results showed that some growth and development indexes of G3 seedlings, including root length, aboveground and underground dry weight, and root-shoot ratio were significantly higher than those of G1 and G2 ($P < 0.01$). Furthermore, the root number of G3 seedlings was significantly greater than that of the other two groups ($P < 0.05$). Four months after transplanting, the plant height, leaf width, and leaf length of G3 plants were significantly higher than those of G2 ($P < 0.01$). They were also higher than those of G1, although not significantly. The leaf chlorophyll content and root activity indexes were highest in G3, followed by G2, then G1, with these two indexes being significantly higher in G3 than in the other two groups ($P < 0.01$). At four months post-transplantation, the chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid contents in G3 leaves were 49.0%, 50.1%, 49.4%, and 58.5% higher, respectively, than G1 leaf contents. Similarly, they were 23.98%, 28.38%, 25.43%, and 26.77% higher, respectively, than contents of G2 leaves. The root activity of G3 plants was approximately 3.04 times and 1.86 times that of G1 and G2, respectively. Additionally, the net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, actual photosynthetic rate (YII), electron transport rate (ETR), and photochemical quenching coefficient (q_p) of G3 seedlings were all found to be significantly higher than in the other two groups ($P < 0.01$). Our results show that hydroponic culture prior to transplantation

收稿日期 Received: 2019-06-25 接受日期 Accepted: 2019-09-12

国家自然科学基金项目(31601713)、福建农林大学“校杰出青年科研人才”计划项目(xjq201721)、福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2018082)、国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-31-15)和福建省高原学科建设经费(102/71201801101)资助 Supported by the Natural Science Foundation of China (31601713), the Natural Science Funds for Distinguished Young Scholar of the Fujian Agriculture and Forestry University (xjq201721), the Science and Technology Innovation Fund Project of Fujian Agriculture and Forestry University (CXZX2018082), the National Special Fund Project for the Construction of Modern Agricultural Technology System (CARS-31-15) and the Construction of Plateau Discipline of Fujian Province (102/71201801101).

✉通讯作者 Corresponding author (E-mail: laizx01@163.com; ld0532cheng@126.com)

can increase root activity, enhance plant growth, and increase leaf chlorophyll content, and significantly promote plant photosynthetic efficiency and biomass accumulation in banana seedlings. This indicates that hydroponic culture hardening has great potential to be used in banana seedling propagation.

Keywords hydroponic culture hardening; banana; plant growth; root activity; photosynthetic characteristics

水培是一种新型的植物无土栽培方式,是将植物的根系置于营养液中培养,其可为苗木根系生长提供适宜的生长条件和丰富的营养,对植株生根和生长具有良好的促进作用^[1].近些年来,水培在组培苗炼苗过程中得到了一些成功应用.李心悦等比较了常规炼苗和水培炼苗5 d后移栽的苹果组培苗的成活情况,发现水培可提高野生苹果的成活率^[2].王娜等发现将山新杨组培苗水培炼苗15 d后移栽,组培苗的成活率大大提高^[3].胡凤和杨万年使用自来水和固体培养基对大豆组培再生枝进行生根培养,发现大豆在自来水中的生根速度、根长、根数以及移栽后成活率均更高^[4].以上研究表明水培是一种简单高效的组培苗炼苗方式.

香蕉(*Musa spp.*)属于芭蕉科芭蕉属的大型草本植物,是世界四大水果之一,也是热带、亚热带一些国家或地区的主要的粮食作物^[5-6].香蕉组培苗具有遗传背景稳定、长势均匀一致、无病、繁殖速度快和抗病能力更强等优点^[7-8],因此被用作包括我国在内的许多香蕉生产国家的香蕉种苗主要来源^[9-10].炼苗是香蕉组培苗移栽前的一个重要环节^[11],对组培苗移栽后的成活率和生长情况影响较大,炼苗不充分或方式不当会导致组培苗长势较弱甚至死亡.目前,香蕉组培苗炼苗主要是将组培瓶或组培袋打开,加入适量水或不加水炼苗1-2 d,之后将根部的培养基清洗干净后移栽^[12].水培在香蕉育苗领域已有了一些成功应用的报道.王甲水等发明了香蕉苗的水培方法和系统,实现了对香蕉苗生长过程中的营养成分的控制^[13].Badr-Elden等通过比较水培和盆栽香蕉组培苗生长差异,发现水培系统中培养的香蕉苗成活率和生长势均优于盆栽苗^[14].黄俊生等发现水培香蕉组培苗比沙床假植组培苗生长更快,且大田种植后长势和产量均更高^[15].然而,这些研究多是利用水培进行香蕉苗的培育,而并非是将水培应用于组培苗炼苗.本研究通过比较直接移栽、正常炼苗后移栽、水培一周后移栽的香蕉组培苗的根长、根数、根系活力、株高、叶长、叶宽、地上部分和地下部分干重、叶绿素含量、光合速率及叶绿素荧光参数的差异,揭示水培炼苗对香蕉移栽苗生长和光合性能的影响,进而探讨香蕉水培炼苗的应用前景.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用‘巴西蕉’组培苗由福建农林大学园艺植物生物工程研究所提供.选取在生根培养基中培养4周、根系生长良好、长势均匀一致的香蕉组培苗用于后续研究.

1.2 材料处理

将‘巴西蕉’组培苗分为3组,每组各15株,分别进行直接移栽(G1)、正常炼苗移栽(G2)和水培一周后移栽(G3)处理.G1组:将香蕉组培苗的根部清洗干净后直接移栽^[16].G2组:将香蕉组培苗置于光照强度为 $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的育苗室中,开盖、加入无菌水浸没培养基、24 h后取出香蕉组培苗将根部清洗干净后移栽.G3组:将香蕉组培苗洗净根系培养基后培养于改良Hoagland溶液中^[17],用 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的海绵块

将香蕉组培苗固定在发泡板上,根系置于 $31 \text{ cm} \times 23 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ 装有营养液的水培箱中,对水培箱进行遮光处理,一周后移栽.所有处理均于2018年11月22日完成并统一移栽.所用育苗盆直径和高度分别为14 cm和11 cm,每个育苗盆中装有3/4的有机质土壤.移栽后将香蕉苗培养于 25°C ,湿度60%-70%,光照时间12 h/d,光照强度 $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的育苗室中.

1.3 生长指标测定

分别于移栽后2、3和4个月测定3组香蕉组培苗株高、第二叶叶长和叶宽.于移栽后2个月和4个月测量移栽苗的根数和最大根长.于移栽后4个月测定移栽苗整株、地上部和地下部干重,各指标均至少重复测定5次.

1.4 根系活力的测定

移栽后4个月,取长度为1-1.5 cm的香蕉主根根尖,使用氯化三苯基四氮唑还原法(TTC法)测定根系活力^[18].

1.5 叶绿体色素含量测定

参考邱念伟等的方法^[19]测定移栽后4个月的3组香蕉组培苗第二叶光合色素含量,每组重复3次.

1.6 光合作用相关指标测定

使用CIRAS-3光合测定系统(PP SYSTEMS, 美国)测定移栽后4个月香蕉组培苗第二叶细胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)等指标,每组重复5次.测定时,设置参数内部光强(PARi)为 $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,相对湿度设为50%,避开主叶脉,待数据稳定后,记录数据.

1.7 叶绿素荧光参数测定

使用M系列调制叶绿素荧光成像系统IMAGING-PAM(Walz, 德国)测定移栽4个月的香蕉组培苗第二叶最大光合效率(F_v/F_m)、潜在光合效率(F_v/F_o)、实际光合效率(YII)、电子传递速率(ETR)、非化学淬灭系数(NPQ)、化学淬灭系数(q_p)等叶绿素荧光参数,每个叶片测定5个区域,每组至少重复3次.于中午12时左右进行测定,测定前对各种处理的叶片进行活体暗处理30 min,光合有效辐射(PAR)为 $56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,每20 s打开一次饱和脉冲,饱和脉冲强度为 $4000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

1.8 数据统计分析

使用Microsoft Excel 2016进行数据统计,使用SPSS 17.0软件利用Duncan新复极差法检验各组数值在5%、1%水平的差异显著性.

2 结果与分析

2.1 生长指标

移栽后2个月,G3组叶长显著大于其他两组($P < 0.05$),叶宽和根长极显著大于其他两组($P < 0.01$),株高极显著大于G2组(图1、表1).移栽后3个月,G3组叶宽显著大于其他两组,株高和叶长极显著大于其他两组.移栽后4个月,G3组株高、叶宽、叶长极显著大于G2组,根数显著大于其他两组(图1、表1),地上干重、地下干重、根冠比极显著大于其他两组(图2),植株长势最佳,根系更发达(图3).综上,香蕉组培

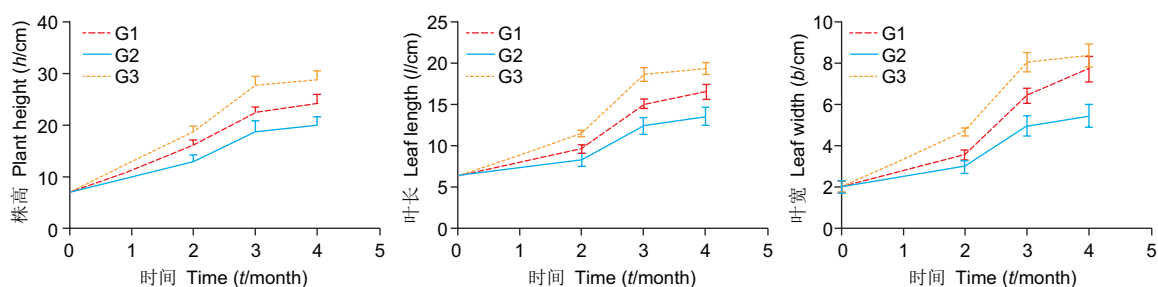


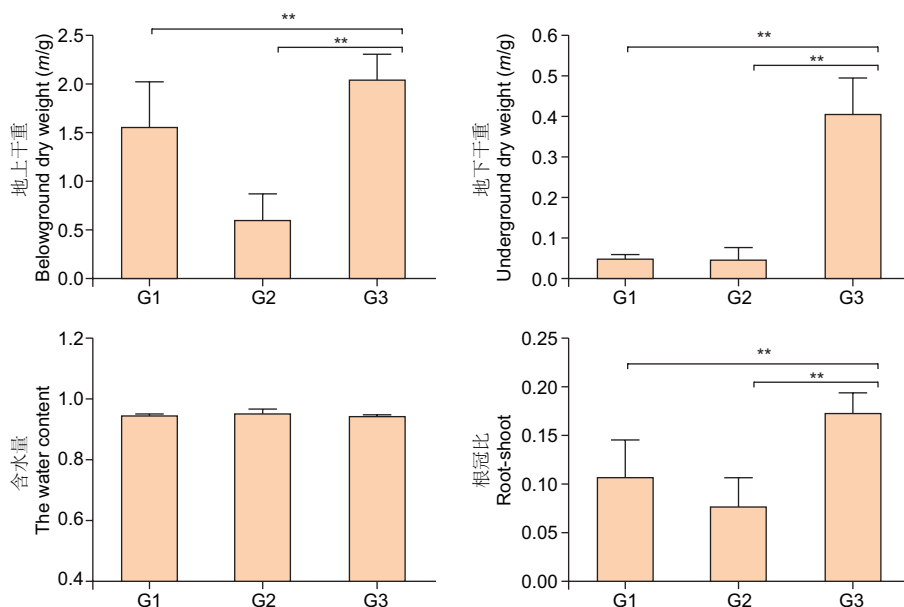
图1 不同炼苗处理对香蕉地上部分生长特性的影响。

Fig. 1 Effects of different hardening treatments on the upground part growth characteristics of banana seedlings.

表1 不同炼苗处理对香蕉根长和生根数的影响

Table 1 The influence of different hardening treatments on the root length and root number of banana seedlings

时间 Time	根长 Root length (l/cm)			根数 Root number (N/stripe)		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
移栽2个月 2 months post transplanting	15.77 ± 5.94	12.35 ± 4.48	28.70 ± 3.37**	5.80 ± 1.57	6.20 ± 1.57	6.40 ± 1.26
移栽4个月 4 months post transplanting	23.75 ± 6.24	20.75 ± 4.27	38.25 ± 4.99**	6.75 ± 1.26	7.00 ± 1.83	10.25 ± 2.06*

*和**分别代表与G1组相比差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。*and** respectively represent significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) difference compared with G1.图2 移栽后4个月不同处理组香蕉生物量统计结果。*和**分别代表差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。Fig. 2 Statistical results of the banana seedling biomass under different treatments at 4 months post transplanting. * and ** respectively represents significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) difference.

苗经一周水培后再进行移栽植株根系更为发达, 植株长势和生物量积累也显著优于其他两组。

2.2 根系活力

通过比较根系活力发现, G3组极显著大于其他两组(图4), G3组根系活力约为G1组的3.04倍、G2组的1.86倍。

2.3 叶绿体色素含量

通过比较不同处理香蕉组培移栽苗叶片光合色素含量发现, G3组叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素和总叶绿素的含量均极显著高于G1组与G2组。G2组的叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素和总叶绿素的含量极显著高于G1。而G2组的叶绿素a/b极显著大于G3组, 显著大于G2组(图5)。

2.4 光合作用相关指标

通过比较不同处理香蕉组培移栽苗光合作用发现, G3组胞间 CO_2 浓度显著小于其他两组。G3组气孔导度极显著大于G1组, 显著大于G2。G3组净光合速率与蒸腾速率极显著高于

其他两组(图6)。

2.5 叶绿素荧光参数

通过比较不同处理香蕉组培移栽苗叶绿素荧光参数发现, G3组YII、ETR、 q_p 极显著大于其他两组(图7)。G3组YII比G1组、G2组分别高了33.09%、39.67%。G3组ETR比G1组、G2组分别高了33.08%、39.85%。G3组 q_p 比G1组、G2组分别高了29.75%、35.12%。此外, 还发现G2组和G3组 F_v/F_m 、 F_v/F_o 和NPQ值均显著低于G1组。

2.6 生长指标相关性分析

通过对生长相关指标进行相关性分析, 发现各生长指标间相关性较高(表2)。株高与叶宽、地上干重呈显著正相关, 与叶宽、根冠比、地下干重呈极显著正相关; 根系活力与根长、根数、根冠比、地上干重、地下干重呈极显著正相关; 叶长与叶宽、根冠比呈极显著正相关。其中, 根系活力与地上干重、地下干重的相关系数较高。

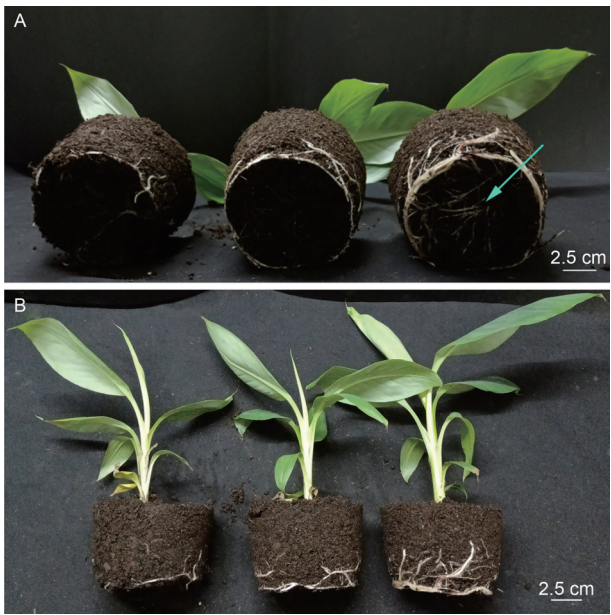


图3 不同处理方式对香蕉根系发育和植株生长的影响。A: 基质底部根系生长情况, 箭头所指为G3组基质底部根系的生长状况; B: 植株生长情况, 从左到右依次为G2、G1、G3。

Fig. 3 Effects of different treatments on banana root development and seedling growth. A: Roots at the bottom of the substrate. Arrow indicate the roots of G3 at the bottom of the substrate. B: Seedling phenotypes. The seedling in A and B from left to right is respectively plant of G2, G1 and G3.

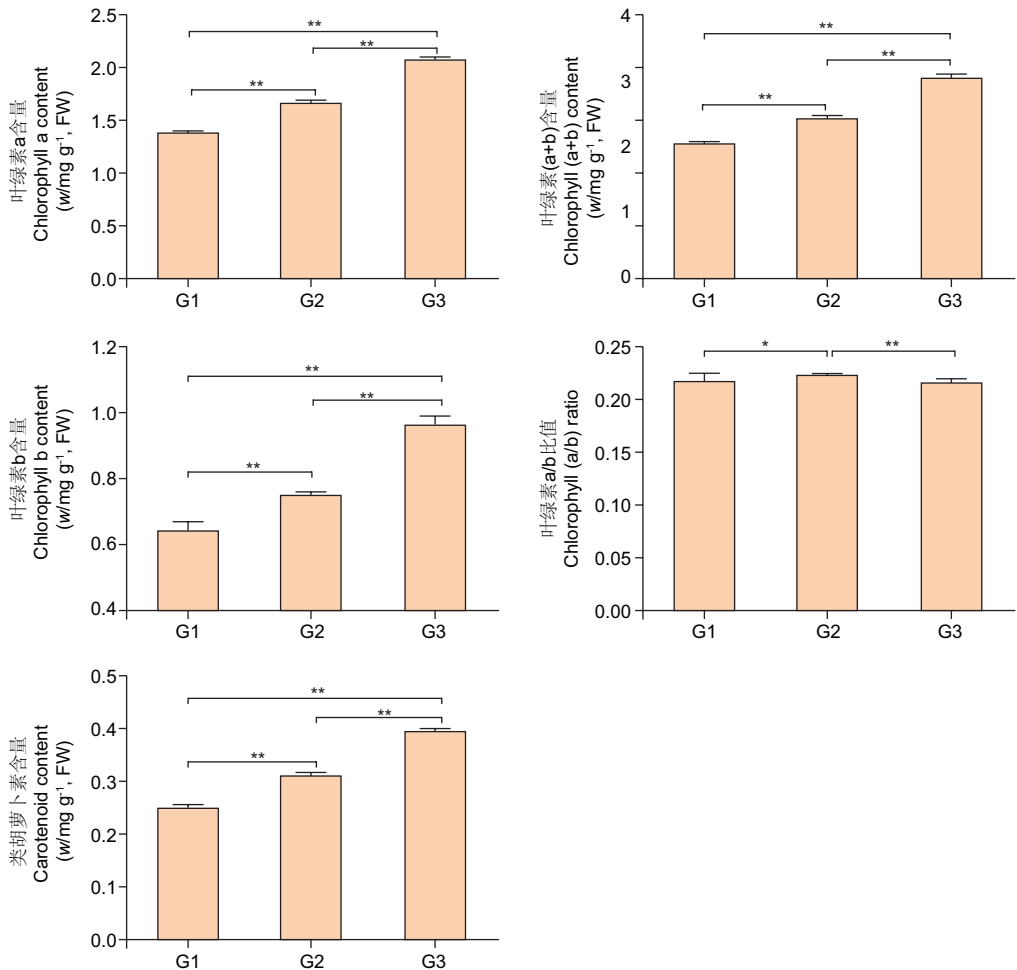


图5 不同处理方式香蕉光合色素含量测定结果。*和**分别代表差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

Fig. 5 Results of photosynthetic pigment contents of banana seedlings with different treatments. * and ** respectively represents significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) difference.

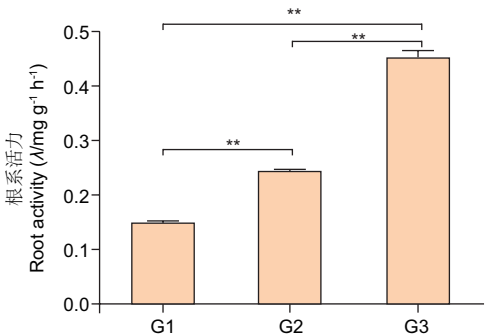


图4 不同处理方式的香蕉根系活力测定结果。*和**分别代表差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

Fig. 4 Results of root activity of banana seedlings under different treatments. * and ** respectively represents significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) difference.

3 讨论与结论

组培苗抗逆能力弱, 如将组培苗直接移栽到基质或田间, 其将难以适应较大的环境差, 造成植株长势弱甚至死亡。因此, 在组培苗移栽前往往需要进行炼苗处理^[11], 以提高组培苗对外界环境的适应性和其光合能力, 提高移栽成活率。研究表明, 对组培苗进行适当的养分驯化可提高其对土壤的适应性, 促进植株生长^[20]。近些年来, 水培炼苗被应用于多种植物组培苗的生产, 并取得了理想的效果^[2-4]。本研究通过利用改良

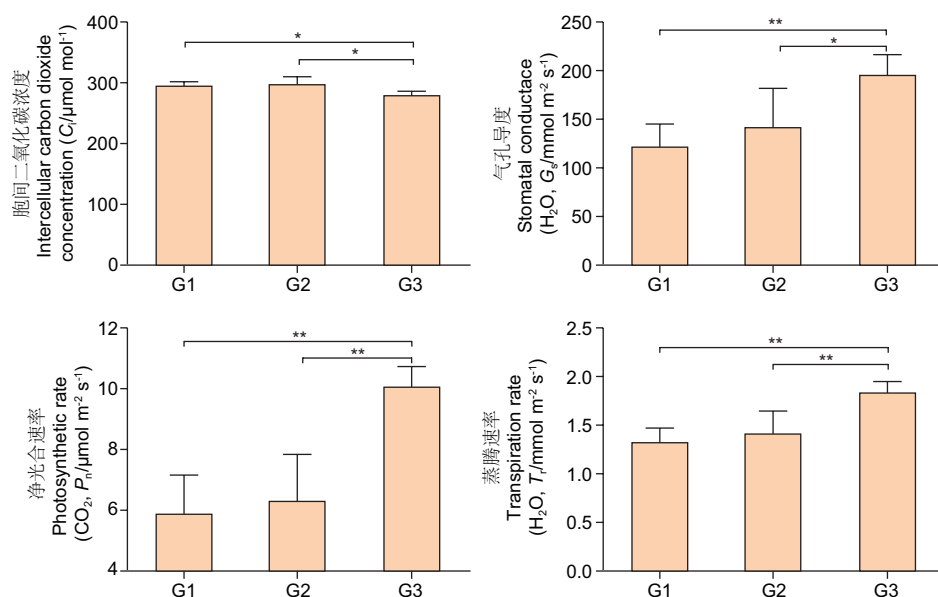


图6 不同处理方式的香蕉光合作用相关指标测定结果。*和**分别代表差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

Fig. 6 Results of the photosynthesis related indexes of banana seedlings with different treatments. * and ** respectively represents significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) difference.

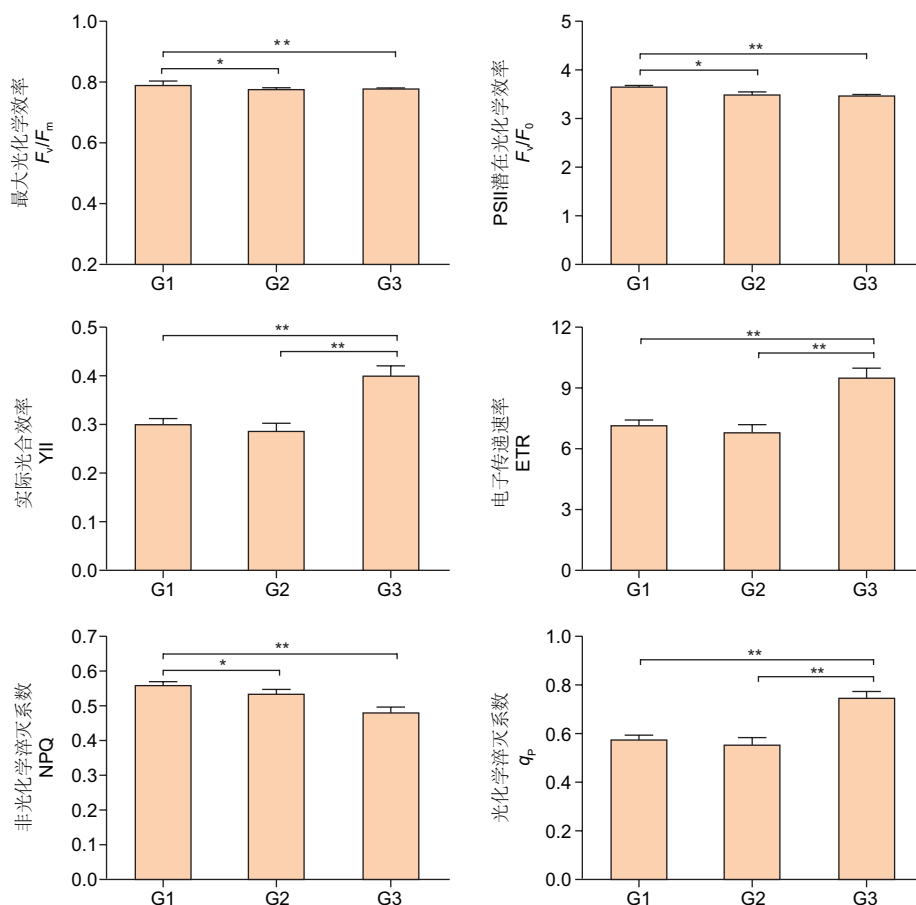


图7 不同处理方式的香蕉叶绿素荧光参数测定结果。*和**分别代表差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

Fig. 7 Results of the chlorophyll fluorescence indexes of banana seedlings with different treatments. * and ** respectively represents significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) difference.

Hoagland溶液对‘巴西蕉’组培苗进行水培炼苗,发现水培炼苗可以提高香蕉根系活力和光合能力。

3.1 水培炼苗可以提高香蕉根系活力

水培液营养丰富,可为植物根系生长提供适宜的生长条

件,进而加快植株生根^[1]。水培条件下,植物需要通过诱导不定根、形成通气组织、进行输氧,以适应水培环境^[21]。本研究发现经水培炼苗的香蕉苗根长和根系数目均显著优于其他两组,这可能与香蕉为适应水培环境和吸收营养而开始诱导形

表2 生长相关指标相关性分析结果
Table 2 Correlation analysis result of growth related indexes

指标 Index	株高 Plant height	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	根长 Root length	根数 Root Number	根冠比 Root-shoot ratio	根系活力 Root activity	地上干重 Upground dry weight
叶长 Leaf length	0.775**	1						
叶宽 Leaf width	0.642*	0.823**	1					
根长 Root length	0.517	0.576	0.407	1				
根数 Root number	0.532	0.48	0.356	0.725**	1			
根冠比 Root-shoot ratio	0.774**	0.715**	0.525	0.717**	0.709**	1		
根系活力 Root activity	0.574	0.525	0.267	0.762**	0.717**	0.721**	1	
地上干重 Upground dry weight	0.688*	0.742**	0.474	0.866**	0.650*	0.808**	0.866**	1
地下干重 Underground dry weight	0.722**	0.750**	0.47	0.813**	0.772**	0.845**	0.928**	0.949**

*和**分别表示显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) 相关性。
*and ** indicate significant ($P < 0.05$) and very significant ($P < 0.01$) correlation respectively.

成更多根系有关。经水培炼苗的香蕉组培苗在移栽后由于根系较多,推测其对土壤营养的吸收能力也更强。根系活力是反映植物根系对养分与水分吸收能力强弱的重要指标^[22-23]。本研究中,经水培炼苗的香蕉苗根系活力极显著高于其他组植株,证实了水培炼苗对香蕉苗根系对营养的吸收能力的促进作用^[24-25]。植物的地上部分与地下部是相互协调的关系,植物根系发达则可将更多土壤中的水分与养分快速输送到地上部分,促进地上部的增长。本研究也发现香蕉地上部高度和重量、叶宽和叶长等指标与根长、根数和根系活力均呈正相关,说明经水培炼苗的香蕉根系对营养和水分吸收能力更强,进而促进地上部的生长和生物量的积累。

3.2 水培炼苗可以提高香蕉光合能力

叶绿素含量多少决定了植物的光合作用的强弱、生物量积累以及植物生长状况^[26]。本研究发现经水培炼苗的香蕉苗叶绿素含量和光合速率均显著高于其他两组,说明水培炼苗可以促进香蕉苗叶片叶绿素的积累、提高植物光合能力^[27-29]。

叶绿素荧光参数是植物光合作用的探针^[26],可反映叶片光合过程中光系统对光的吸收、传递、耗散及分配情况,同时可在一定程度上反映环境因子对植物的影响。本研究发现正

常炼苗和水培炼苗的香蕉苗 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均低于对照。李丹等的研究发现在室温条件下抗逆性更强的三明野生蕉 F_v/F_m 值低于抗逆性较弱的‘天宝蕉’,推测经炼苗处理的香蕉苗 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值更低可能与经炼苗的香蕉苗抗逆性更强有关^[30]。本研究还发现经水培炼苗的香蕉苗YII、ETR和 q_p 均高于其他两组,说明经水培炼苗的香蕉苗电子传递速率快,光合活性高,光合速率大,能够将光能快速转化为化学能,促进有机物的积累^[31-32]。此外,经水培炼苗的香蕉叶片NPQ小于其他两组。NPQ反映的是被天线色素吸收但不能用于光合电子传递,而是以热耗散的形式耗散出去的光能^[33]。说明经水培炼苗的植株所吸收的光能主要用于光合作用,少部分以热的形式耗散,与水培炼苗的香蕉苗光合速率更高相一致。

综上,本研究通过测定和比较3种处理的香蕉组培苗移栽后的生长和光合相关指标,发现水培炼苗能够促进香蕉根系生长、提高根系活力,进而增强植株光合能力、促进地上部植株生长。在组培苗移栽前使用简易装置对组培苗进行水培炼苗不需改变传统香蕉组培工艺流程,而且还能起到提高香蕉根系活力和光合能力的作用。由此可见,水培炼苗具有应用于香蕉种苗繁育的巨大潜力。

参考文献 [References]

1 Lee SJ, Lee JY. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: types and characteristics of hydroponic food production methods [J]. *Sci Hortic*, 2015, **195**: 206-215

2 李心悦, 张道远, 李进. 一种快速获得野苹果组培苗的方法[J]. 北方园艺, 2018 (14): 31-37 [Li XY, Zhang DY, Li J. A quick method for acquiring *Malus sieversii*'s tissue culture seedlings [J]. *North Hortic*, 2018 (14): 31-37]

3 王娜, 窦恺, 王志英, 张荣沐, 王玉成, 刘志华. 山新杨组培苗生根移栽方法[J]. 植物研究, 2014, **34** (3): 380-385 [Wang N, Dou K, Wang ZY, Zhang RS, Wang YC, Liu ZH. Rooting and transplanting method of *Populus davidiana* × *P. bolleana* tissue culture seedlings [J]. *Plant Res*, 2014, **34** (3): 380-385]

4 胡凤, 杨万年. 大豆组培苗水培生根与培养基生根比较研究[J]. 大豆科学, 2013, **32** (3): 333-335 [Hu F, Yang WN. Tap water can be used as medium for root induction and growth during tissue culture

of soybean [J]. *Soybean Sci*, 2013, **32** (3): 333-335]

5 Buah JN, Tachie-Menson JW. Suitability of bud manipulation technique as an alternative to tissue culture in the production of suckers for plantains and bananas [J]. *Biotechnology*, 2015, **14** (1): 41-46

6 Khoozani AA, Birch J, Bekhit AEDA. Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry [J]. *J Food Sci Technol*, 2019, **56** (2): 548-559

7 Waman AA, Bohra P, Sathyanarayana BN, Gourish RK, Ashok TH. Micropropagules can profitably save the choicest silk banana from extinction [J]. *PNAS*, 2014, **84** (3): 847-854

8 Lee TJ, Zobayed SMA, Firmani F, Park EJ. A novel automated transplanting system for plant tissue culture [J]. *Biosyst Eng*, 2019, **181**: 63-72

9 邝瑞彬, 魏岳荣, 邓贵明, 李春雨, 左存武, 胡春华, 易干军. 香蕉高效

- 组培快繁技术的研究[J]. 果树学报, 2016, **33** (10): 1315-1320 [Kuang RB, Wei YR, Deng GM, Li CY, Zuo CW, Hu CH, Yi GJ. Efficient micropropagation technology for banana seedling production [J]. *J Fruit Sci*, 2016, **33** (10): 1315-1320]
- 10 刘建平, 王芳, 杜彩娟, 韩秀香, 张珂恒, 何建齐, 王悦萍. 香蕉新品种东蕉1号的组织培养技术研究[J]. 现代农业科技, 2018 (4): 68-69+72 [Liu JP, Wang F, Du CX, Han XX, Zhang KH, He JQ, Wang YP. Study on tissue culture technology of new banana variety Dongjiao No.1 [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2018 (4): 68-69+72]
 - 11 李谦盛, 樊晓亮, 方俊, 邓敏. 牛耳朵组培苗驯化移栽基质配方试验[J]. 上海应用技术学院学报(自然科学版), 2016, **16** (2): 184-188 [Li QS, Fan XL, Fang J, Deng M. Experiment on the formula of growth media for *Chirita eburnean* tissue culture plantlet transplant [J]. *J Shanghai Inst Technol (Nat Sci Ed)*, 2016, **16** (2): 184-188]
 - 12 韦绍龙, 杨柳, 韦莉萍, 韦弟, 李朝生, 李小泉, 黄素梅, 覃柳燕, 田丹丹. 不同组培方法对香蕉组培苗假植阶段生理特征的影响[J]. 西南农业学报, 2016, **29** (6): 1285-1290 [Wei SL, Yang L, Wei LP, Wei D, Li CS, Li XQ, Huang SM, Qin LY, Tian DD. Effect of different tissue culture methods on physiological characteristics of banana plantlets at transplanting stage [J]. *Southwest Agric J*, 2016, **29** (6): 1285-1290]
 - 13 王甲水, 徐碧云, 金志强, 刘菊华, 贾彩红, 张建斌. 香蕉苗的水培方法和系统: CN102845287A [P]. 20130102 [Wang JS, Xu BY, Jin ZQ, Liu JH, Jia CH, Zhang JB. A hydroponic culture method and system for banana: CN102845287A [P]. 20130102]
 - 14 Badr-Elden, Nower A, Elezaby A. Minimal cost production of banana (*Musa* spp.) using modified MS medium *in vitro* and acclimatization in hydroponics system *ex vitro* [J]. *Biosci Res*, 2017, **14** (3): 548-557
 - 15 黄俊生, 刘磊, 梁昌聪, 杨腊英, 黄小娟. 一种水培香蕉组培苗的方法: CN102613053A [P]. 20120801 [Huang JS, Liu L, Liang CC, Yang LM, Huang XJ. A banana hydroponic culture method: CN102613053A [P]. 20120801]
 - 16 符少萍, 李瑞梅, 惠杜娟, 冀乙萌, 郭建春. 木薯试管苗炼苗移栽技术研究[J]. 广东农业科学, 2011, **38** (11): 39-40+47 [Fu SP, Li RM, Hui DJ, Ji YM, Guo JC. Study on transplanting techniques of tissue cultural shoots of cassava [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2011, **38** (11): 39-40+47]
 - 17 程春振, 马文昇, 刘炜嫫, 张梓浩, 齐全, 孙雪丽, 张永艳, 赖钟雄. 三明野生蕉和天宝蕉对 *Foc* TR4 侵染早期应答的差异[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, **46** (4): 397-401 [Cheng CZ, Ma WS, Liu WH, Zhang ZH, Qi Q, Sun XL, Zhang YY, Lai ZX. Comparisons of early responses of 'Tianbaojiao' banana and Sanming wild banana to *Foc* TR4 infection [J]. *J Fujian Agric For Univ (Nat Sci Ed)*, 2017, **46** (4): 397-401]
 - 18 Zhang X, Huang G, Bian X, Zhao Q. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere [J]. *Plant Soil Environ*, 2013, **59** (2): 80-88
 - 19 邱念伟, 王修顺, 杨发斌, 杨晓刚, 杨文, 刁润洁, 王秀, 崔静, 周峰. 叶绿素的快速提取与精密测定[J]. 植物学报, 2016, **51** (5): 667-678 [Qiu NW, Wang XS, Yang FB, Yang XG, Yang W, Diao RJ, Wang X, Cui J, Zhou F. Fast extraction and precise determination of chlorophyll [J]. *Plant J*, 2016, **51** (5): 667-678]
 - 20 Castañeda-Méndez O, Ogawa S, Medina A, Chavarriaga P, Selvaraj MG. A simple hydroponic hardening system and the effect of nitrogen source on the acclimation of *in vitro* cassava (*Manihot esculenta* Crantz) [J]. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*, 2017, **53** (2): 75-85
 - 21 郑姗, 张小艳, 张立杰, 谢丽雪, 李韬. 水培对蓝莓幼苗生长及光合性能的影响[J]. 福建农业学报, 2019, **34** (3): 306-312 [Zheng S, Zhang XY, Zhang LJ, Xie LX, Li D. Effects of hydroponic cultivation on growth and photosynthesis of blueberry seedlings [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2019, **34** (3): 306-312]
 - 22 刘世全, 曹红霞, 张建青, 胡笑涛. 不同水氮供应对小南瓜根系生长、产量和水氮利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2014, **47** (7): 1362-1371 [Liu SQ, Cao HX, Zhang JQ, Hu XT. Effects of different water and nitrogen supplies on root growth, yield and water and nitrogen use efficiency of small pumpkin [J]. *Chin Agric Sci*, 2014, **47** (7): 1362-1371]
 - 23 生利霞, 束怀瑞. 低氧胁迫对平邑甜茶根系活力及氮代谢相关酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2008, **25** (1): 7-12 [Sheng LX, Shu HR. Effects of hypoxia stress on root activity, respiratory rate and the activities of enzymes involved in nitrogen metabolism in roots of *Malus hupehensis* Rehd. [J]. *Acta Horti Sin*, 2008, **25** (1): 7-12]
 - 24 张晓勇, 唐道彬, 王季春, 蒋玉春, 敬夫, 卢会翔, 罗玉龙, 黄廷荣, 舒进康. 水培营养液离子浓度对脱毒马铃薯生长发育和光合性能的影响[J]. 西南农业学报, 2017, **30** (2): 345-353 [Zhang XY, Tang DB, Wang JC, Jiang YC, Jing F, Lu HX, Luo YL, Huang YR, Shu JR. Effect of different ionic concentration on plant growth and photosynthetic characteristics in virus-free potato by hydroponic system [J]. *Southwest Agric J*, 2017, **30** (2): 345-353]
 - 25 黄小娟, 杨腊英, 谢德嘯, 周端咏, 魏巍, 郭利佳, 黄俊生. 巴西香蕉苗静置水培营养液配方的初步筛选[J]. 热带农业科学, 2012, **32** (9): 49-52 [Huang XJ, Yang LM, Xie DX, Zhou DY, Wei W, Guo LJ, Huang JS. Screening of the nutrient solution formulas for static hydroponics of banana (*Musa* AAA cavendish subgroup 'Brazil') plantlets [J]. *Trop Agric Sci*, 2012, **32** (9): 49-52]
 - 26 王文琳, 周长芳, 周屿, 朱洪光, 沈文燕. 沼液对水培菠菜生长和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, **46** (12): 114-117 [Wang WL, Zhou CF, Zhou Y, Zhu HG, Shen WY. Effects of biogas slurry on growth and photosynthesis of hydroponic *Ipomoea aquatica* Fork. [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2008, **46** (12): 114-117]
 - 27 蔡文博, 段虹, 王军, 朱元娣. 4个鲜食葡萄品种组培快繁体系的建立[J]. 核农学报, 2019, **33** (2): 248-254 [Cai WB, Duan H, Wang J, Zhu YD. Establishment of *in vitro* rapid micropropagation of four table grape cultivars [J]. *J Nucl Agric*, 2019, **33** (2): 248-254]
 - 28 李福慧, 毛娟, 陈佰鸿, 米宝琴, 谢永东. 甜樱桃试管苗移栽过程中根系活力、叶片光合特性及超微结构的变化[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, **51** (1): 77-83 [Li FH, Mao J, Chen BH, Mi BQ, Xie YD. Changes in root vigor, photosynthetic properties and ultrastructures of *Prunus avium* tubule seedlings during

- transplantation [J]. *J Gansu Agric Univ*, 2016, **51** (1): 77-83]
- 29 洪森荣. 南城淮山脱毒苗移栽驯化期的光合生理[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, **36** (11): 4823-4828 [Hong SR. Photosynthetic physiology of virus-free plantlets of *Dioscorea opposita* thunb. cv. Nancheng during transplanting and domestication [J]. *Genomics Appl Biol*, 2017, **36** (11): 4823-4828]
- 30 李丹, 黄玉吉, 朱宁, 刘范, 田娜, 徐涵, 程春振, 赖钟雄. 三明野生蕉抗寒特性的形态学与生理生化研究[J]. 果树学报, 2019, **36** (1): 78-87 [Li D, Huang YJ, Zhu N, Liu F, Tian N, Xu H, Cheng CZ, Lai ZX. A study on the phenotypical, physiological and biochemical characteristics of the cold resistant Sanming wild banana (*Musa itinerans*) [J]. *J Fruit Sci*, 2019, **36** (1): 78-87]
- 31 柏祥, 温瑀, 魏国印, 古小治. 湿地水深梯度对芦竹 (*Arundo donax*) 生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2015, **21** (6): 1157-1161 [Bai X, Wen Y, Wei GY, Gu XZ. Effects of water depth gradient on growth and chlorophyll fluorescence characteristics of *Arundo donax* [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2015, **21** (6): 1157-1161]
- 32 李键, 刘奕, 吴承祯, 洪滔, 林勇明, 林晗, 陈灿, 洪伟. 木麻黄的两种植化感物质对其水培幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2013, **19** (5): 781-786 [Li J, Liu Y, Wu CZ, Hong T, Lin YM, Lin H, Chen C, Hong W. Effect of two allelochemicals of *Casuarina equisetifolia* L. on chlorophyll fluorescence parameters in hydroponically cultured seedling [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2013, **19** (5): 781-786]
- 33 徐德聪, 吕芳德, 栗彬, 袁维风, 钱玉梅. 不同品种美国山核桃叶绿素荧光特性的比较[J]. 果树学报, 2008, **25** (5): 671-676 [Xu DC, Lv FD, Li B, Yuan WF, Qian YM. Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics of different varieties of Pecan [J]. *J Fruit Sci*, 2008, **25** (5): 671-676]