



## 不同培育方式对橡胶树实生苗生理指标、养分及长势的影响

陈青, 周珺, 王新龙, 陈健, 王军

### 引用本文:

陈青,周,王新龙,陈健,王军. 不同培育方式对橡胶树实生苗生理指标、养分及长势的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(1): 118–124.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4757>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 榄仁树的生理和生物学特性

Physiological and Biological Characteristics of *Terminalia catappa*

热带亚热带植物学报. 2018, 26(1): 40–46 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3801>

#### 不同遮荫度对‘红叶,南天竹叶色变化及矿质营养积累的影响

Effect of Shading on Changes in Leaf Color and Nutrient Accumulation of *Nandina domestica* 'Hongye'

热带亚热带植物学报. 2017, 25(4): 339–347 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3700>

#### 盐胁迫对竹柳幼苗生理响应及结构解剖的研究

Effect of NaCl Stress on Physiological Responses and Anatomical Structure of *Salix* spp. Seedlings

热带亚热带植物学报. 2017, 25(5): 489–496 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3741>

#### PEG-6000模拟干旱胁迫对黄秋葵种子萌发和幼苗生理特性的影响

Effect of Drought Stress with PEG-6000 on Seed Germination and Physiological Properties in *Abelmoschus esculentus*

热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 611–616 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3907>

#### 巴西橡胶树栽培种质基因组C值测定和变异分析

Genome C Value and Variation Analysis of Cultivated Rubber Tree (*Hevea brasiliensis*) Germplasms by Flow Cytometry

热带亚热带植物学报. 2018, 26(5): 523–528 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3857>

向下翻页，浏览PDF全文

# 不同培育方式对橡胶树实生苗生理指标、养分及长势的影响

陈青, 周珺, 王新龙, 陈健, 王军\*

(中国热带农业科学院橡胶研究所, 海口 571101)

**摘要:** 橡胶树(*Hevea brasiliensis*)种子催芽生长一般使用沙床培育, 沙子是不可再生资源, 为了选择一种适合橡胶树种子培育方式来替代对沙子的依赖, 该研究通过水培、悬空培育和传统的沙培比较橡胶树实生苗第1蓬叶稳定时, 苗木的生长势、生理指标及养分含量。结果表明, 水培实生苗地上部株高、茎粗、叶面积的长势最佳, 壮苗指数和生物量的含量最高, 但其根太长, 根相对较细。水培的叶、茎、根的可溶性糖、丙二醛、游离脯氨酸、超氧化物歧化酶的含量均较低; 水培和悬空培育的叶片和茎的叶绿素、类胡萝卜素及根系活力的含量没有显著性差异, 均高于沙培。水培的叶、茎、根中的氮和磷含量最低, 沙培的最高; 而水培实生苗根和茎中钾的含量较高, 叶片中含量与悬空培育、沙培均没有显著性差异; 悬空培育在叶、茎、根中钾的含量最低。水培促进了苗木的生长, 降低干旱胁迫, 提高养分利用率, 但后续还需调控根系, 建设良好根团。悬空培育的苗木长势较弱, 还需进一步完善方法。

**关键词:** 橡胶树; 实生苗; 水培; 长势; 生理指标; 养分

doi: 10.11926/jtsb.4757

## Effects of Different Cultivation Methods on Nutrients, Physiological Indexes and Growth Vigor of *Hevea brasiliensis* Seedlings

CHEN Qing, ZHOU Jun, WANG Xinglong, CHEN Jian, WANG Jun\*

(Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Haikou 571101, China)

**Abstract:** *Hevea brasiliensis* seeds generally cultivated in sand bed. Sand is a non-renewable resource. In order to choose a suitable seed cultivation method to replace the dependence on sand, the growth vigor, physiological indexes and nutrient contents of *H. brasiliensis* seedlings were compared, when the first leaf was stable through hydroponic, airborne and sand cultures. The results showed that the above-ground height, stem diameter and leaf area of hydroponic seedlings had the best growth, and the strong seedling index and biomass were the highest, but the roots were too long and relatively thin. The contents of soluble sugar, malondialdehyde, free proline and superoxide dismutase activity were low in the leaves, stems and roots of hydroponic culture. There was no significant difference in the contents of chlorophyll, carotenoid in leaf and stem and root activity between hydroponic culture and airborne culture, which were all higher than sand culture. The contents of nitrogen and phosphorus in leaf, stem and root of hydroponic culture were the lowest, while those of sand culture were the highest. The content of potassium in roots and stems of hydroponic seedlings was higher, and the content of potassium in leaves was not significantly different from that in airborne culture and sand cultivation. The content of potassium in leaves, stems and roots of airborne culture was the lowest. Hydroponic culture can promote the

收稿日期: 2022-11-28 接受日期: 2023-02-09

基金项目: 海南省青年基金项目(321QN334); 现代农业产业技术体系项目(CARS-33-YZ4)资助

This work was supported by the Project for Young of Hainan (Grant No. 321QN334), and the Project for Modern Agricultural Industry Technology System (Grant No. CARS-33-YZ4).

作者简介: 陈青(1986年生), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为橡胶树种苗繁育技术。E-mail: chenqing2375@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangjuncatas@163.com

growth of seedlings, reduce drought stress and improve nutrient utilization, but it is necessary to regulate the root system and build a good root mass. The seedling growth in airborne culture is weak, so the method needs to be further perfected.

**Key words:** *Hevea brasiliensis*; Seedling; Hydroponic; Growth; Physiological index; Nutrient

橡胶树(*Hevea brasiliensis*)是大戟科(Euphorbiaceae)多年生的木本植物,广泛栽培于世界热带地区,是商业化栽培面积最大的产胶作物,生产上主要的种植材料为芽接树,其经济寿命约 30 年<sup>[1]</sup>。橡胶树是我国国防工业的重要战略物资,也是我省重要的经济作物<sup>[2]</sup>。农业农村部以云南、海南和广东为重点划定天然橡胶生产保护区面积为  $1.2 \times 10^6 \text{ hm}^2$ <sup>[3-4]</sup>,目前,我国橡胶产量达到  $8.0 \times 10^5 \text{ t}$  以上,已跻身于世界第四大产胶国<sup>[5]</sup>。

种子作为农业生产的关键材料,其生命体的活性、自身营养供应、保护结构的完整性,三者共同决定了种子的发芽、出苗和成苗能力<sup>[6]</sup>。橡胶树种子既是培育实生苗或有性系材料,也是培育橡胶芽接苗的不可缺少的材料之一。许多研究者从橡胶树种子水分胁迫、旱害响应、种子脱水敏感性等对种子的萌发性及实生苗长势的影响进行了多方面的研究。宫丽丹等<sup>[7]</sup>对 4 个品系橡胶树实生苗叶片及根系对水分胁迫的反应进行研究,结果表明种子对水分胁迫的抵御与适应能力为  $\text{GT1} > \text{PR107} > \text{RRIM600} > \text{PB86}$ ; 王纪坤等<sup>[8]</sup>对橡胶树 GT1 袋装实生苗旱害响应机制的研究表明,实生苗在干旱初期(1~3 d)表现出较强的抗旱调节能力,干旱 3~5 d 是补水关键期; 闫兴富等<sup>[9]</sup>通过对橡胶树种子对脱水的敏感性研究表明种子活力随着含水量的减少而下降。

沙子是不可再生资源,买沙难、成本高是困扰橡胶树育苗的一个难题。且土地资源越来越稀缺,面对人们对农作物日益需求的增长与土地资源紧缺之间的矛盾,亟需一种新型的育苗技术来满足人们的需求。无土栽培最初起源于一些发达国家,现已有 100 多个国家涉及到无土栽培技术的应用与发展<sup>[10]</sup>,我国于 20 世纪 70 年代开始研究水培技术,起步阶段是由山东农业大学开展关于作物营养液育苗的研究,推广到花卉的水培<sup>[11]</sup>。水培是无土栽培中的一种,通过营养液向植物根系输入养分、氧气以及水分的培育方法,在育苗期间可短期无需使用基质<sup>[12]</sup>,且水培的根系具有“可视化”,有利于观测根系动态。水培技术广泛应用于培育蔬菜和花卉的

整个生育期,目前蔬菜水培主要包括番茄(*Lycopersicon esculentum*)、黄瓜(*Cucumis sativus*)、生菜(*Lactuca sativa*)、小白菜(*Brassica campestris*)、辣椒(*Capsicum annuum*)等<sup>[13-16]</sup>; 观赏植物进行水培研究的有发财树(*Pachira macrocarpa*)、鹅掌柴(*Schefflera octophylla*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、茉莉(*Jasminum sambac*)、垂叶榕(*Ficus benjamina*)、常春藤(*Hedera nepalensis*)等<sup>[17-19]</sup>。虽然橡胶树苗木繁育技术在水培领域中尚无研究报道,但可以通过利用水培技术代替橡胶树苗木沙培假植阶段进行研究探讨。本研究通过水培浸水、悬空和传统的沙培比较橡胶树实生苗第 1 蓬叶稳定时,苗木的生长势、生理指标及养分含量。旨在选择一种适合橡胶树种子培育方式来替代对沙子的依赖,且缩短橡胶苗移栽缓苗期,提高苗木成活率、壮苗指数,减少育苗成本,进一步提升橡胶苗木出圃质量。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于中国热带农业科学院橡胶研究所栽培保护性基地 A 点苗圃内。供试材料为橡胶树‘热研 73397’种子。105 孔育苗盘上口口径 35 mm、底部 10 mm、外形 540 mm×280 mm、深度 40 mm,把底部剪断,以备根系往下生长。

采用同一批种子进行催芽,选取发芽良好的幼苗进行试验。试验设置 3 个处理:水培:以 105 孔的育苗盘固定种子,放置于装满水的盆上,进行供氧;悬空培育:以 105 孔的育苗盘固定种子,每个孔中放入纸巾达到保湿作用;沙培:种子在沙床上进行常规培育,作为本研究的对照。每个处理 3 个重复,每个重复 100 颗种子,待第 1 蓬叶稳定时,每个重复选 30 株长势均匀的实生苗测定生长势,其中每 10 株混合为 1 个样品,3 个重复,用于测定生理指标和养分。

### 1.2 方法

**生长指标测定** 选取物候期稳定的实生苗,利用卷尺测量株高和根长;数显游标卡尺测量茎粗

和根粗；叶面积仪测量叶片的大小；用万分之一天平称量根、茎、叶的干重；壮苗指数=(茎粗/株高+根干重/地上部干重)×全株干重。

**生理生化指标测定** 采用第 1 蓬叶稳定期的新鲜根、茎、叶。可溶性糖含量采用蒽酮比色法；MDA 含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法；Pro 含量采用酸性茚三酮染色法；SOD 活性采用氮蓝四唑法；叶绿素和类胡萝卜素含量用分光光度法；根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法<sup>[20]</sup>。

**氮、磷、钾含量测定** 采用第 1 蓬叶稳定期的根、茎、叶干样，用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮后进行养分测定，氮用靛酚蓝比色法测定，磷用钼锑抗比色法测定，钾用火焰光度计法测定<sup>[21]</sup>。

### 1.3 数据处理

试验数据采用 WPS Office 2013 和 DPS6.50 软件进行整理和统计分析，利用 Duncan's 新复极差法进行方差分析和显著性比较。采用隶属函数法进行综合评价。 $U_{(i)}=(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ ，式中， $i$  表示某项指标， $X_i$  为某项指标的测定值， $X_{\max}$  为某处理某项指标的最大值， $X_{\min}$  为某处理某项指标的最小值。

表 1 实生苗第 1 蓬叶的长势

Table 1 Growth vigor of first leaf whorl of seedlings

处理 Treatment	株高 (cm) Height	茎粗 (mm) Stem diameter	叶面积 (mm <sup>2</sup> ) Leaf area	根长 (cm) Root length	根粗 (mm) Root width	壮苗指数 Strong seedling index	根冠比 Root shoot ratio
水培 Hydroponic culture	32.35a	3.77a	43.95a	16.95a	3.76a	8.77a	0.35b
悬空培育 Airborne culture	22.56b	3.27b	23.25b	2.89c	3.85a	8.62a	0.41b
沙培 Sand culture	19.50c	3.69a	20.74b	6.30b	4.11a	4.47b	0.60a

同列数据后不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同

Data followed different letters indicate significant differences at 0.05 level. The same below

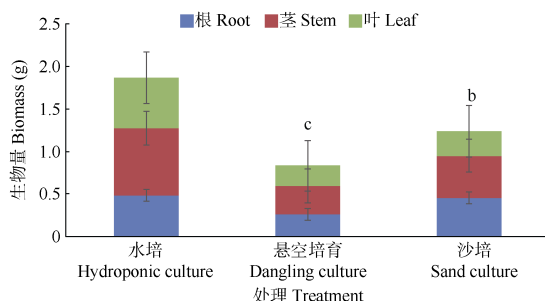


图 1 实生苗的生物量

Fig. 1 Biomass of seedlings

### 2.2 实生苗的生理指标

橡胶树实生苗第 1 蓬叶稳定时的生理指标见表

## 2 结果和分析

### 2.1 实生苗的长势

表 1 可见，水培处理的株高、叶面积、根长显著高于悬空培育和沙培，悬空培育的株高显著高于沙培，悬空培育和沙培的叶面积无显著性差异，沙培的根长显著长于悬空培育；水培和沙培的茎粗无显著性差异，均极显著大于悬空处理，水培和沙培的实生苗壮苗指数无显著性差异，均显著高于悬空培育的含量，水培、悬空培育和沙培的根粗无显著性差异，水培和悬空培育的根冠比显著小于沙培的。

从图 1 可见，水培的根、茎、叶生物量均高于沙培和悬空培育的，其中水培的叶片和茎生物量均显著大于沙培和悬空培育，水培和沙培的根生物量没有显著差异，均显著大于悬空培育的。水培处理的生物量显著大于沙培和悬空培育，悬空培育显著小于沙培。

水培实生苗生长到第 1 蓬叶稳定时，其株高、茎粗、叶面积、根长的长势最佳，壮苗指数和生物量最高，其次为沙培的实生苗，悬空培育的苗长势较差。

2，水培实生苗根、茎、叶的可溶性糖、MDA、Pro 含量最低，均显著低于沙培。茎的 SOD 活性显著低于沙培，叶和根的 SOD 活性与沙培无显著差异；在叶片中，悬空培育的可溶性糖和 Pro 含量与沙培没有显著差异，MDA 含量显著小于沙培，MDA 含量和 SOD 活性显著低于沙培；在茎中，悬空培育的可溶性糖和 Pro 含量显著高于沙培，MDA 含量显著低于沙培，SOD 活性与沙培无显著差异；在根中，悬空培育可溶性糖与沙培无显著差异，MDA、Pro 含量和 SOD 活性均高于沙培。

从图 2 可见，悬空培育的根系活力显著性大于沙培，水培与沙培间无显著差异。

表 2 实生苗叶片、茎、根的生理指标

Table 2 Physiological indices of leaves, stems and roots of seedlings

部位 Part	处理 Treatment	可溶性糖 (mg/g) Soluble sugar	丙二醛 ( $\mu\text{mol/L}$ ) Malonaldehyde	游离脯氨酸 (mg/g) Free proline	SOD (U/g)
根 Root	水培 Hydroponic culture	29.14 $\pm$ 2.15b	3.85 $\pm$ 0.29b	0.27 $\pm$ 0.11c	22.31 $\pm$ 2.10b
	悬空培育 Airborne culture	37.40 $\pm$ 0.92a	5.12 $\pm$ 0.21a	1.35 $\pm$ 0.14a	29.82 $\pm$ 1.64a
	沙培 Sand culture	39.17 $\pm$ 4.80a	4.21 $\pm$ 0.44ab	0.64 $\pm$ 0.01b	22.68 $\pm$ 0.81b
茎 Stem	水培 Hydroponic culture	29.38 $\pm$ 2.02c	18.18 $\pm$ 1.60b	0.24 $\pm$ 0.11c	15.75 $\pm$ 0.74b
	悬空培育 Airborne culture	45.78 $\pm$ 0.65a	19.35 $\pm$ 4.89b	1.13 $\pm$ 0.20a	20.15 $\pm$ 1.34a
	沙培 Sand culture	36.27 $\pm$ 2.63b	24.94 $\pm$ 2.29a	0.84 $\pm$ 0.08b	20.72 $\pm$ 0.74a
叶 Leaf	水培 Hydroponic culture	42.42 $\pm$ 0.51b	6.86 $\pm$ 0.26b	0.19 $\pm$ 0.04b	16.25 $\pm$ 1.37a
	悬空培育 Airborne culture	53.45 $\pm$ 0.55a	6.33 $\pm$ 0.29b	0.61 $\pm$ 0.21a	13.23 $\pm$ 1.34b
	沙培 Sand culture	52.78 $\pm$ 4.49a	12.05 $\pm$ 0.65a	0.68 $\pm$ 0.12a	17.15 $\pm$ 1.68a

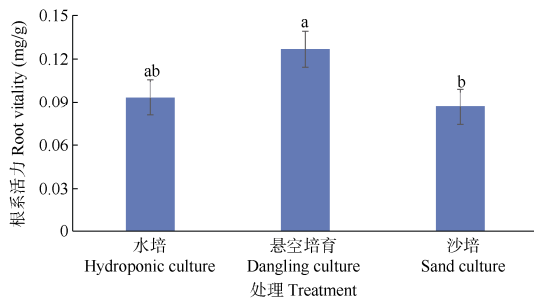


图 2 实生苗的根系活力

Fig. 2 Root vitality of seedlings

从图 3 可见, 叶片中的光合色素明显比茎中的含量高, 水培和悬空培育的光合色素含量均比沙培的含量高, 其中, 在叶片中, 水培的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素和类胡萝卜素均显著高于沙培和悬空培育, 沙培的含量最低; 在茎中, 悬空培育的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素和类胡萝卜素最高, 与水培无显著性差异, 但显著高于沙培。

水培实生苗的可溶性糖、MDA、Pro 的含量和 SOD 活性均较低, 水培和悬空培育的光合色素含量

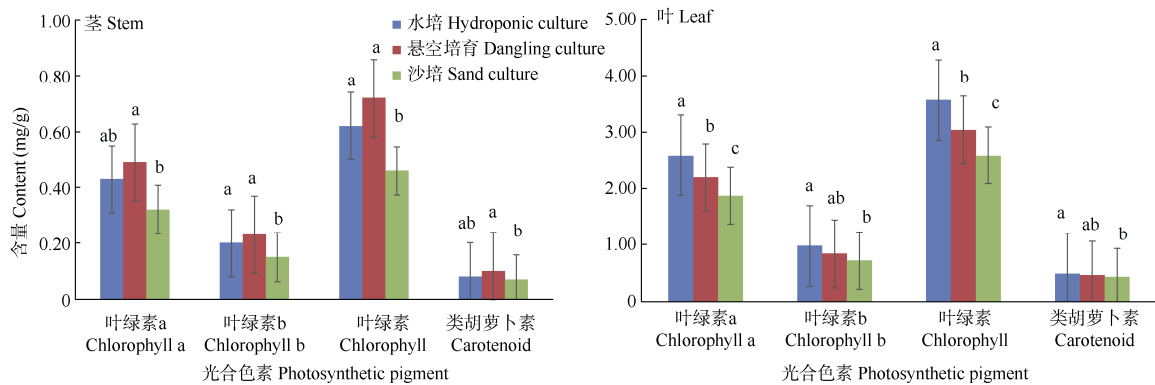


图 3 橡胶树实生苗叶片、茎的光合色素含量

Fig. 3 Contents of photosynthetic pigments in leaves and stems of seedlings

及根系活力均高于沙培。

### 2.3 不同处理实生苗的养分含量

对橡胶树实生苗的根、茎、叶的养分进行分析, 结果如图 4, 沙培的实生苗各部分氮含量最高, 其次为悬空培育, 水培的含量最低。叶片中沙培的氮含量显著高于水培, 与悬空培育没有显著性差异; 茎和根中, 沙培的氮含量均显著高于悬空培育和水培, 悬空培育氮含量均显著高于水培。叶片中

沙培和悬空培育的磷含量无显著性差异, 均显著高于水培; 茎中沙培的磷含量显著高于水培, 与悬空培育无显著性差异, 悬空培育与水培没有显著性差异; 根中水培、悬空培育、沙培的磷含量均无显著性差异。叶片中水培、悬空培育、沙培的钾含量无显著性差异; 茎中沙培和水培的钾含量无显著性差异, 均显著高于水培, 说明种子在水培条件下, 实生苗叶、茎、根氮和磷的含量最

低, 沙培的含量最高; 而水培处理的实生苗根和茎中钾的含量较高, 叶片中含量与悬空培育和沙

培均没有显著性差异, 悬空培育在叶、茎、根中钾的含量最低。

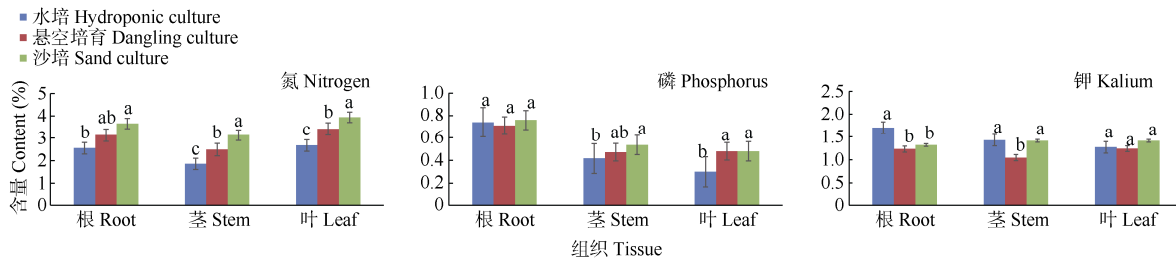


图 4 实生苗根、茎、叶的养分含量

Fig. 4 Contents of nutrient in leaves, stems and roots of seedlings

## 2.4 橡胶树实生苗的综合评价

通过橡胶树实生苗的长势、根系活力、光合色素、生理指标及养分含量进行隶属函数综合评价

价(表 3), 综合排序为水培>悬空培育>沙培。水培的平均值为 0.74, 悬空培育的平均值为 0.54, 沙培的平均值为 0.17。

表 3 实生苗的隶属函数值及综合评价结果

Table 3 Subordinate function value and comprehensive evaluation indexes of seedlings

处理 Treatment	隶属函数 Membership function										平均 Mean	排名 Rank
	长势 Growth vigor	根系活力 Root activity	光合色素 Photosynthetic pigment		生理指标 Physiological index			养分含量 Nutrient content				
			茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf		
水培 Hydroponic culture	0.75	0.17	0.56	1.00	1.00	1.00	0.78	0.49	0.67	0.94	0.74	1
悬空培育 Dangling culture	0.11	1.00	1.00	0.47	0.04	0.24	0.54	0.83	0.68	0.47	0.54	2
沙培 Sand culture	0.58	0.00	0.00	0.00	0.58	0.23	0.02	0.27	0.01	0.00	0.17	3

## 3 结论和讨论

橡胶树种子经过水培处理, 恢复生长较快, 抽芽时间比传统沙培早大约 5~7 d, 其地上部株高、茎粗、叶面积的长势最佳, 壮苗指数和生物量的含量最高。植物根系生长具有向水性, 水培的根系长度可达 16.95 cm。悬空培育的根系只有 2.89 cm, 且需要每天进行浇水保湿, 较费时费工, 若不及时浇水, 会导致苗木严重缺水状态, 进而影响苗木长势。有研究表明毛竹(*Phyllostachys edulis*)实生苗水培条件下, 磷浓度较低时, 可促进实生苗根系长度及根系总表面积的增长, 本研究中水培的橡胶树实生苗根系最长<sup>[22]</sup>。因此水培处理促进橡胶树实生苗生长, 是可以替代沙培的一种新型培育方式。悬空培育的实生苗长势较差, 后续需通过利用较深的育苗盘进行悬空培育, 选择保湿性强的材料, 调控根系达到理想的根团。

可溶性糖、Pro 为常见的渗透调节物质, 而 MDA 是植物细胞膜脂过氧化程度最直观的反应, 这些指

标可从渗透调节层面反映植物的生理状况<sup>[23]</sup>。Pro 增加的原因是合成受刺激、氧化受抑和蛋白质合成受阻<sup>[24]</sup>。随着盐、碱溶液浓度的增大, 植物在逆境胁迫中遭受的伤害就越大, 所以植物体内积累的 MDA 含量就越高<sup>[25]</sup>。本研究中, 种子经过水培处理, 根、茎及叶片中的可溶性糖、MDA、Pro 含量最低, 沙培和悬空培育的含量相对较高, 说明这两个处理均受到不同程度的胁迫作用, 导致体内的积累量增高。叶绿素是植物进行光合作用的物质基础, 其含量可以反映植物的光合能力与生长情况<sup>[26]</sup>, 植物在水分胁迫下增加叶绿素含量, 将增强其在逆境中的生存能力<sup>[27]</sup>。类胡萝卜素是植物体中重要的抗氧化物质, 在减轻和消除由于干旱等逆境引发的活性氧伤害方面直接发挥作用, 同时通过逆境激素 ABA 间接在植物抗旱中发挥作用<sup>[28]</sup>。白志英等<sup>[29]</sup>的研究表明, 在水分胁迫下, 小麦(*Triticum aestivum*)叶片类胡萝卜素含量明显下降。本研究中, 水培和悬空培育的光合色素含量较高, 说明水分充足增加了橡胶树实生苗的光合色素, 促进苗木生长。

氮、磷、钾是植物生长发育所必须的大量营养元素。Newton等<sup>[30]</sup>对夏栎(*Quercus robur*)和白桦(*Betula platyphylla*)的种子养分转移及与苗木生长的对应关系进行研究,认为种子内含氮、磷、钾元素在苗木生长初期均会发生转移,且不同养分元素转移速率不同,充分说明了苗木早期生长与种子养分供应密切相关。本研究中橡胶树实生苗生长至第1蓬叶稳定,吸收的养分全部来自种子,没有外源养分补给,且种子没有脱落,说明种子的养分足以让实生苗生长至第1蓬叶稳定,因此,本研究的橡胶实生苗的长势差异完全取决于不同培育方式。Milberg等<sup>[31]</sup>的研究表明,即使在土壤肥力条件截然不同的土壤中,大粒种子树种[如哈克木属(*Hakeas*)]的苗木生物量并没有显著差异,说明足够大的种子自身的养分对幼苗的长势大于外源养分的供给。本研究使用的橡胶树种子大小基本一致,水培的实生苗长势最佳,但其根、茎、叶的氮磷钾含量最低。

橡胶树种子经过水培,实生苗长势显著优于传统的沙培,悬空培育的实生苗长势最弱。水培促进了实生苗的株高、茎粗、叶面积的生长,及根系的伸长,苗木的生物量和壮苗指数均表现为最优;由于水分充足可降低苗木在生长过程中的干旱胁迫,实生苗茎、叶的光合色素含量较高;橡胶树种子在有限的养分中,水培方式有利于种子养分的转化和提高苗木的利用率,从而促进实生苗的生长。悬空培育保湿效果不佳,且主根较短,苗木长势较弱,还需进一步完善方法。因此,水培方式可以替代沙培进行橡胶树种子催芽生长,不仅可加快橡胶树实生苗的生长速度,有效缩短育苗时间,且在今后的育苗过程可减少对沙子的使用量,为培育环境友好型的橡胶苗木奠定基础。

## 参考文献

- [1] LIN W F. Dictionary of Rubber Tree Agriculture [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014. [林位夫. 橡胶树农学词典 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.]
- [2] ZENG X, HUANG H S. Development and prospects of natural rubber technology in China [J]. China Trop Agric, 2021(1): 25–30. [曾霞, 黄华孙. 我国天然橡胶技术发展现状与展望 [J]. 中国热带农业, 2021(1): 25–30. doi: 10.3969/j.issn.1673-0658.2021.01.005.]
- [3] LI D, ZHANG S W. Natural rubber industry development policy analysis: Borders and bonus [J]. Issues For Econom, 2020, 40(2): 208–215. [李达, 张绍文. 天然橡胶产业发展政策分析: 红线与红利 [J]. 林业经济问题, 2020, 40(2): 208–215. doi: 10.16832/j.cnki.1005-9709.2020.02.012.]
- [4] YAN W G, MAO Z Q, WANG X J, et al. Seeking for the transformation development way of natural rubber industry in Yunnan Province [J]. China Trop Agric, 2020(6): 21–28. [鄢文光, 毛昭庆, 王雪娇, 等. 云南省天然橡胶产业转型发展路径研究 [J]. 中国热带农业, 2020(6): 21–28. doi: 10.3969/j.issn.1673-0658.2020.06.003.]
- [5] HE C H, MO Y Y, LIU R J. Forecasting of natural rubber production capacity in China (2019—2025) [J]. Issues For Econom, 2020, 40(3): 320–327. [何长辉, 莫业勇, 刘锐金. 中国天然橡胶生产能力预测分析(2019—2025年) [J]. 林业经济问题, 2020, 40(3): 320–327. doi: 10.16832/j.cnki.1005-9709.20190222.]
- [6] YAN Q C. Seed Science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002. [颜启传. 种子学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.]
- [7] GONG L D, AN F, LIN W F. Responses of leaf and root characteristics of 4 *Hevea brasiliensis* clones seedlings to water stress [J]. Chin Agric Sci Bull, 2007, 23(11): 371–374. [宫丽丹, 安锋, 林位夫. 4个品系橡胶树实生苗叶片及根系对水分胁迫的反应 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(11): 371–374. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2007.11.079.]
- [8] WANG J K, WANG L F. Study on drought response mechanisms in bag seedlings of GT1 of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. [J]. SW China J Agric Sci, 2013, 26(6): 2271–2275. [王纪坤, 王立丰. 巴西橡胶树GT1袋装实生苗旱害响应机制研究 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(6): 2271–2275. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2013.06.083.]
- [9] YAN X F, CAO M. Sensitivity of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. seed to different desiccation [J]. Plant Physiol Comm, 2008, 44(2): 243–246. [闫兴富, 曹敏. 橡胶树种子对脱水的敏感性 [J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(2): 243–246. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2008.02.057.]
- [10] PU X X. Study on tomato organic soilless culture in Jiuquan [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005. [蒲兴秀. 番茄有机生态型无土栽培技术试验研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.]
- [11] YUAN M, LIN P, HE Y S, et al. Review of studies on flower water culture in China [J]. SW Hort, 2006, 34(3): 35–37. [袁梅, 林萍, 何银生, 等. 中国水培花卉研究现状及发展趋势 [J]. 西南园艺, 2006, 34(3): 35–37.]
- [12] GUO S R. Clean and Easy to Keep Soilless Flowers [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010. [郭世荣. 清洁易养无土花卉 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.]
- [13] WANG G Q, ZHANG T Z, WEI P, et al. Cultivation and management techniques of hydroponic tomato trees [J]. J Changjiang Veget, 2020(7): 30–32. [王国强, 张天柱, 魏平, 等. 水培番茄树栽培管理技术 [J]. 长江蔬菜, 2020(7): 30–32.]
- [14] LI W, LI X X, LEI X H, et al. Study on the suitable planting density of

- hydroponic lettuce in different seasons [J]. *Vegetable*, 2020(10): 57–61. [李蔚, 李新旭, 雷喜红, 等. 不同季节水培生菜适宜定植密度的研究 [J]. *蔬菜*, 2020(10): 57–61.]
- [15] SHI X F, XIANG P Y, ZHANG X J, et al. Effect of different light quality on yield and quality of pakchoi in hydroponic [J]. *Agric Engin Technol (Integr)*, 2020, 40(32): 23–24. [史学芬, 项鹏宇, 张小军, 等. 不同光质对水培小白菜产量及品质的影响 [J]. *农业工程技术(综合版)*, 2020, 40(32): 23–24. doi: 10.16815/j.cnki.11-5436/s.2020.32.012.]
- [16] YAN X H, ZENG J J, ZHANG C L, et al. Effects of different nutrient solutions on seed germination and seedling growth of pepper [J]. *Gui-zhou Agric Sci*, 2019, 47(5): 86–89. [闫小红, 曾建军, 张春丽, 等. 不同配方营养液对辣椒种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. *贵州农业科学*, 2019, 47(5): 86–89. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2019.05.018.]
- [17] ZHANG M J, YUAN B J, YANG J D, et al. Effect of different growth regulators on the root growth of *Pachira macrocarpa* under water culture [J]. *Chin J Trop Agric*, 2018, 38(1): 39–42. [张孟锦, 袁必局, 羊金殿, 等. 不同激素对水培发财树根系生长的影响 [J]. *热带农业科学*, 2018, 38(1): 39–42. doi: 10.12008/j.issn.1009-2196.2018.01.008.]
- [18] TANG Y. The effects of hydroponic on morphological structure and physiological index of several ornamental plants [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2006. [唐瑜. 水培对几种观赏植物形态结构和生理指标的影响 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.]
- [19] ZHU Y Q, TONG Z K, HUANG H H, et al. Experiment on hydroponic rooting of *Photinia rubra* by hard technology [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, 25(2): 13–16. [朱玉球, 童再康, 黄华宏, 等. 红叶石楠硬技术水培生根试验 [J]. *浙江林学院学报*, 2004, 25(2): 13–16.]
- [20] LI H S. Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiments [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2006. [李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.]
- [21] BAO S D. Agrochemical Analysis of Soil [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000. [鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.]
- [22] CHEN Y W, GAO J, ZHANG Y, et al. Effects of different phosphorus concentration on growth and development of moso bamboo [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2013, 21(1): 78–84. [陈媛文, 高健, 张颖, 等. 水培条件下不同磷水平对毛竹实生苗生长发育的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2013, 21(1): 78–84. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.01.012.]
- [23] ZHAO Z H, SONG Q, LI L, et al. Difference in photosynthesis and physiological response of male and female *Populus deltoides* × *nigra* to Cd stress [J]. *J For Environ*, 2019, 39(2): 201–207. [赵子豪, 宋琦, 李利, 等. 南方四季杨雌雄幼苗对镉胁迫光合生理响应的差异 [J]. *森林与环境报*, 2019, 39(2): 201–207. doi: 10.13324/j.cnki.jjfcf.2019.02.013.]
- [24] DU L, WU N, DONG W P, et al. Study the effects of the ear-to-row method on the quality of maize [J]. *Seed*, 2016, 35(11): 76–78. [杜凌, 吴楠, 董万鹏, 等. 高温胁迫对淡黄花百合幼苗生理指标的影响 [J]. *种子*, 2016, 35(11): 76–78. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2016.11.076.]
- [25] MEI X D, ZHANG F P, DAI T. Effects of different stresses on seed germination physiology of *Limonium gmelinii* in Xinjiang [J]. *Seed*, 2022, 41(1): 56–65. [梅新娣, 张凤萍, 代婷. 不同胁迫对新疆大叶补血草种子萌发的影响 [J]. *种子*, 2022, 41(1): 56–65. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2022.01.056.]
- [26] YANG L, HE Z J, ZHAO W J, et al. Effect of different cultivation conditions on chlorophyll content of *Rhodiola* plants [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2016, 44(32): 133–136. [杨柳, 何正军, 赵文吉, 等. 不同栽培条件对红景天叶绿素含量的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(32): 133–136. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2016.32.046.]
- [27] WANG X J, HE W, YANG S H, et al. Changes of chlorophyll content in four kinds of *Catalpa bungei* grafting seedlings under drought stress [J]. *Nonwood For Res*, 2008, 26(1): 20–24. [王新建, 何威, 杨淑红, 等. 干旱胁迫下 4 种楸树嫁接苗叶绿素含量的变化 [J]. *经济林研究*, 2008, 26(1): 20–24. doi: 10.3969/j.issn.1003-z8981.2008.01.004.]
- [28] YANG X Z, YANG L, QIN Y, et al. Effects of PEG-8000 Stres on contents of chlorophyll and carotenoid of potato plantlets *in vitro* [J]. *Chin Potato J*, 2019, 33(4): 193–202. [杨喜珍, 杨利, 覃亚, 等. PEG-8000 模拟干旱胁迫对马铃薯组培苗叶绿素和类胡萝卜素含量的影响 [J]. *中国马铃薯*, 2019, 33(4): 193–202. doi: 10.3969/j.issn.1672-3635.2019.04.001.]
- [29] BAI Z Y, LI C D, SUN H C, et al. The effect and chromosomal control on chlorophyll content and corticoid content under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Acta Agric Boreali Sin*, 2009, 24(1): 1–6. [白志英, 李存东, 孙红春, 等. 干旱胁迫对小麦叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响及染色体调控 [J]. *华北农学报*, 2009, 24(1): 1–6.]
- [30] NEWTON A C, PIGOTT C D. Mineral nutrition and mycorrhizal infection of seedling oak and birch: I. Nutrient uptake and the development of mycorrhizal infection during seedling establishment [J]. *New Phytol*, 1991, 117(1): 37–44. doi: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00942.x.
- [31] MILBERG P, LAMONT B B. Seed/cotyledon size and nutrient content play a major role in early performance of species on nutrient-poor soils [J]. *New Phytol*, 1997, 137(4): 665–672. doi: 10.1046/j.1469-8137.1997.00870.x.