

橡胶树体胚苗质量调查与分析

彭素娜, 徐正伟, 华玉伟, 顾晓川, 成 镜, 黄华孙, 黄天带*

中国热带农业科学院橡胶研究所/海口市热带植物种苗创新重点实验室, 海南海口 571101

摘 要: 天然橡胶是我国重要的战略物资和工业原料, 主要来源于橡胶树。橡胶树生长周期长, 其苗木质量直接影响天然橡胶产业的发展, 橡胶树体胚苗在前期研究中表现一致性好, 且具有速生、高产的优势。海南省天然橡胶新型种植材料创新基地是当前规模生产的橡胶树体胚苗的基地, 现生产品种有热研 73397 和热研 917。本研究分析比较了热研 73397 体胚试管苗在 2018—2020 年间的株高、茎粗、叶片数、主根长等指标的差异性, 比较了 2020 年 2 个品种各指标的差异性, 并对不同年份不同品种进行分级比较, 以期阐明橡胶树体胚苗规模生产的情况。结果表明: (1) 2018—2020 年, 热研 73397 的株高、茎粗、叶片数、主根长度在各区间的比例相当; 株高、叶片数、主根长度在 3 a 间的差异不显著; 茎粗在 2018 和 2019 年之间差异显著, 且 3 a 均值均在 2.00 mm 以上, 最大值和最小值的差值仅为 0.09 mm。(2) 2020 年, 热研 73397 和热研 917 体胚苗的株高一致, 均值均为 8.0 cm, 且大部分集中在 5.0~10.0 cm, 分别占 66.13%、66.91%; 热研 73397 和热研 917 的茎粗范围分别为 0.80~4.23 mm、1.13~3.73 mm, 均值分别为 2.11 mm 和 2.18 mm, 2 个品种的茎粗在 1.50~3.00 mm 之间高度集中, 分别占 85.94%、83.82%; 热研 73397 和热研 917 叶片数范围分别为 0~6 片和 1~4 片, 2 个品种叶片数绝大多数为 1~3 片, 分别占 88.82%、96.32%, 其中热研 917 叶片数为 2 片的占比高达 52.94%; 热研 73397 的主根长度均值为 9.5 cm, 而热研 917 的为 9.1 cm, 2 个品种的主根长度多数集中在 8.0~12.0 cm 之间, 分别占 74.12%、79.41%; 方差分析结果表明, 2020 年 2 个品种的株高、茎粗、叶片数差异不显著, 主根长度差异显著 ($P<0.05$)。(3) 2018—2020 年调查的橡胶树体胚苗中, 不同年份不同品种的橡胶树体胚苗, 一级苗比例为 19%~22%, 二级苗比例为 56%~62%。据此, 规模化生产橡胶树体胚试管苗质量稳定, 为橡胶树体胚苗生产工艺的推广应用提供参考。

关键词: 橡胶树; 体胚苗; 质量指标; 种苗质量

中图分类号: S794.1 文献标志码: A

Quality Investigation and Analysis of Rubber Tree (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) Somatic Embryo Plantlet

PENG Suna, XU Zhengwei, 华玉伟, GU Xiaochuan, CHENG Jing, HUANG Huasun, HUANG Tiandai*

Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Haikou Key Laboratory of Innovation of Seedlings of Tropical Plants, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: Natural rubber is an important strategic material and industrial raw material in China, which mainly originates from rubber tree. The growth cycle of rubber tree is long, and the quality of rubber seedling directly affects the development of rubber industry. The somatic embryo plantlet of rubber tree shows good consistency in the previous studies, and has the advantages of rapid growth and high yield. Hainan Innovation Base for production of Natural Rubber New Planting Material is the base of the current large-scale production of rubber tree somatic embryo plantlets of Reyan 73397 and Reyan 917. In this paper, in order to clarify the large-scale production of the somatic embryo plantlets of

收稿日期 2022-09-16; 修回日期 2023-06-05

基金项目 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2022XDNY204, No. ZDYF2021XDNY122); 国家天然橡胶产业技术体系专项 (No. CARS33)。

作者简介 彭素娜 (1984—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 植物组织培养与遗传转化。*通信作者 (Corresponding author): 黄天带 (HUANG Tiandai), E-mail: zhuanjiyinyuzhong@163.com。

rubber tree, the plant height, stem diameter, leaves number and taproot length of Reyan 73397 somatic embryo plantlets from 2018 to 2020 were studied, the differences in each index of the two varieties in 2020 were, compared, and the classification of different varieties in different years were done. The proportions of plant height, stem diameter, leaf number and taproot length of Reyan 73397 were similar in each region from 2018 to 2020. There were no significant differences in plant height, leaf number and taproot length in three years. There were significant differences in stem diameter between 2018 and 2019, and the mean value of the three years was above 2.00 mm, and the difference between the maximum and minimum value was only 0.09 mm. The plant height of Reyan 73397 and Reyan 917 was the same, and the mean value of plant height of both varieties was 8.0 cm. The plant height of the two varieties was mainly 5.0–10.0 cm, accounting for 66.13% and 66.91%, respectively. The stem diameter range of Reyan 73397 and Reyan 917 was 0.80–4.23 mm and 1.13–3.73 mm, respectively. The mean value of the two varieties was 2.11 mm and 2.18 mm, respectively. The stem diameter of the two varieties was highly concentrated between 1.50–3.00 mm, 85.94% and 83.82%, respectively. The leaf number of Reyan 73397 and Reyan 917 was ranged from 0 to 6 and 1 to 4, respectively. The number of leaves of the two varieties was mostly 1 to 3, accounting for 88.82% and 96.32%, respectively. The rate of 2 leaves in Reyan 917 was as high as 52.94%. The average taproot length of Reyan 73397 was 9.5 cm, while that of Reyan 917 was 9.1 cm. The taproot length of both varieties concentrated in the range of 8.0–12.0 cm, accounting for 74.12% and 79.41%, respectively. There were no significant differences in plant height, stem diameter and leaves number between the two varieties in 2020, while there was significant differences in taproot length ($P<0.05$). The proportion of first-grade plantlets and second-grade plantlets of different varieties in different years (2018–2020) was 19%–22% and 56%–62%. It is concluded that the mass production of rubber tree somatic embryo plantlet is stable, which could provide reference for the popularization of the production technology of rubber tree somatic embryo plantlet.

Keywords: rubber tree; somatic embryo plantlet; quality index; plantlet quality

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.06.013

天然橡胶是我国重要战略物资和工业原料,橡胶树是天然橡胶的主要来源。橡胶树生长周期长达 70 a,苗木质量对天然橡胶产业的发展具有深远的影响。2022 年中央一号文件中明确提出“开展天然橡胶老旧胶园更新改造试点”,种苗需求增加,优质种苗的培育显得尤为重要。早在 20 世纪 70 年代,我国就开展了橡胶树花药诱导再生植株^[1]技术研究,华玉伟等^[2-3]在橡胶树花药诱导获得胚性愈伤后,进一步诱导体胚发生,再以体胚为起始材料诱导胚性愈伤、诱导次级体胚发生,实现体胚的循环增殖从而规模化生产。通过体细胞胚发生技术培育的橡胶树体胚苗(通常称为自根幼态无性系、组培苗),是目前可进行大规模繁育的组培苗类型之一,具有速生、高产和高抗的优势,法国 CIRAD 对 IRCA18、PR260、BPM24 等体胚苗分别在尼日利亚、泰国和科特迪瓦等国家进行试种,结果均较芽接苗增产 20%~40%^[4],我国试验数据显示,体胚苗较芽接苗增产 10%~50%,生长速度快 10%~20%^[5]。橡胶树次生体胚循环增殖并再生的植株稳定性良好^[6],是继实生树、芽接树之后的新一代种苗,是橡胶树种苗发展的方向^[3]。

海南天然橡胶新型种植材料创新基地,是当前唯一能够规模化生产橡胶树体胚苗的生产基

地,随着天然橡胶产业的发展,有必要将橡胶树体胚苗生产技术推广至我国主要植胶区进行种苗生产。本研究对橡胶树体胚苗生产基地进行调查,测量、统计了体胚苗的株高、茎粗、叶片数、主根长度。对测量、统计的数据进行分析,为橡胶树体胚苗生产工艺的推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

调查材料为海南天然橡胶新型种植材料创新基地生产,是经过次生体胚发生途径,植株再生培养 2 个月左右,挑选出厂即将炼苗的试管体胚苗。调查品种为中国热带农业科学院橡胶研究所选育的早熟高产品种热研 73397、热研 917。

1.2 方法

于 2018—2020 年连续 3 a 的 6~11 月期间,对热研 73397 组培苗进行抽样调查,2020 年 6—11 月期间对热研 917 组培苗进行抽样调查。调查指标为:(1)株高:用直尺(精度为 0.1 cm)测量顶芽至根颈的距离;(2)茎粗:用游标卡尺(精度为 0.01 mm)测量根颈上方 2.0 cm 处的最大直径;(3)叶片数:计数统计植株的复叶数;(4)主根长度:用直尺(精度为 0.1 cm)测量根颈到

主根根尖的距离。

1.3 数据处理

采用 Excel 和 DPS 软件对测量数据进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 调查品种与数量

热研 73397 和热研 917 的父母本同为 RRIM600×PR107，2 个品种表现均是速生高产，是目前实现规模化繁育的橡胶树体胚苗品种，其中，热研 73397 从 2014 年开始规模生产，热研 917 从 2020 年开始规模生产。表 1 中所示为 2018—2020 年抽样调查体胚苗的品种和数量。

表 1 橡胶树体胚苗调查品种和数量
Tab. 1 Survey varieties and quantity of rubber tree somatic embryo plantlet

品种 Variety	年份 Year	调查株数 Plantlet number
热研 73397	2018	351
	2019	363
	2020	313
热研 917	2020	136

2.2 体胚苗的各质量指标比较分析

2.2.1 株高 热研 73397 的株高范围为 1.8~18.4 cm，其中株高最小值和最大值出现在 2018 年，2019 年的株高范围为 2.2~16.5 cm，2020 年的株高范围为 2.1~17.6 cm。如表 2 所示，2018 年和 2019 年的株高分布较一致，株高≤5.0~9.0 cm 占多数，该范围内的各区间比例均在 10.00%以上；而 2020 年株高 5.0~11.0 cm 占多数，该范围内除 8.0~9.0 cm 外，其余各区间比例均在 10.00%以上；2018 年株高≥13.0 cm 占比 9.12%，是 2020 年同区间的 2.04 倍。

热研 917 的株高范围为 2.5~15.5 cm。如表 2 所示，株高 5.0~10.0 cm 占多数，为 66.90%。该品种株高在 5.0~11.0 cm 范围内的各区间比例均在 10.00%以上，尤其以≤7.0~8.0 cm 区间内的比例最大，为 17.65%。株高≥10.0~13.0 cm 占比 22.80%，株高≥13.0 cm 占比 2.94%。

比较 2020 年热研 73397 和热研 917 的株高，在各区间内的比例相当。

2.2.2 茎粗 由表 3 可知，热研 73397 的茎粗范围为 0.80~4.23 mm，其中茎粗最小值和最大值均

出现在 2019 年，2018 年的茎粗范围为 0.88~3.90 mm，2020 年的茎粗范围为 0.96~3.87 mm。2018 年的茎粗主要集中在≤1.00~3.00 mm 范围内，各区间占比均超过 15.00%，其中仅≤1.50~2.0 mm 的占比超过 30.00%；2019 年和 2020 年的茎粗在各区间的比例相当，主要集中在≤1.50~3.00 mm 范围内，各区间占比均超过 17.00%，其中≤1.50~2.00 mm、≤2.00~2.50 mm 的占比均超过 30.00%；热研 917 的茎粗范围为 1.13~3.73 mm，83.82%的植株茎粗集中在 1.50~3.00 mm 范围内，各区间占比均超过 17.00%，其中≤1.50~2.00 mm、≤2.00~2.50 mm 的占比均超过 30.00%。

表 2 体胚苗不同株高比例分布
Tab. 2 Proportion distribution of the different plant height of somatic embryo plantlet %

株高 Plantlet height/cm	热研 73397 Reyan 73397			热研 917 Reyan 917
	2018	2019	2020	2020
<4.0	5.98	5.79	6.07	5.88
≤4.0~5.0	6.84	3.86	4.15	4.41
≤5.0~6.0	11.11	10.47	15.02	13.97
≤6.0~7.0	13.68	16.25	16.93	11.76
≤7.0~8.0	15.95	14.05	13.74	17.65
≤8.0~9.0	12.82	16.25	8.31	11.76
≤9.0~10.0	8.26	9.37	12.14	11.76
≤10.0~11.0	4.27	6.89	11.18	9.56
≤11.0~12.0	5.70	6.06	6.07	6.62
≤12.0~13.0	6.27	2.75	1.92	3.68
≥13.0	9.12	8.26	4.47	2.94
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

比较 2020 年的热研 73397 和热研 917 的茎粗，前者仅有 0.32%的植株茎粗小于 1.00 mm，后者的茎粗均大于 1.00 mm，二者的最大值均未超过 4.00 mm，且在各区间内的比例相当。

2.2.3 叶片数 由表 4 可知，2018 年，热研 73397 体胚苗将近 55%的植株叶片数为 2 片，而 2019 年叶片数为 2 的植株比例未达到 50%，2020 年的未达到 40%。但当叶片数为 3~5 片时，后 2 a 的比例均比 2018 年的高，尤其当叶片为 4 时，2020 年是 2018 年的 3.6 倍。2018—2020 年，叶片数为 1~3 片的植株占比分别为 96.87%、88.98%、88.82%。热研 917 超过 50%的植株叶片数为 2 片，叶片数为 1~3 片的植株占比为 96.32%。

表 3 体胚苗的不同茎粗比例分布

Tab. 3 Proportion distribution of the different stem diameter of somatic embryo plantlet %

茎粗 Stem di- ameter/mm	热研 73397 Reyan 73397			热研 917 Reyan 917
	2018	2019	2020	2020
< 1.00	0.57	0.55	0.32	0.00
≤1.00~1.50	15.67	9.37	9.27	8.09
≤1.50~2.00	34.19	33.06	34.50	33.09
≤2.00~2.50	27.92	30.85	33.55	32.35
≤2.50~3.00	16.24	19.28	17.89	18.38
≤3.00~4.00	5.41	6.61	4.47	8.09
≥4.00	0.00	0.28	0.00	0.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

比较 2020 年 2 个品种的叶片数, 热研 73397 叶片数范围为 0~6 片, 热研 917 的叶片数范围为 1~4 片, 后者的叶片数范围较小。2 个品种的叶片数均集中在 1~3 片, 分别占 88.82%和 96.32%。2 个品种均以 2 片叶比例最多, 但热研 73397 的比例为 38.02%, 热研 917 超过 50%。然而, 叶片数≥3 片时, 热研 73397 的占比较热研 917 的大。

表 4 体胚苗不同叶片数比例分布

Tab. 4 Proportion distribution of the different leaf number of somatic embryo plantlet %

叶片数 Leaf number	热研 73397 Reyan 73397			热研 917 Reyan 917
	2018	2019	2020	2020
0	0.00	0.00	0.32	0.00
1	26.50	23.69	27.48	15.44
2	54.70	43.25	38.02	52.94
3	15.67	22.04	23.32	27.94
4	2.56	7.71	9.27	3.68
5	0.28	3.03	1.28	0.00
6	0.28	0.28	0.32	0.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

2.2.4 主根长度 如表 5 所示, 热研 73397 的主根长度高度集中于≤8.0~12.0 cm 之间, 2018—2020 年的占比分别为 74.07%、77.96%、74.44%。其中, 2018 年以≤9.0~10.0 cm 的比例最高 (27.64%), 2019 年和 2020 年以≤10.0~11.0 cm 的比例最高, 分别为 24.52%、22.68%。另外, 2018 年仅≤8.0~9.0 cm、≤9.0~10.0 cm、≤10.0~11.0 cm 三个区间的占比达到 10%以上, 2019 年和 2020 年除了以上 3 个区间, 还有≤11.0~12.0 cm 区间也达到 10%以上, 且在该区间内, 2019 年的占比

达到 21.49%。

热研 917 的主根长度高度集中于≤8.0~12.0 cm 之间, 占 80.15%。该品种在≤8.0~9.0 cm、≤9.0~10.0 cm、≤10.0~11.0 cm 三个区间占比超过 10%, 且≤9.0~10.0 cm 区间占 33.82%、≤10.0~11.0 cm 区间占 20.59%。

以 2020 年比较 2 个品种的主根长度, 二者均是高度集中于≤8.0~12.0 cm 之间, 当主根长度≥11.0 cm 时, 热研 73397 比热研 917 的大。

表 5 体胚苗不同主根长度比例分布

Tab. 5 Proportion distribution of the different taproot length of somatic embryo plantlet %

主根长度 Taproot length/cm	热研 73397 Reyan 73397			热研 917 Reyan 917
	2018	2019	2020	2020
< 5.0	3.99	3.58	5.11	5.88
≤5.0~6.0	2.85	2.48	2.56	0.74
≤6.0~7.0	4.56	4.41	2.88	3.68
≤7.0~8.0	5.13	4.41	8.63	8.09
≤8.0~9.0	13.96	10.47	14.38	15.44
≤9.0~10.0	27.64	20.66	21.09	33.82
≤10.0~11.0	21.94	24.52	22.68	20.59
≤11.0~12.0	9.97	21.49	15.97	9.56
≤12.0~13.0	5.70	3.31	3.19	1.47
≥13.0	4.27	4.68	3.51	0.74
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

2.3 橡胶树体胚苗质量稳定性分析

2018—2020 年热研 73397 体胚苗各指标分析如表 6 所示, 热研 73397 的平均株高在 2018 年时最高, 为 8.3 cm, 2019 年株高为 8.2 cm, 2020 年的株高仅为 8.0 cm, 连续 3 a 调查的株高均值为 8.2 cm。茎粗在 2018 年最小, 为 2.05 mm, 之后 2 a 分别为 2.14 mm 和 2.11 mm, 连续 3 a 的茎粗均值为 2.10 mm。热研 73397 在 3 a 间的叶片数均为 2 片。热研 73397 的平均主根长度在 2018 年时为 9.5 cm, 2019 年时最长, 为 9.8 cm, 2020 与 2018 年一样, 也为 9.5 cm, 连续 3 a 调查的主根长度均值为 9.6 cm。

方差分析结果表明, 在 2018—2020 年间, 热研 73397 的株高、叶片数、主根长度均无显著差异, 茎粗在 2018 年和 2019 年之间差异显著 ($P<0.05$), 3 a 的均值均在 2.00 mm 以上, 最大值和最小值的差值仅为 0.09 mm。

表 6 2018—2020 年热研 73397 体胚苗各指标分析
Tab. 6 Average value of each index of Reyan 73397 somatic embryo plantlet in 2018—2020

年份 Year	株高 Plantlet height/cm	茎粗 Stem di- ameter/mm	叶片数 Leaf number	主根长度 Taproot length/cm
2018	8.3±3.29 ^a	2.05±0.53 ^b	2±0.77 ^a	9.5±2.35 ^a
2019	8.2±2.84 ^a	2.14±0.54 ^a	2±1.01 ^a	9.8±2.29 ^a
2020	8.0±2.76 ^a	2.11±0.49 ^{ab}	2±1.01 ^a	9.5±2.26 ^a
均值	8.2±2.98	2.10±0.52	2±0.94	9.6±2.31

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$).

2.4 2 个品种体胚苗各指标的差异分析

比较 2020 年热研 73397 和热研 917 体胚苗各指标 (表 7) 可见, 2 个品种的株高和叶片数均值相同, 分别为 8.0 cm 和 2 片。方差分析结果表明, 2 个品种的株高、茎粗、叶片数差异不显著, 而主根长度差异显著 ($P<0.05$), 热研 73397 的主根长度大于热研 917。进一步分析发现, 2 个品种间主根长度虽存在显著差异, 但均值均在 9.0 cm 以上, 二者差值为 0.4 cm。

表 7 2020 年 2 个品种体胚苗各指标分析
Tab. 7 Average value of each index of two cultivars somatic embryo plantlet in 2020

品种 Cultivar	株高 Plantlet high/cm	茎粗 Stem di- ameter/mm	叶片数 Leaf number	主根长度 Taproot length/cm
热研 73397	8.0±2.76 ^a	2.11±0.49 ^a	2±1.01 ^a	9.5±2.26 ^a
热研 917	8.0±2.60 ^a	2.18±0.56 ^a	2±0.74 ^a	9.1±2.05 ^b

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$).

2.5 橡胶树体胚苗质量分级比例

按照海南省地方标准《橡胶树 组培苗》(BD/T 535—2021)^[7]进行分级, 2018—2020 年调查的橡胶树体胚苗中, 不同年份不同品种的橡胶树体胚苗, 一级苗比例为 19%~22%, 二级苗比例为 56%~62%。总体上, 一级苗占调查总株数的 20.70%, 二级苗占调查总株数的 58.80%, 合格苗 (一级苗与二级苗总和) 在 78%~82% 之间, 其中合格率以 2019 年热研 73397 最高, 为 81.59% (表 8)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 橡胶树体胚苗的发展前景 橡胶树体胚苗

表 8 橡胶树体胚苗质量分级比例
Tab. 8 Quality classification of hevea brasiliensis somatic embryo plantlet

年份 Year	品种 Cultivar	质量等级 Quality great		合格率 Qualification rate/%
		一级 Great I/%	二级 Great II/%	
2018	热研 73397	21.37	57.83	79.20
2019	热研 73397	19.78	61.81	81.59
2020	热研 73397	21.79	56.73	78.52
	热研 917	19.85	58.82	78.67
平均		20.70	58.80	79.50

经过植株再生形成具有自主根系的幼态无性系, 在前期试种中表现出整齐度高、速生、高产^[4]的特性, 其生产技术入选 2021 中国农业农村重大新技术新产品新装备 10 项重大新技术, 同时入选 10 年来我国农业科技的 30 个标志性成就, 居世界领先地位。橡胶树体胚苗已逐渐成为天然橡胶新型种植材料^[5], 近年来在海南、广东、云南等植胶区推广面积达 1333 hm²。

橡胶树为高大乔木, 其遗传背景复杂, 大大增加组织培养难度。我国对橡胶树多品种的组织培养进行了大量研究^[3, 8-13], 但受到基因型的影响, 能够体胚发生的橡胶树品种较单一^[14]。热研 73397 的体胚发生技术较成熟, 研究也比较深入, 包括悬浮培养^[15]、次生体胚发生起源^[16]、遗传稳定性检测^[6]、体胚发生转录组测序^[10]等, 其生产工艺也得到不断改进^[17], 是最先实现大规模生产体胚苗的品种。近年来开展了探索热研 917 品种的体胚发生技术并投入规模化生产。未来有待开发更多橡胶树品种的体胚苗生产及推广。

3.1.2 调查指标的确定及注意事项 本调查主要参考了香蕉组培苗^[18], 同时参考橡胶树^[19]、油茶^[20]、苹果^[21]等苗木相关标准和文献, 结合橡胶树体胚苗的特性, 确定调查橡胶树体胚苗 (试管苗) 的指标为株高、茎粗、叶片数、主根长度等指标。受到培养容器的限制, 体胚苗的株高一般不超过 20.0 cm, 同一年份不同品种的体胚苗株高无明显差异。茎粗是衡量植株健壮的指标之一, 在苗木质量标准中是必备参数之一。在调查的橡胶树体胚苗中, 不同年份、不同品种的茎粗均很稳定, 高度集中于 1.50~3.00 mm 之间。叶片是构成完整植株的一个部分, 调查过程中发现, 在后续的炼苗中, 体胚苗缺少叶片则影响成活。本次调查结果显示, 叶片数以 1~3 片占绝大多数, 2

个品种的叶片数在不同区间的分布有差异,但叶片数均值均为 2 片,且方差分析结果显示无显著差异。在油茶的苗木质量分级中,以侧根长作为评价根系的指标,但其数据浮动较大^[20];在香蕉组培苗的苗木质量分级中,要求组培瓶苗至少有 2 条根^[18]。然而,橡胶树体胚苗是经过体胚发生途径形成植株,具有明显的主根,结合在海南、广东植胶区为我国台风多发地的实际情况,认为深入土壤的主根能够帮助其抵御台风的侵害,最终以主根长度作为衡量橡胶树体胚苗质量的指标之一。调查结果显示,同一品种的橡胶树体胚苗主根长在不同年份稳定。根系是植物生长的根本,在调查橡胶树体胚苗的根系时,应注意保持根系的湿润,并尽快移栽到沙床上,减少对植株的损害。

3.1.3 橡胶树体胚苗的标准化情况 橡胶树体胚苗是天然橡胶产业发展的新型种植材料,在 2021 年相继发布适用于橡胶树体胚苗的质量定级、生产技术的相关标准:海南省地方标准《橡胶树 组培苗》(BD46/T 535—2021)^[7]、农业行业标准《橡胶树自根幼态无性系种苗组培快繁技术规程》(NY/T 3981—2021)^[22]。

本研究调查中,统计了海南天然橡胶新型种植材料创新基地的生产数据,2019 年全年炼苗 166228 株,最终有 150 358 株移栽育苗袋,炼苗成活率为 90.5%。参照海南省地方标准《橡胶树 组培苗》(BD/T 535—2021),本研究调查的合格比例为 79.71%,在炼苗成活范围内,因此,认为该标准有效保障了商品苗的质量。后期随着橡胶树多品种体胚苗的规模化生产、生产工艺在不同区域的推广,应当继续跟踪、广泛调查。

3.2 结论

海南天然橡胶新型种植材料创新基地规模化生产橡胶树体胚苗,以株高、茎粗、叶片数、主根长度等指标进行调查,其质量稳定。但橡胶树体胚苗生产工艺具有一定技术难度,目前仅该基地能够实现规模化生产,本次调查结果为橡胶树体胚苗生产工艺的推广提供参考,为进一步制修订橡胶树体胚苗的行业和国家标准提供依据。

参考文献

[1] 王泽云,曾宪松,陈传琴,吴胡叶,李琼英,范高俊,卢文娟. 用离体花药诱导巴西橡胶植株的研究[J]. 热带作物学报, 1980, 1(1): 16-27.

WANG Z Y, ZENG X S, CHEN C Q, WU H Y, LI Q Y, FAN G J, LU W J. Induction of rubber plantlets from anther of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg in vitro[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1980, 1(1): 16-27. (in Chinese)

[2] 华玉伟,黄华孙,黄天带,曾霞,胡彦师. 利用胚状体快速繁殖巴西橡胶树自根幼态无性系的方法: 2007101848925[P]. 2010-06-02.

HUA Y W, HUANG H S, HUANG T D, ZENG X, HU Y S. A method of rapid propagation of self-rooting juvenile clones of *Hevea brasiliensis* by embryoid bodies: 2007101848925[P]. 2010-06-02. (in Chinese)

[3] HUA Y W, HUANG T D, HUANG H S. Micropropagation of self-rooting juvenile clones by secondary somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis*[J]. Plant Breed, 2010, 129: 202-207.

[4] DIBI K, BOKO C, OBOUAYEBA S, GNAGNE M, DEA G B, CARRON MP P A. Field growth and rubber yield of in vitro micropropagated plants of clones PR 107, IRCA 18 and RRIM 600 of *Hevea brasiliensis* (Muell-Arg)[J]. Agriculture and Biology Journal of North America, 2010, 1(6): 1291-1298.

[5] 王泽云,陈雄庭,吴胡蝶. 橡胶新一代种植材料—高产速生的体胚植株[C]//中国生物工程学会. 中国生物工程学会第三次全国会员代表大会暨学术讨论会论文摘要集, 2001: 144-145.

WANG Z Y, CHEN X T, WU H D. A new genetstion of rubber tree planting material—Somatic embryoid plants with high yield and fast growth[C]//Chinese Society of Bioengineering. Abstracts of the third National Congress and Symposium of the Chinese Society of Bioengineering, 2001: 144-145. (in Chinese)

[6] 华玉伟,黄关青,龙青姨,黄华孙. 橡胶树次生体胚发生及其再生植株遗传稳定性的分子检测[J]. 热带作物学报, 2009, 30(5): 644-650.

HUA Y W, HUANG G Q, LONG Q Y, HUANG H S. Secondary somatic embryogenesis and detection of somaclonal variation of regenerated plants of *Hevea*[J]. Chinese Journal of Tropical Crop, 2009, 30(5): 644-650. (in Chinese)

[7] 海南省农业农村厅. 橡胶树 组培苗: BD46/T 535—2021[S]. 2021.

Department of Agriculture and Rural Affairs of Hainan Province. Rubber tree in vitro plantlet: BD46/T 535—2021[S]. 2021. (in Chinese)

[8] 戴雪梅,李哲,华玉伟,黄天带,孙爱花,周权男,黄华孙. 橡胶树热研 8-79 原生质体培养再生植株[J]. 南方农业学报, 2013(12): 2040-2045.

DAI X M, LI Z, HUA Y W, HUANG T D, SUN A H, ZHOU Q N, HUANG H S. Plant regeneration from protoplast culture of Reyan 8-79 (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.)[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013(12):

- 2040-2045. (in Chinese)
- [9] 李哲, 戴雪梅, 孙爱花, 黄天带, 周权男, 黄华孙, 林位夫, LARDET L, MONTORO P, CARRON M P. 橡胶树热研 88-13 品种珠心易碎愈伤组织诱导及其胚状体发生[J]. 热带生物学报, 2010, 1(4): 307-313.
- LI Z, DAI X M, SUN A H, HUANG T D, ZHOU Q N, HUANG H S, LIN W F, LARDET L, MONTORO P, CARRON M P. Nucellus friable callus induction and its embryoid ontogeny from rubber tree C lone reyan 88-13[J]. Journal of Tropical Biology, 2010, 1(4): 307-313. (in Chinese)
- [10] WANG Y, LI H L, ZHOU Y K, DONG G, ZHU J H, PENG S Q. Transcriptomes analysis reveals novel insight into the molecular mechanisms of somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis*[J]. BMC Genomics, 2021, 22(1): 183-201.
- [11] 张源源, 王祥军, 高新生, 蔡海滨, 黄华孙, 李维国. 不同品系橡胶树花药愈伤诱导和体胚发生研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(3): 70-75.
- ZHANG Y Y, WANG X J, GAO X S, CAI H B, HUANG H S, LI W G. Induction of anther callus and somatic embryogenesis of different rubber tree (*Hevea brasiliensis* muell. arg.) clones[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(3): 70-75. (in Chinese)
- [12] 管艳, 李玲, 梁国平, 桂明春, 黄凤翔, 王亚, 田海. 不同品种橡胶树花药愈伤组织诱导, 分化及植株再生的比较[J]. 中国农学通报, 2015, 31(4): 40-44.
- GUAN Y, LI L, LIANG G P, GUI M C, HUANG F X, WANG Y, TIAN H. Comparison of callus induction, somatic embryogenesis and plant regeneration from different clones of *Hevea brasiliensis* anther[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(4): 40-44. (in Chinese)
- [13] 孙爱花, 华玉伟, 黄天带, 周权男, 戴雪梅, 黄华孙. 不同激素配比对橡胶树叶片愈伤组织诱导的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 24-27.
- SUN A H, HUA Y W, HUANG T D, ZHOU Q N, DAI X M, HUANG H S. Effects of different hormone combination on callus induction of leaf explant from *Hevea brasiliensis*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(4): 24-27. (in Chinese)
- [14] MIGNON E, WERBROUCK S. Somatic embryogenesis as key technology for shaping the rubber tree of the future[J]. Frontiers in Plant Science, 2018.
- [15] 栾林莉, 宋玉凤, 侯辛辛, 陈健妙. 巴西橡胶树体胚胚性愈伤组织悬浮系的建立和植株再生[J]. 分子植物育种, 2019, 17(8): 2614-2621.
- LUAN L L, SONG Y F, HOU X X, CHEN J M. Establishment of somatic embryogenic callus suspension lines in *Hevea brasiliensis* and plant regeneration[J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(8): 2614-2621. (in Chinese)
- [16] 王天地. 橡胶树次生体胚发生起源及再生植株遗传稳定性的研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- WANG T D. Studies on origin of secondary somatic embryogenesis and detection of somaclonal variation of enerated plants of *Hevea brasiliensis*[D]. Haikou: Hainan University, 2013. (in Chinese)
- [17] 华玉伟, 黄天带, 孙爱花, 黄华孙. 橡胶树体胚再生试管改进及其对植株再生和移栽的影响[J]. 热带农业科学, 2013, 33(7): 1-3, 16.
- HUA Y W, HUANG T D, SUN A H, HUANG H S. Effects of improving test tube on plant regeneration and transplantation in *Hevea brasiliensis*[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2013, 33(7): 1-3, 16. (in Chinese)
- [18] 农业部热带作物及制品标准化技术委员会. 香蕉 组培苗: NY/T 357—2007[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 3.
- Technical Committee for Standardization of Tropical Crops and Products, Ministry of Agriculture. Banana *in vitro* plantlet: NY/T 357—2007[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 3. (in Chinese)
- [19] 农业部热带作物及制品标准化技术委员会. 橡胶树苗木: GB/T 17822.2—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 9.
- Technical Committee for Standardization of Tropical Crops and Products, Ministry of Agriculture. Rubber budling and seedling: GB/T 17822.2—2009[S]. Beijing: China Standards Press, 2011: 9. (in Chinese)
- [20] 彭邵锋, 陈永忠, 杨小胡, 王湘, 马力, 王瑞, 陈隆升. 油茶苗木质量分级标准研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(25): 101-105.
- PENG S F, CHEN Y Z, YANG X H, WANG X, MA L, WANG R, CHEN L S. Study on the classification of seedling quality of oil-tea camellia (*Camellia oleifera*)[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(25): 101-105. (in Chinese)
- [21] 李高潮, 张庆伟, 宋晓敏, 宋春晖, 韩明玉, 赵彩平. 陕西省苹果苗木质量现状调查及分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(8): 158-164.
- LI G C, ZHANG Q W, SONG X M, SONG C H, HAN M Y, ZHAO C P. Investigation and analysis of apple nursery quality in Shanxi province[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2011, 39(8): 158-164. (in Chinese)
- [22] 农业农村部热带作物及制品标准化技术委员会. 橡胶树自根幼态无性系种种苗组培快繁技术规程: NY/T 3981—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 3.
- Technical Committee for Standardization of Tropical Crops and Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Technical code of practice for rubber tree self-rooting juvenile clone mass-propagation: NY/T 3981—2021[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2022: 3. (in Chinese)