

不同贮藏方式对高州油茶种子萌发及幼苗生长的影响*

袁 汕 刘 楨 马春花 傅志强 申春晖 奚如春

(华南农业大学/广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要 为了筛选高州油茶 *Camellia gauchowensis* 种子筛选最优贮藏方式, 研究采用5种方式进行贮藏处理, 比较贮藏后的萌发特性和幼苗生长指标。结果表明: (1) 不同贮藏处理的种子萌发特性存在显著差异 ($P < 0.05$), 发芽率和发芽势均随贮藏时间推移而降低, 出苗率除贮藏2个月与3个月的种子间相差不大以外, 其他也随贮藏时间延长呈现下降趋势。 $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温处理效果最佳, 其发芽率、出苗率和发芽势均高于其他处理, 种子的贮藏期可达220 d。常温、蜡封液A(吗啉脂肪酸盐果蜡)、塑封、蜡封液B(RQT-G-4水果保鲜保湿增亮剂)处理的种子在贮藏了101 d时, 胚芽生长缓慢, 保存了162 d后失活, 且蜡封液A、塑封、蜡封液B处理的指标均显著高于常温处理。 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温处理和使用蜡封液C(橘子保鲜剂)蜡封处理的种子贮藏表现次之, 相较于常温等处理, 这两种处理延长了约一个月的保质期。(2) 不同贮藏处理的种子胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均有显著差异, 且随着贮藏时间推移而降低。 $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温处理的指标均显著高于其他贮藏处理, 其幼苗生长指标随时间的平均下降幅度最小, 贮藏效果最佳; 蜡封液C处理种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径显著高于常温处理; 常温处理效果最差, 说明其幼苗生长能力受到最大影响, 而其他贮藏方式在一定程度上减少了外界环境对其幼苗生长发育的影响。贮藏方式对高州油茶种子萌发及幼苗生长有显著影响。 $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温处理效果最佳, 但成本高, 蜡封液C蜡封处理效果次之, 相较于常温处理能延长约1个月的保质期, 成本低, 在生产中具有一定应用价值。

关键词 高州油茶; 种子贮藏; 种子萌发; 种子生长指标

中图分类号: S723.1 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2024) 01-0041-10

Effects of Different Storage Methods on Seed Germination and Seedling Growth of *Camellia gauchowensis*

YUAN Shan LIU Zhen MA Chunhua FU Zhiqiang
SHEN Chunhui XI Ruchun

(South China Agricultural University/Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract This study aimed to investigate the effects of various storage methods on the germination characteristics and seedling growth indexes of *Camellia gauchowensis*, thereby identifying the optimal methods that would provide a scientific basis for its preservation and utilization. The research employed *C. gauchowensis* seeds as experimental materials, subjecting them to five storage treatments and comparing their germination character-

* 基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020215003)。

第一作者: 袁汕 (1999—), 男, 在读硕士, 研究方向为森林培育, E-mail: yuan99s@163.com。

通信作者: 奚如春 (1963—), 男, 教授, 主要从事森林培育研究, E-mail: xirc2006@scau.edu.cn。

istics and seedling growth metrics. The results showed that (1) There were significant differences ($P < 0.05$) in the germination characteristics among seeds stored under different conditions. The germination rate and germination potential exhibited a declining trend with increased storage duration, except for a marginal difference between 2 and 3 months of storage. The $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ultra-low temperature treatment proved most effective, with higher germination rate, germination percentage, and germination potential compared to other treatments, enabling seed viability up to 220 days. Conversely, seeds treated at normal temperature, wax sealing solution A (Morpholine fatty acid salts fruit wax), plastic packaging, and wax sealing solution B (RQT-G-4 Fruit preservation and moisturizing brightening agent) were stored for 101 days, the seedling grew slowly, and they were inactivated after 162 days of storage. The indexes of wax sealing solution A, plastic packaging, and wax sealing solution B treatment were significantly higher than those of normal temperature treatment. The $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ low temperature and wax sealing solution C (Orange Freshness Retainer) treatments displayed second-best seed storage properties, extending the shelf life by approximately one month compared to room temperature storage. (2) There were significant variations in shoot length, radicle length, shoot diameter, and radicle diameter among seeds stored using different methods, all diminishing over time. The $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ultra-low temperature treatment showed significantly superior indexes compared to other treatments, with the smallest decrease in seedling growth metrics over time, thus proving to be the best storage option. Seeds treated with wax sealing solution C had significantly greater shoot and root lengths, as well as diameters, than those kept at room temperature. The normal temperature treatment demonstrated the poorest effect, indicating its seedlings' growth ability was most severely affected. Other storage methods, however, mitigated the external environment's impact on seedling growth and development to some extent. In summary, the storage methods significantly influenced the seed germination and seedling growth of *C. gauchowensis*. The effect of $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ultra-low temperature treatment emerged as the most efficacious method, albeit with a high cost. Wax sealing solution C treatment presented the next best alternative, offering about a one-month extension in shelf life compared to room temperature storage while being economically viable. This makes it a promising candidate for practical applications in production activities.

Key words *Camellia gauchowensis*; seed storage; seed germination; seedling growth index

油茶 *Camellia oleifera* 为山茶科 Theaceae 山茶属植物中富含油脂的物种统称,是我国最主要的经济林树种之一^[1]。截至2021年,全国现有油茶林面积为459.2万 hm^2 ,分布于南方15个省(区),年产茶籽394万t,年产茶油100万t,油茶产业产值1920亿元,在我国林业经济建设中做出重要贡献^[2]。高州油茶 *C. gauchowensis*,又名越南油茶,是我国分布最南的油茶物种,它具有树体高大、寿命长、果实大、单株产量高、抗病性强、耐高温、耐高湿的特性^[3]。

油茶种子富含脂肪和蛋白质,常温下贮藏时间短,易霉变失活^[4],特别是在华南高温高湿地区,严重影响到苗木生产的数量和质量^[5],此外,油茶种子不耐高温,因贮藏安全水分低,容易破损、软化,因孔隙度小而散热困难,因此油茶种子贮藏已成为种苗生产技术瓶颈^[6]。目前,林木种子贮藏主要通过控制温度、湿度、氧气和与外

界隔绝等方式,抑制种子内部活动和抵抗微生物侵入。研究表明,低温(-18 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 冷藏是最有效的种子保存方式^[7],但由于受生产设施和贮藏成本高等影响,生产应用受限。因此,在实际生产中通常将种子置于常温或湿沙环境下,这些方法极易受到环境干扰,导致种子失活、被动物啃食或提前萌发^[8]。蜡封是一种新型种子贮藏技术,其保鲜原理与塑封的方式相似,通过在种子外部包裹上一层薄膜,减少外部环境的干扰,防止内部水分蒸发和外部水分侵入,有抑制种子呼吸的作用,以此达到延长种子贮藏时间和保鲜的目的^[9-10],但二者的研究均为小果油茶,且只关注于内含物质变化。

目前,高州油茶的研究主要集中在果实特性^[3,11-12]和生长特性^[13]等方面,关于种子贮藏方式的研究尚鲜见报道。高州油茶种子贮藏方法对其保存时间和播种品质有重要影响^[14],如何保

证其采后贮藏的品质成为亟待解决的问题。本研究选用高州油茶种子，采用低温、超低温、蜡封和塑封等不同贮藏控制试验，观测并测定贮藏后种子萌发及幼苗生长指标，综合评价不同贮藏方式效果，为其种子保存和利用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区域位于华南农业大学教学科研基地，地理位置为东经 23°9′28"，北纬 113°21′28"，属亚热带季风气候，年平均气温为 21.8 ℃，每月平均气温均在 13.0 ℃以上，最冷为 1 月，平均气温为 13.3 ℃，最热为 8 月，平均气温为 28.8 ℃；年降水量为 1 638 mm，年平均湿度为 79%。

1.2 试验材料

于 2022 年 11 月下旬，在华南农业大学宁西油茶良种基地（东经 23°14′48"，北纬 113°38′20"），采集成熟的高州油茶鲜果，放置在干燥避光处，经过堆沤后熟、晾晒脱蒲、蒲籽分离、种子干燥等处理后，筛选大粒饱满的种子，去除杂质后备用，期间做好防潮、防虫、防鼠措施，检查种子质量，详见表 1。

1.3 试验方法

将净种后的种子于 2022 年 12 月 9 日开始按照试验设计方案进行贮藏。本试验设计 5 种不同贮藏方法，每种方法种子贮藏约 3 kg，以 30 粒为一

小袋，每种处理分装 30 小袋。常温室内存藏：将种子放置在室内（通风干燥避光处常温条件下，下同）贮藏。低温冷藏：将种子置于 2~5 ℃种子柜贮藏。超低温冷藏：将种子置于 -79 ℃超低温冰箱贮藏。蜡封贮藏：将种子分别浸泡在 3 种果蜡中，不断搅拌，确保种子表面全部被上薄蜡，30 min 后捞起，完全阴干后放置在室内贮藏，其中包括 3 种不同保鲜材料（表 2）。塑封贮藏：将每小袋种子装入透明真空袋中，用真空封口机抽真空密封保存，放置在室内贮藏。

将脱粒后未进行干燥处理的新鲜种子随机选取 3 袋，进行首次催芽萌发试验。种子贮藏处理 60 d 后，即从 2023 年 2 月 9 日开始，每间隔 30 d 进行一次种子催芽萌发试验，直至处理后的种子出现连续 2 个月失活。试验方法如下：每次试验从不同方法贮藏的种子中各随机选取 3 袋种子进行萌发（作为 3 个重复），萌发前采用 60 ℃的温水浸种 12 h 进行催芽，破除休眠。催芽后，将种子均匀播种在铺有 10 cm 厚湿沙的透明容器，贴靠在透明容器壁，便于观察萌发情况，在容器底部铺 3~5 层消毒纱布，置于人工气候温室中进行发芽试验，控制温度为 (25±1) ℃，湿度为 80%，每天按时观察种子萌发情况，按需补水，保持沙床湿润，并及时去除霉变感菌种子，夜间补光，以连续 5 d 不再发芽视为发芽终止。

表 1 高州油茶种子净种前后指标对比

Table 1 Comparison of seed indexes before and after seed purification of *Camellia gauchowensis*

测定时间 Measurement time	十粒鲜质量/g Ten fresh weight	十粒干质量/g Ten grain dry weight	含水率/% Water content	吸水后质量/g Quality after water absorption	吸水率/% Water absorption	千粒质量/g Thousand seed weight
净种前 Net pre-species	20.68±1.13	14.46±0.66	30.05±1.81	26.99±2.17	30.54±0.71	1 918.78±80.29
净种后 Net post-seeding	18.20±0.27	15.75±0.34	13.51±0.60	23.43±0.27	28.70±0.52	1 741.25±49.36

表 2 3 种不同果蜡保鲜材料性质

Table 2 Properties of three different fruit wax fresh-keeping materials

编号 No.	材料品名 Material name	主要成分 Essential component	简称 Abbreviations
1	吗啉脂肪酸盐果蜡	甘油、吗啉脂肪酸盐	蜡封液 A
2	RQT-G-4 水果保鲜保湿增亮剂	甘油、山梨糖醇、本味淋	蜡封液 B
3	橘子保鲜剂	羧甲基壳聚糖、聚乙烯醇、丙二醇	蜡封液 C

1.4 项目测定

1.4.1 种子千粒重 采用百粒法, 随机选取 10 组种子, 每组 100 粒, 分别用电子天平 (0.01 g) 称重, 取平均值统计分析。种子含水量: 采用 105 °C 烘干法, 随机取出种子样品 3 组, 每组 30 粒, 用电子天平称重, 放入干燥箱中, 烘干称重, 取平均值统计分析。种子吸水率: 采用浸泡法, 随机选取 3 组种子, 每组 30 粒 (浸种前质量), 放入盛有室温 (25 °C) 水的小烧杯中浸泡, 搅拌冷却, 于 24 h 取出种子, 用滤纸吸干表面水分后称重 (浸种后质量)。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{浸种后质量} - \text{浸种前质量}}{\text{浸种前质量}} \times 100\%;$$

1.4.2 胚根胚芽 发芽终止后, 从每个处理组中随机抽取 10 株幼苗 (数量不足则全部测量) 使用直尺 (0.1 cm) 和游标卡尺 (0.01 mm) 测量发芽种子的胚根长度、直径, 胚芽长度、直径。发芽率及发芽势: 播种后, 每天进行观测, 透过透明容器观察生根生芽情况, 记录每天发芽的种子数, 种子发芽以露白作为标准, 出苗以子叶着生的位置抽出胚芽为标准。发芽终止后, 统计发芽率、出苗率和发芽势, 计算公式如下:

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$

$$\text{出苗率}(\%) = \frac{\text{出苗种子数}}{\text{发芽种子数}} \times 100\%;$$

$$\text{发芽势}(\%) = \frac{\text{发芽达到最高峰期发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$

1.5 数据分析

采用 WPS 2022 软件对数据计算平均值和标准差; 采用 SPSS 26.0 软件进行单因素 (ANOVA) 方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较; 采用 Origin 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏方法对高州油茶种子发芽特性的影响

不同方式处理后贮藏高州油茶种子的发芽率和发芽势均随着贮藏时间的推移而降低, 出苗率大致呈现随着贮藏时间的推移而下降的趋势 (图 1)。未经过完全净种和贮藏的种子的发芽率、出苗率和发芽势分别为 82.22%、48.72%、60.00%, 均为各处理中最高值。

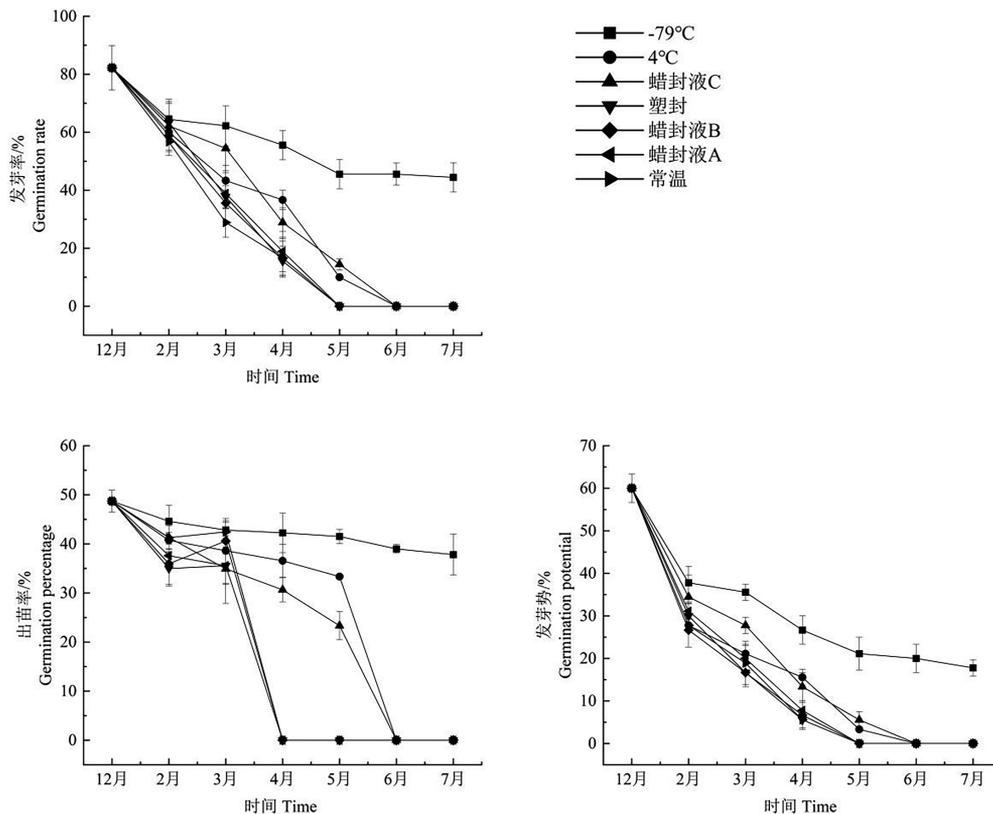


图 1 不同贮藏处理后高州油茶种子发芽率、出苗率、发芽势动态变化

Figure 1 Dynamic changes of germination rate, germination percentage and germination potential of *Camellia gauchowensis* seeds after different storage treatments

对不同贮藏方法处理后的种子发芽特性进行多重比较, 结果见表 3。不同贮藏方式对高州油茶种子的发芽率、出苗率和发芽势均有显著影响 ($P < 0.05$), 表明高州油茶种子的萌发特性受到贮藏方式影响。

高州油茶种子平均发芽率从 12 月至次年 7 月逐渐降低, 从 12 月的 82.22%, 2 月的 60.64%, 3 月的 43.02%, 4 月的 26.98%, 5 月的 10.00%, 6 月的 6.50%, 7 月降至 6.35%。出苗率从 12 月的 48.72%, 下降了 43.32 个百分点, 7 月降至 5.40%。发芽势从 12 月的 60.00%, 降至 7 月的 2.54%。

从不同贮藏处理分析, $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冷藏后种子平均发芽率、出苗率和发芽势均最高, 分别达 52.96%、37.82% 和 26.48%; 通过蜡封液 C 蜡封处理的种子次之, 发芽率、出苗率和发芽势分别为 26.67%、21.70% 和 13.52%; 而对照组常温处理最低, 其平均发芽率、出苗率和发芽势仅为

17.04%、13.95% 和 8.7%。

经过 $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冷藏后种子的发芽率、出苗率和发芽势均高于其他贮藏处理, 发芽率从 2 月的 64.45% 降至 7 月的 44.44%, 出苗率从 2 月的 44.60% 降至 7 月的 37.82%, 发芽势从 2 月的 37.78% 降至 7 月的 17.78%, 如不提供发芽条件, 种子的贮藏期可达到 220 d。其平均发芽特性指标随时间下降的幅度最小, 贮藏效果最佳。

经过 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冷藏后与通过蜡封液 C 蜡封处理种子的发芽率、出苗率和发芽势次之, 这两种贮藏处理的种子于 6 月失活, 保存时间为 162 d。经过塑封处理与蜡封液 A 和 B 蜡封处理的种子各项指标均较低, 说明其贮藏效果一般, 于 5 月失活, 保存时间为 132 d。对照组常温处理种子的发芽率、出苗率和发芽势多数处于最低水平, 说明其贮藏效果最差, 同样于 5 月失活, 保存时间为 132 d。

表 3 不同贮藏处理和发芽时间高州油茶种子的发芽特性

Table 3 Germination characteristics of *Camellia gauchowensis* seeds with different storage treatments and germination time

播种日期 Seeding apparatus date	保存时间/d Preservation time	贮藏方式 Storage method	发芽率/% Germination rate	出苗率/% Germination percentage	发芽势/% Germinating energy
2022-12-1	0	净种前	82.22±7.70a	48.72±2.22a	60.00±3.33a
2023-2-9	70	-79 °C	64.45±6.94a	44.60±3.24a	37.78±3.85a
		4 °C	60.00±3.33a	40.73±1.66ab	27.78±5.09bc
		蜡封液 C	62.22±8.39a	41.32±2.91ab	34.44±5.09ab
		塑封	63.33±6.67a	34.99±3.27c	30.00±3.33bc
		蜡封液 B	58.89±1.92a	35.95±4.53bc	26.67±0.00c
		蜡封液 A	58.89±6.94a	37.60±2.36bc	31.11±1.92abc
		常温	56.67±3.34a	41.27±2.43ab	27.78±5.09bc
2023-3-12	101	-79 °C	62.22±6.94a	42.83±1.63a	35.56±1.93a
		4 °C	43.33±3.34b	38.61±2.98a	21.11±1.92c
		蜡封液 C	54.44±8.39a	34.93±3.04a	27.78±1.92b
		塑封	37.78±3.85bc	35.55±3.85a	16.67±3.34c
		蜡封液 B	35.56±1.93bc	40.60±4.57a	16.67±0.00c
		蜡封液 A	38.89±9.62bc	35.56±7.70a	20.00±3.33c
		常温	28.89±5.09c	42.43±2.25a	18.89±5.09c

播种日期 Seeding apparatus date	保存时间/d Preservation time	贮藏方式 Storage method	发芽率/% Germination rate	出苗率/% Germination percentage	发芽势/% Germinating energy
2023-4-12	132	-79 °C	55.56±5.09a	42.25±4.00a	26.67±3.34a
		4 °C	36.67±3.34b	36.56±3.34b	15.56±1.93b
		蜡封液 C	28.89±5.09b	30.63±2.44c	13.33±3.34b
		塑封	15.56±5.09c	0.00±0.00d	5.56±1.93c
		蜡封液 B	16.67±6.67c	0.00±0.00d	6.67±3.34c
		蜡封液 A	18.89±6.94c	0.00±0.00d	7.78±1.92c
		常温	16.67±5.77c	0.00±0.00d	5.56±1.93c
2023-5-12	162	-79 °C	45.56±5.09a	41.51±1.44a	21.11±3.85a
		4 °C	10.00±0.00c	33.33±0.00b	3.33±0.00b
		蜡封液 C	14.44±1.93b	23.33±2.89c	5.56±1.93b
		塑封	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00c
		蜡封液 B	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00c
		蜡封液 A	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00c
		常温	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00c
2023-6-12	193	-79 °C	45.55±3.85a	38.97±0.89a	20.00±3.33a
2023-7-10	220	-79 °C	44.44±5.09a	37.82±4.21a	17.78±1.92a

注：表中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the table indicate significant differences ($P < 0.05$).

2月发芽试验,各贮藏方式处理的种子发芽率差异不显著(表3),出苗率是-79 °C处理的种子最高,为44.60%;塑封处理种子的出苗率最低,为34.99%;蜡封液B处理种子的发芽势最低,为26.67%。3月的发芽试验中,发芽率以-79 °C处理的种子最高,为62.22%,蜡封液C处理的次之,为54.44%,二者显著高于其他处理($P < 0.05$);各处理出苗率差异不显著;发芽势以-79 °C处理的种子最高,为35.56%,蜡封液C处理的次之,为27.78%,二者显著高于其他处理。4月的发芽试验中,发芽率和发芽势均以-79 °C处理的种子最高,显著高于其他处理,其次为4 °C处理和蜡封液C处理;该月试验中,塑封、蜡封液B、蜡封液A和常温处理的种子均没有长出胚芽,发育缓慢,发芽势也显著低于其他处理。5月的发芽试验中,仅有-79 °C处理、4 °C处理和蜡封液C处理的种子有发芽,其中-79 °C处理的种子发芽率、出苗率和发芽势最高,分别为45.56%、41.51%和21.11%。6月与7月的发芽试验中,只有-79 °C处理的种子能够发芽,其余处理的种子皆已失活。

2.2 不同贮藏方法对种子生长指标的影响

对不同贮藏方法处理后的种子幼苗生长指标进行方差分析,由表4可知,不同贮藏方式对高州油茶种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均有显著影响($P < 0.05$),表明高州油茶种子发芽的生长指标受到贮藏方式的作用。

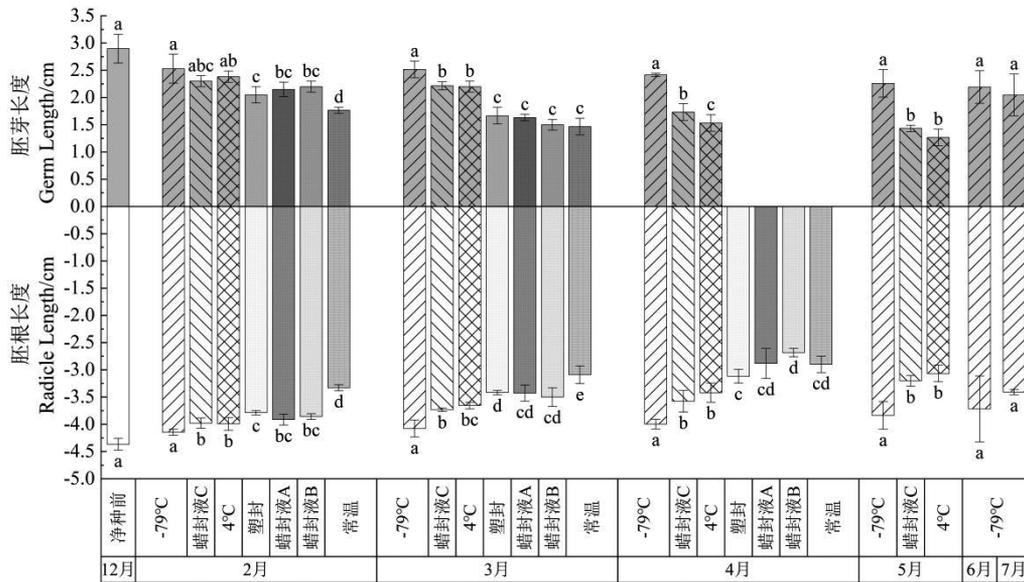
每月的播种试验,不同贮藏方式处理后高州油茶种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均有显著差异($P < 0.05$)(图2、图3)。未经过完全净种和贮藏的种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径分别为290 cm、4.37 cm、2.01 mm和3.36 mm,均为各处理中最高值,说明经过贮藏后,高州油茶种子发芽的生长速度受到了影响。

高州油茶种子平均胚芽长度和直径从12月至次年3月逐渐降低,从12月的2.90 cm和2.01 mm降至3月的1.89 cm和1.62 mm,而4月开始有部分处理生长缓慢,没有长出胚芽。胚根长度和直径从12月的4.37 cm和3.36 mm,降至4月3.23 cm和2.69 mm,分别降低了1.14 cm和0.67 mm。

表 4 不同贮藏处理高州油茶种子幼苗生长指标的方差分析

Table 4 Variance analysis of germination and growth indexes of *Camellia gauchowensis* seeds under different storage treatments

因变量 Dependent variable	变异来源 Variation source	Ⅲ类平方和 Type III sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 Significance
胚芽长 Germ length	贮藏方式 Storage method	45.464	6	7.577	472.163	0.000
胚根长 Radicle length		72.101	6	12.017	621.833	0.000
胚芽直径 Germ diameter		21.053	6	3.509	598.421	0.000
胚根直径 Radicle diameter		42.654	6	7.109	574.606	0.000



注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图 2 不同贮藏处理对高州油茶种子发芽胚根、胚芽长度的影响

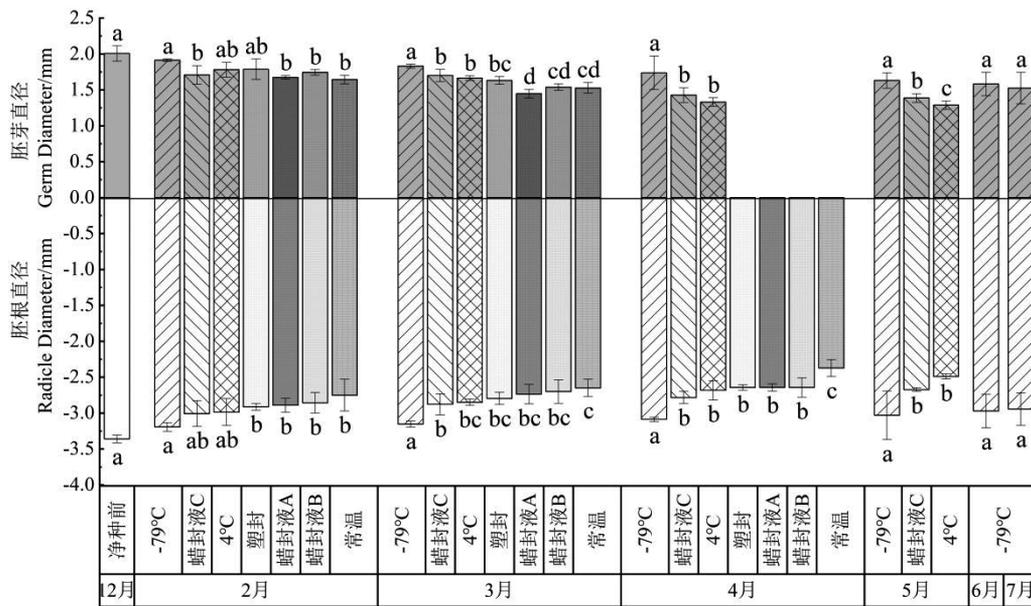
Figure 2 Effects of different storage treatments on radicle and germ length of *Camellia gauchowensis* seed germination

从不同贮藏处理分析， $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冷藏后种子平均胚芽长度、胚根长度、胚芽直径和胚根直径均最高，分别达 2.33 cm、3.86 cm、1.70 mm 和 3.06 mm；通过蜡封液 C 处理的种子次之，2—5 月的平均胚芽长度、胚根长度、胚芽直径和胚根直径为 1.92 cm、3.62 cm、1.56 mm 和 2.84 mm，相较于对照组常温处理，其各项指标提升了 137.04%、55.36%、97.47% 和 46.39%。

经过 $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冷藏后种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均显著高于其他贮藏处

理 ($P < 0.05$)，其幼苗生长指标平均随时间下降的幅度最小 (图 2、图 3)，说明该方式效果最佳。放置于常温下贮藏处理的幼苗生长指标，除 4 月试验的胚根长度外，均低于其他贮藏处理，说明其发芽生长能力受到时间的影响最大，说明该方式效果最差，而其他贮藏方式在一定程度上减少了外界环境对其生长发育的影响。

2 月试验中， $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温处理的胚芽长、胚根长和胚轴长度除了 $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温处理之外最高，分别为 2.38 cm、3.99 cm 和 6.39 cm，显著高于常温



注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图3 不同贮藏处理对高州油茶种子发芽胚根、胚芽直径的影响

Figure 3 Effects of different storage treatments on radicle and germ diameter of *Camellia gauchowensis* seed germination

贮藏处理 ($P < 0.05$)。3月的试验中, 蜡封液C处理种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均排名第2, 分别为2.22 cm、3.73 cm、1.70 mm和2.88 mm, 除了4°C和-79°C处理外, 其胚芽长、胚根长均显著高于其他贮藏处理 ($P < 0.05$)。4月的试验中, 蜡封液C处理种子的胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均排名第2; 胚芽长除了4°C和-79°C处理外, 显著高于其他贮藏处理。5月的试验中, 仅有-79°C处理、4°C处理和蜡封液C处理的种子有发芽, 蜡封液C处理种子的各项指标略高于4°C低温处理。6月与7月的试验中, 仅有-79°C处理的种子能够发芽, 且其胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径均处于较高水平。

3 讨论与结论

油茶籽为双子叶无胚乳种子, 在种子成熟时胚尚未发育完全, 因此具有较浅的形态休眠特性^[15]。油茶果采摘后, 油茶种子的质量会受到果实品质、加工过程、贮藏时间和贮藏条件等因素的影响^[16]。不同物种的种子对贮藏环境的要求有较大差异^[17], 多数植物种子置于温度高、湿度高的环境下, 其活力会迅速下降; 而贮藏在低温干燥的环境中, 能延长贮存时间^[18]。本研究中, 不同贮藏方式对高州油茶种子的发芽特性和生长指

标均有显著影响 ($P < 0.05$)。未干燥未经贮藏处理的种子各项生长指标最佳, 发芽率、出苗率和发芽势达到82.22%、48.72%和60.00%, 胚芽长、胚根长、胚芽直径和胚根直径分别为2.90 cm、4.37 cm、2.01 mm和3.36 mm。随着储存的时间变长, 不同贮藏方式处理的种子的生活力都逐步下降。贮藏70 d后, 再次进行发芽试验, 由于贮藏时间较短, 外界条件对各贮藏处理的种子影响不大, 其萌发特性指标和生长指标差异不明显; 贮藏132 d后, 不同贮藏方式处理种子的各项指标显现出显著差异。所以, 通过改变贮藏条件维持种子高活力、延长贮存时间尤为重要。

超低温是非正常性种子植物和无性繁殖植物种质资源长期、安全的保存方法^[19], 超低温保存能够尽可能避免组织、细胞继代培养及自然界中积累性突变等的发生^[20]。酸值和过氧化值是影响油茶籽酸败的关键因素^[21], 进行超低温保存能降低植物种子酸值和过氧化值变化, 可显著延长寿命。本研究中, 如不提供发芽条件, -79°C超低温贮藏能将种子的贮藏期延长到220 d以后。在所有贮藏处理的种子仍能萌发的最后一个月中, -79°C超低温处理显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 相较于常温贮藏的种子, 发芽率从16.67%提高到55.56%, 提高了38.89个百分点; 出苗率从0提高到42.25%;

发芽势从 5.56% 提高到了 26.67%，提高了 21.11 个百分点。生长指标方面，胚芽长度从 0 提高到 2.42 cm；胚根长度从 2.90 cm 提高到 4.00 cm，提高了 1.10 cm；胚芽直径从 0 提高到 1.74 mm；胚根直径从 2.37 mm 提高到 3.09 mm，增粗了 0.72 mm。其发芽特性平均随时间下降的幅度最小，贮藏效果最佳。

本试验中，4℃ 低温贮藏处理和使用蜡封液 C 处理的种子贮藏表现次之。相较于常温等贮藏方式，这两种贮藏方式将种子的保存时间从 132~162 d 推迟到 162~193 d 后失活，延长了约一个月的保质期；从出苗率这一萌发特性来看，这两种贮藏方式在贮藏了 132 d 后仍能较早萌发出胚芽；发芽势也显著高于常温、塑封、蜡封液 B、蜡封液 A 等贮藏方式。施金玉^[22] 研究发现，油茶种子在 (5~25℃) 贮藏时，随着贮藏温度的升高，可溶性总糖和蛋白质的含量均呈减少趋势，而脂肪含量则呈增加趋势，脂肪的积累是种子为萌发积蓄能量。说明贮藏过程中，可溶性总糖转化成了脂肪，随着贮藏温度的升高，转化速率加快，而脂肪含量的增加加剧了种子酸坏、失活的进程。由此推测，可能是低温贮藏的方式可抑制种子内含物质变化，抑制了糖等物质转变为脂肪，延长了贮藏时间。本研究中，蜡封液 C 主要成分为壳聚糖，壳聚糖具有黏着性、被膜性和抗菌性^[23]，是优良的食品保鲜剂。水果保鲜剂主要采用微生物及其产物或动植物提取物，利用其抗氧化、抑菌等功能进行保鲜^[24-25]。在柑橘保鲜研究中，常用有壳聚糖、蔗糖脂肪酸酯、蜂蜡、磷蛋白类等材料进行蜡封保鲜^[26-27]，蜡封保鲜技术同样适用于油茶籽^[10]。

常温、蜡封液 A、塑封、蜡封液 B 方式处理的种子在贮藏了 101~132 d 时，胚芽生长相较于其他处理方式的缓慢，且于 132~162 d 后失活。但蜡封液 A、塑封、蜡封液 B 方式处理的种子在保存了 70~132 d 后，发芽率、发芽势和各项生长指标均显著高于常温下贮藏的种子。3 月的试验中，发芽率从 28.89% (常温) 提高至 38.89% (蜡封液 A 处理)；胚芽长从 1.47 cm 提高至 1.67 cm (塑封处理)，胚根长从 3.09 cm 提高至 3.50 cm (蜡封液 B 处理)；出苗率、发芽势和胚轴直径则差异不明显。说明常温条件下贮藏，受到外界环境条件影响最大，从 12 月贮藏至翌年 5 月，南方经历

了温暖潮湿的梅雨季节，种子极有可能在此阶段发生霉变，导致失活。所以，其他贮藏方式在一定程度上减少了外界环境对其生长发育的影响。研究发现，油茶籽剥壳处理后，将干籽置于抽真空或填充惰性气体的密封空间内储存能抑制种子的呼吸作用，对油茶籽酸值和过氧化值的影响较为显著^[28-30]。所以，塑封保存的方式也有效延长了种子生活力。

高州油茶果实从 8 月开始成熟，11 月逐渐出现茶果开裂，挂果量在同年 12 月达到峰值^[11]。虽然超低温贮藏能延长保存日期至第二年的果实成熟期甚至更长，但其高昂的成本不适用于实际生产中，可少量保存。相较于低温、超低温保存，蜡封保鲜技术拥有成本低的优势，同时其操作简单，管理方便，一定程度抑制了外界环境对种子的干扰，能够贮藏至翌年 5—6 月，提高了贮藏效果，在生产活动中具有应用价值。

此外，油茶果实采后加工包括剥壳和晾晒干燥都会影响储存种子的质量。因此，在存储阶段必须采取严谨措施，如充分干燥降水以降低水分含量，确保低温入库以抑制微生物活动，合理堆放保证通风透气，以及实施定期巡查制度，以防止因变质而导致的损失，并按照季节调节生产需求。对油茶这种具有形态休眠特性的种子而言，不同的催芽环境影响种子发育成熟^[31]，这是下一步的研究重点。

研究结果表明，不同贮藏方式对高州油茶种子萌发及幼苗生长有显著影响，随着储存时间的延长，不同贮藏方式处理的种子的生活力都逐步下降，相较于常温条件各种贮藏处理方式的种子生活力都有提高。-79℃ 超低温处理贮藏方式最佳，能将种子的贮藏期延长到 220 d 甚至更长，但成本较高。使用蜡封液 C 蜡封处理的种子贮藏效果次之，相较于对照组常温处理能延长约一个月的保质期，成本低，在生产活动中具有一定应用价值。

参考文献

- [1] 陈永忠. 我国油茶科技进展与未来核心技术[J]. 中林业科技大学学报, 2023, 43(7): 1-22.
- [2] 张立伟, 王辽卫. 我国油茶产业的发展现状与展望

- [J]. 中国油脂, 2021, 46(6): 6-9, 27.
- [3] 戚嘉敏. 高州油茶果实生长发育及主要经济性状特征[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [4] 黎章矩, 华家其, 曾燕如. 油茶果实含油率影响因子研究[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(6): 935-940.
- [5] 陈永忠, 邓绍宏, 陈隆升, 等. 油茶产业发展新论[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(1): 1-10.
- [6] 邓鑫州. 油茶良种苗木繁殖技术研究[D]. 南宁: 广西师范大学, 2012.
- [7] 卢新雄. 植物种质资源库的设计与建设要求[J]. 植物学通报, 2006(1): 119-125.
- [8] 邢朝宏, 李进伟, 金青哲, 等. 油茶籽储藏稳定性研究[J]. 农业机械, 2011(29): 48-51.
- [9] 蒋淑儒, 周建平, 郭华, 等. 不同贮藏条件对油茶籽品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2014(2): 69-71, 75.
- [10] 邢益显, 崔之益, 李蕊萍, 等. 蜡封技术在油茶种子贮藏中的应用[J]. 经济林研究, 2014, 32(3): 167-170.
- [11] 张应中, 徐煲铎, 王明怀, 等. 高州油茶果实生长性状与品质的动态变化规律[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(1): 47-52.
- [12] 杨颖, 张鹏, 奚如春, 等. 高州油茶不同产区果实含油率及脂肪酸组成的变异特征[J]. 经济林研究, 2018, 36(4): 104-108, 144.
- [13] 胡加新, 李蕊萍, 朱雯, 等. 高州油茶光合生理特性[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(5): 111-116.
- [14] 刘应珍. 贵州油茶经济性状测定分析和优质种苗繁育技术研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2009.
- [15] HE Y, CHEN R F, YANG Y, et al. Sugar metabolism and transcriptome analysis reveal key sugar transporters during *Camellia oleifera* fruit development[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(2): 822.
- [16] ZHU G, LIU H, XIE Y, et al. Postharvest processing and storage methods for *Camellia oleifera* seeds[J]. Food Reviews International, 2020, 36(4): 319-339.
- [17] 黄黎芳, 邢钊浩, 邓海燕, 等. 低温贮藏对火龙果种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国南方果树, 2020, 49(4): 33-38.
- [18] 刘玉兰, 马天, 王宇, 等. 低温贮藏年限对小粒大豆种子活力及幼苗质量的影响[J]. 大豆科学, 2021, 40(5): 715-720.
- [19] 陈晓玲, 张金梅, 辛霞, 等. 植物种质资源超低温保存现状及其研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(3): 414-427.
- [20] 常维霞, 姚小华, 龙伟. 普通油茶花粉的超低温保存研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 66-70.
- [21] 邢朝宏, 李进伟, 金青哲, 等. 我国油茶籽的综合利用[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(4): 13-16.
- [22] 施金玉, 王健, 曾卫静. 油茶种子贮藏和发芽过程中主要内含物变化研究[J]. 热带林业, 2018(4): 14-17.
- [23] 蒙桂娥. 壳聚糖可食用性复合膜的研究及在橘子保鲜中的应用[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009.
- [24] BAKKALI F, AVERBECK S, AVERBECK D, et al. Biological effects of essential oils - A review[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 46(2): 446-475.
- [25] BURT S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223-253.
- [26] 邓丽莉, 黄艳, 周玉翔, 等. 壳寡糖处理对柑桔果实贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 287-290.
- [27] 张良, 刘媛洁, 肖勇生, 等. 响应面法优化柑橘复合生物保鲜剂配方[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 340-345, 356.
- [28] 蒋淑儒. 不同贮藏条件对油茶籽品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [29] 朱广飞, 刘海, 李卫, 等. 油茶籽储藏品质变化规律及条件优化[J]. 农业工程学报, 2020, 36(2): 301-311.
- [30] 许帅, 苏江聪, 郑德勇. 油茶籽贮藏方法对油脂品质的影响[J]. 生物质化学工程, 2016, 50(5): 17-21.
- [31] 王述贵. 油茶种苗繁殖技术研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2013.