

◆濒危植物光合生理多样性◆

金花茶回归苗木的生长、光合特性和叶片形态特征*

江海都¹, 柴胜丰^{1**}, 熊忠臣¹, 邹蓉¹, 杨泉光², 邓丽丽¹, 唐健民¹, 韦霄¹

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西桂林 541006; 2. 广西防城金花茶国家级自然保护区管理处, 广西防城港 538021)

摘要:金花茶(*Camellia nitidissima*)为国家二级重点保护野生植物,具有重要的观赏、药用和科研价值,但其野生资源遭到极为严重的破坏,有濒临灭绝的风险,因此开展金花茶的回归引种,可有效保护该物种。为探究金花茶实生苗、扦插苗回归引种到原生境近7年后在生长和光合生理特性方面的差异,本研究对其生长状况、成活率、光合特性和叶片形态特征等进行测定。结果表明:金花茶回归苗木实生苗比扦插苗具有更大的生长量和更高的成活率;实生苗最大净光合速率(P_{max})、光饱和点(LSP)、表观量子效率(AQY)均显著高于对应点的扦插苗($P < 0.05$),其光能利用范围也大于对应点的扦插苗;实生苗的叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)和类胡萝卜素(Car)含量均显著低于对应点的扦插苗($P < 0.05$),但叶片厚度、海绵组织厚度、中脉导管直径和叶面积则均显著大于对应点的扦插苗($P < 0.05$);双因素方差分析结果表明,回归点和苗木类型分别对金花茶的株高、地径、成活率、 P_{max} 、LSP、叶绿素含量和叶面积均有极显著影响($P < 0.01$)。因此,在开展金花茶回归引种中宜优先选用实生苗种植,并选择具有中等遮阴环境的野外生境进行回归。

关键词:金花茶;回归引种;实生苗;扦插苗;光合生理特性;叶片解剖结构

中图分类号:Q945.79 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)06-1180-10

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20240125.017

金花茶(*Camellia nitidissima*)为山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)金花茶组植物,是常绿灌木或小乔木,具有金黄色半透明蜡质状的花瓣,是培育杂交茶花优良品种的种质资源,具有极高的观赏

价值、药用价值和科研价值^[1,2],是世界上稀有的珍稀濒危植物,被称为“植物界的大熊猫”,并有“茶族皇后”的美誉^[1]。金花茶自然分布于我国广西南部的南宁、防城港、扶绥和越南北部等地^[3],生长于热带季节

收稿日期:2023-08-07

修回日期:2023-10-25

*国家重点研发计划课题(2022YFF1300703),国家自然科学基金项目(32160091,32060248),广西重点研发计划项目(桂科AB21196018),广西林业科技推广示范项目(2023LYKJ03,[2022]GT23),广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室自主项目(ZRJJ2022-2,ZRJJ2023-6)和桂林市创新平台和人才计划项目(20210102-3)资助。

【第一作者简介】

江海都(1995-),女,研究实习生,主要从事植物保育生物学研究,E-mail:2889947842@qq.com。

【**通信作者简介】

柴胜丰(1980-),男,研究员,主要从事珍稀濒危植物保育及可持续利用研究,E-mail:sfchai@163.com。

【引用本文】

江海都,柴胜丰,熊忠臣,等.金花茶回归苗木的生长、光合特性和叶片形态特征[J].广西科学,2023,30(6):1180-1189.

JIANG H D, CHAI S F, XIONG Z C, et al. Growth, Photosynthetic Characteristics and Leaf Morphological Characteristics of *Camellia nitidissima* Reintroduction Plants [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(6): 1180-1189.

性雨林、沟谷雨林的阔叶林下酸性土壤,对荫蔽条件要求较高。金花茶在野外生境中遭受到较为严重的人为破坏,其栖息地面积越来越小,造成金花茶分布片段化,其野外分布地区和数量减小,野生资源面临野外灭绝的危险,因此该物种已被列入国家二级重点保护野生植物^[4]。目前,迫切需要对金花茶开展拯救性保护^[5],在加强其就地保护的基础上,选择适宜的位点,开展回归引种对金花茶种群延续和物种保护具有重要的意义^[6]。

对濒临灭绝的珍稀濒危植物开展回归引种,扩大其种群数量,恢复其种群的自然更新能力,是实现珍稀濒危植物保护的根本途径。回归通常是指在一个物种出现濒危现象的现有分布区域或已灭绝的历史分布区域重建该物种种群的活动,是物种保护和种群恢复的重要策略之一^[7,8]。植物的回归是在迁地保护的基础上,通过人工繁殖把植物引入其原来分布的自然或半自然生境中,以建立具有足够的遗传资源来适应进化改变、可自然维持和更新的新种群^[9]。回归自然是野生植物种群重建的重要途径,能够更加有效地对珍稀濒危野生植物进行拯救和保护^[10,11]。环境因子对植物的回归具有一定的影响^[8,12]。光照强度的大小可以改变植物的形态结构、调节叶绿素含量,从而影响植物的生长发育^[13-15]。叶片是植物进行光合作用的主要器官,其内部组织的厚度、叶肉细胞的大小均会影响叶片的光合特性^[16-18]。研究表明,金花茶实生苗在50%强光胁迫下其生长会受到抑制^[19],扦插苗适宜种植在70%和80%遮阴环境下^[20];随郁闭度的增加,金花茶嫁接苗的生物量、株高、地径和最大净光合速率(P_{max})均呈先增加后减小的趋势,且在郁闭度为70%时均达到最高^[21]。上述研究结果表明,不同苗木类型间金花茶的光合能力有所差异,为其回归引种保护及种群恢复提供了重要的参考依据。

有关金花茶的回归引种,仅杨泉光等^[22,23]对回归点生境和回归苗木短期成活率进行了初步研究,关于不同类型回归苗木(实生苗和扦插苗)的成活率、生长状况、光合生理特性的差异则未见报道。为此,本研究对金花茶实生苗和扦插苗回归引种到原生境近7年后的生长状况、光合特性、叶片形态结构等进行分析,探讨不同苗木类型回归引种的生长状况、光合生理特性、叶片性状以及存活率之间的差异,拟掌握回归引种金花茶不同苗木类型的生存状态和适应能力,为其苗木回归引种及种群扩大提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于广西防城金花茶国家级自然保护区内,属热带季风气候类型。该区域年平均气温为21.8℃,最冷月(1月)平均气温为12.6℃,最热月(7月)平均气温为28.2℃,极端最高温为39.1℃;年平均降水量为2900 mm。选取的2个回归点分别为广西防城港市防城区那梭镇打狗坪点(108°06'E,21°44'N)和那湾坪点(108°10'E,21°46'N),2个回归点以前均有金花茶分布,打狗坪点因早前村民垦林开荒生境受到一定破坏,那湾坪点生境破坏较小。打狗坪点位于保护区南部,海拔55-66 m,坡向东南向,坡度10°左右,地势较平坦,林下荫蔽度约75%,群落乔木树种为樟(*Cinnamomum officinarum*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、银柴(*Aporosa dioica*)等,回归点以南30 m处为上岳江,常年流水。那湾坪点位于保护区东南部,海拔150-165 m,坡向东南向,坡度20°左右,林下荫蔽度约90%,群落乔木树种为润楠(*Machilus nanmu*)、假苹婆(*Sterculia lanceolata*)、油桐(*Vernicia fordii*)等,回归点下方10 m处有狭长凹槽小水沟,下大雨时有水流,平时较为湿润。打狗坪点土壤肥力状况如下:pH值为4.89,土壤有机质含量为6.63 g/kg,全氮为1.14 g/kg,全磷为0.16 g/kg,全钾为25.45 g/kg,水解性氮87.96 g/kg,有效磷1.76 g/kg,速效钾含量为21.00 g/kg;那湾坪点土壤肥力状况如下:pH值为5.02,土壤有机质含量为29.00 g/kg,全氮为0.73 g/kg,全磷为0.39 g/kg,全钾为24.47 g/kg,水解性氮120.85 g/kg,有效磷0.74 g/kg,速效钾含量为63.00 g/kg^[23]。

1.2 材料

金花茶回归试验于2016年2月进行。回归苗木为2年生实生苗和扦插苗,试验苗生长状况基本一致,株高平均为35-40 cm。试验苗在2个回归点内生长近7年时间,管理措施一致,苗木种植前3年进行必要的人工抚育管理,包括除草、淋水等,生长稳定后让其自然生长。2022年11月对回归苗木进行生长状况、光合特性、叶片形态结构等指标的测定。

1.3 方法

1.3.1 苗木生长状况和成活率的测定

在打狗坪点和那湾坪点内选择生境基本一致的区域,分别选择50株实生苗和扦插苗,于苗木种植时进行挂牌标记,统计其成活率(SR),每个处理3个重

复。分别对2个回归点试验范围内的20株金花茶实生苗和扦插苗进行调查,测量其株高(PHT)、冠幅、地径(GD)、分枝数、生长势,其中株高于表土之上测量,地径的测量位置为主干离表土2 cm处,生长势分为优、良和差3个等级。

1.3.2 光合-光响应曲线的测定

2个回归点内各选定5株长势良好的实生苗和扦插苗,每株各选取1片苗木顶部成熟叶片,在上午8:30-11:00天气晴朗时,采用Li-6400便携式光合测定系统分析仪(美国Li-cor公司生产)测定其光合-光响应曲线。测量前将待测叶片放在 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强下诱导30 min(仪器自带的红蓝光源)以充分活化其光合系统。使用开放气路,空气流速为 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,叶室温度为 $28 \text{ }^\circ\text{C}$, CO_2 浓度为 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ (用 CO_2 钢瓶控制浓度)。光强梯度按照由强到弱的顺序手动设定,分别设定为1500、1200、1000、800、600、400、200、150、100、50、20、10、 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,测定时每一光强下停留3 min。以光量子通量密度(PPDF)为横轴、净光合速率(P_n)为纵轴绘制光合-光响应曲线(P_n -PPDF曲线)。采用叶子飘等^[24]的直角双曲线模型进行光合-光响应曲线的拟合,并推导出各项参数。

1.3.3 光合色素含量测定

从进行光合-光响应曲线测定的5株实生苗、5株扦插苗上各采集3片成熟度、方位与光合指标测定时一致的叶片进行光合色素的测定。准确称取一定量的叶片,将其置于25 mL的棕色容量瓶中,加入25 mL 95%乙醇提取,闭光24 h以上,直至叶片变白。以95%乙醇为空白对照,叶片变白后用紫外分光光度计(美国Perkin Elmer公司生产)分别测定其在665、649、470 nm下的吸光值,根据李合生^[25]的试验方法,计算出叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)、总叶绿素Chl(a+b)和类胡萝卜素(Car)的含量,以及叶绿素a与叶绿素b的比值(Chl a/b)、总叶绿素与

表1 金花茶回归苗木的生长量和成活率

Table 1 Growth and survival of reintroduction *Camellia nitidissima* seedlings

回归点 Reintroduction position	苗木类型 Seedling type	株高/m Plant height/m	冠幅/cm Crown width/cm	地径/mm Ground diameter/mm	分枝数/个 No. of branches/ individual	生长势 Growth potential	成活率/% Survival rate/%
Dagouping	Seedlings	$2.00 \pm 0.12a$	$92 \pm 6a$	$22.54 \pm 1.05a$	$9 \pm 3a$	+++	$84.00 \pm 0.02a$
	Cutting seedlings	$1.34 \pm 0.05b$	$91 \pm 4a$	$17.72 \pm 1.15b$	$7 \pm 2a$	++	$74.67 \pm 0.02b$
Nawanping	Seedlings	$1.01 \pm 0.08c$	$61 \pm 5b$	$12.46 \pm 1.02c$	$3 \pm 1b$	++	$75.67 \pm 0.03c$
	Cutting seedlings	$0.74 \pm 0.05d$	$60 \pm 3b$	$10.88 \pm 1.05d$	$3 \pm 1b$	++	$69.33 \pm 0.03c$

Note: all the data in the table are mean \pm standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at the 0.05 level; +++ means excellent growth, ++ means medium growth.

类胡萝卜素的比值[Chl(a+b)/Car]。

1.3.4 叶片解剖结构

参照李正理^[26]的方法制作石蜡切片,并适当优化。摘取光合-光响应曲线测定的5株实生苗和5株扦插苗的叶片后沿中脉横切,切片为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$,用FAA固定液(70%乙醇:福尔马林:冰醋酸=90:5:5)固定。利用石蜡切片方法制片,切片用甲苯胺蓝染色,采用数字切片扫描仪全景扫描。借助图形分析软件CaseViewer 2.4测量各微观参数。测定指标有叶片厚度(LT)、上表皮厚度(UET)、下表皮厚度(LET)、栅栏组织厚度(PTT)、海绵组织厚度(STT)、中脉导管直径(VD),并计算栅海比。栅海比=栅栏组织厚度/海绵组织厚度。取30个视野测定统计各指标参数。

1.3.5 叶面积和比叶重

分别从20株金花茶实生苗和扦插苗摘取50片成熟叶片并清洗干净,使用Li-3000叶面积仪(美国Li-cor公司生产)测定叶面积(LA),将叶片于 $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 下处理30 min,再在 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱烘干至恒重,用电子天平称其干重,计算比叶重,比叶重=干重/叶面积。

1.4 数据处理

所有测定的数据均采用平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)的形式表示。运用Microsoft Excel 2010整理数据,SPSS 25.0进行数据处理和分析,Origin 2015作图。各回归点不同苗木类型各指标的比较采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较(Duncan法),不同回归点和苗木类型对各指标的影响采用双因素方差分析(Two-way ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 金花茶回归苗木生长量及成活率

金花茶回归苗木的生长情况和成活率见表1。2个回归点金花茶实生苗的株高、地径和成活率均大于

对应点的扦插苗,生长势也优于对应点的扦插苗。打狗坪点回归苗木的生长量和成活率要优于那湾坪点。

2.2 金花茶回归苗木光合-光响应曲线

金花茶回归苗木的 P_n 均随光量子通量密度 (PPFD) 的升高先升高后下降。当 PPFD 为 0 - 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, P_n 均快速上升; 而当 PPFD 大于 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, P_n 呈下降趋势, 发生了光抑制。2 个回归点实生苗 P_n 均高于对应点的扦插苗(图 1), 实生苗的最大净光合速率(P_{max})、光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、表观量子效率(AQY)和暗呼吸速率(R_d)均显著高于对应点的扦插苗($P < 0.05$, 表 2)。打狗坪点实生苗和扦插苗的 P_{max} 分别小于那湾坪点的实生苗和扦插苗。

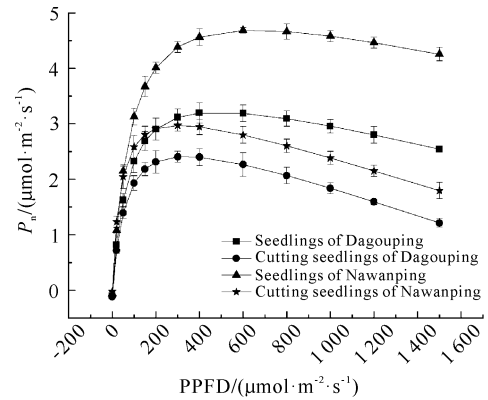


图 1 金花茶回归苗木叶片光合-光响应曲线

Fig. 1 Light response curve of photosynthesis of reintroduction *Camellia nitidissima* seedlings

表 2 金花茶回归苗木的光合-光响应参数

Table 2 Photosynthetic light response parameters of reintroduction of *Camellia nitidissima* seedlings

回归点 Reintroduction position	苗木类型 Seedling type	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率/ ($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	暗呼吸速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
		$P_{\text{max}}/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LCP/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LSP/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	AQY/ ($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	$R_d/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Dagouping	Seedlings	3.21 ± 0.15b	2.18 ± 0.12a	486.41 ± 23.66b	0.059 ± 0.004c	0.117 ± 0.01a
	Cutting seedlings	2.41 ± 0.12d	1.75 ± 0.14b	357.07 ± 20.06c	0.036 ± 0.002d	0.080 ± 0.01b
Nawanping	Seedlings	4.68 ± 0.22a	0.97 ± 0.08c	590.42 ± 18.21a	0.095 ± 0.005a	0.058 ± 0.01c
	Cutting seedlings	2.97 ± 0.14c	0.49 ± 0.02d	305.74 ± 16.91d	0.071 ± 0.007b	0.018 ± 0.05d

Note: all the data in the table are mean ± standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at the 0.05 level.

2.3 金花茶回归苗木叶片的光合色素

由表 3 可知, 2 个回归点实生苗的 Chl *a*、Chl *b*、Chl (*a* + *b*)、Car 含量均显著 ($P < 0.05$) 低于对应点的扦插苗; 打狗坪点实生苗的 Chl (*a* + *b*)/Car 值高

于扦插苗, 而那湾坪点则低于扦插苗; 2 个回归点不同苗木类型间的 Chl *a*/*b* 值无显著差异 ($P > 0.05$)。打狗坪点实生苗和扦插苗 Chl *a*、Chl *b* 和 Chl (*a* + *b*) 均低于那湾坪点, 但 Chl *a*/*b* 高于那湾坪点。

表 3 金花茶回归苗木叶片的光合色素含量及比例

Table 3 The content and proportion of photosynthetic pigments in leaves of reintroduction of *Camellia nitidissima* seedlings

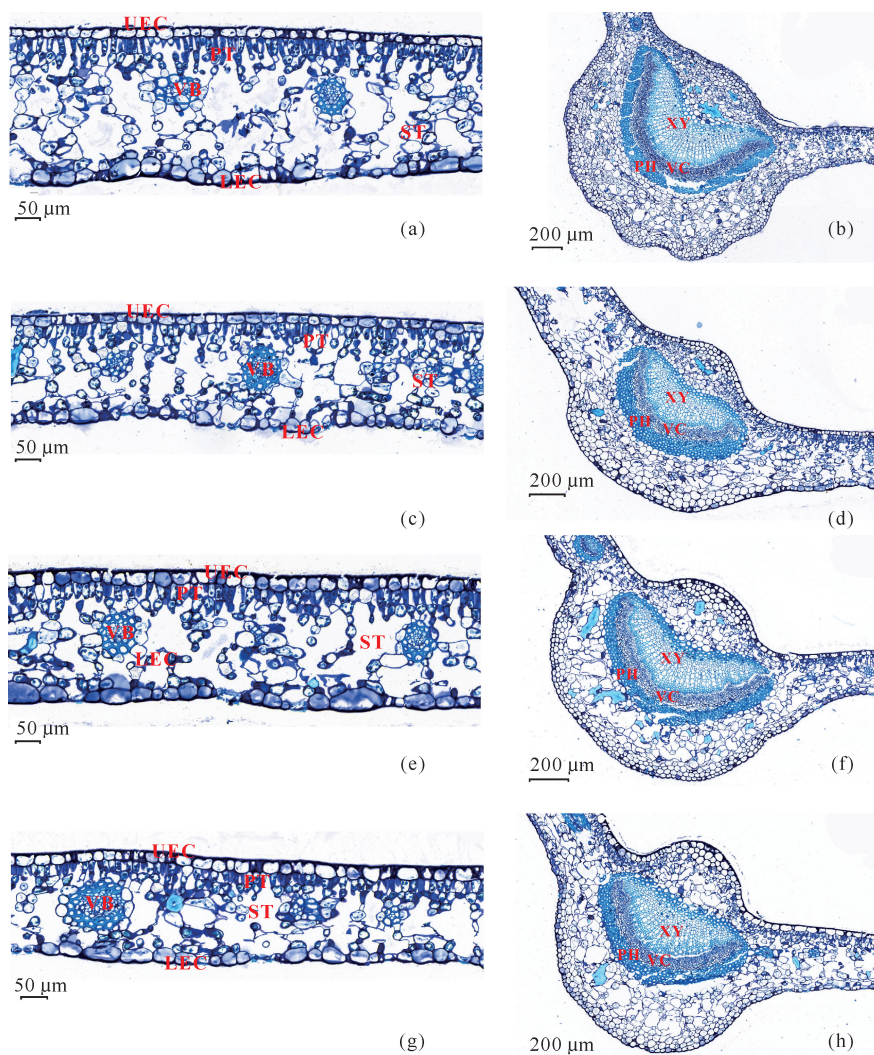
回归点 Reintroduction position	苗木类型 Seedling type	叶绿素 <i>a</i> / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 <i>b</i> / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 (<i>a</i> + <i>b</i>)/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 <i>a</i> / <i>b</i>	类胡萝卜素/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素/ 类胡萝卜素 Chl (<i>a</i> + <i>b</i>)/ Car
		Chl <i>a</i> / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Chl <i>b</i> / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Chl (<i>a</i> + <i>b</i>)/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Chl <i>a</i> / <i>b</i>	Car/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Chl (<i>a</i> + <i>b</i>)/ Car
Dagouping	Seedlings	1.230 ± 0.01d	0.564 ± 0.03d	1.794 ± 0.06c	2.180 ± 0.04a	0.212 ± 0.01c	8.442 ± 0.05a
	Cutting seedlings	1.498 ± 0.04c	0.695 ± 0.02c	2.193 ± 0.04b	2.156 ± 0.04a	0.269 ± 0.01b	8.151 ± 0.12b
Nawanping	Seedlings	1.520 ± 0.05b	0.734 ± 0.02b	2.254 ± 0.05b	2.070 ± 0.01b	0.275 ± 0.01b	8.196 ± 0.05b
	Cutting seedlings	1.690 ± 0.05a	0.808 ± 0.02a	2.498 ± 0.05a	2.093 ± 0.01b	0.293 ± 0.01a	8.526 ± 0.05a

Note: all the data in the table are mean ± standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at the 0.05 level.

2.4 金花茶回归苗木叶片显微结构特征

金花茶叶片有明显的上表面和下表面之分,上、下表面均分布有表皮细胞,上表皮下分布有栅栏组织和海绵组织,海绵组织中分布有维管束(图2)。2个

回归点实生苗木叶片厚度、海绵组织厚度和中脉导管直径均显著大于对应点的扦插苗($P < 0.05$)。打狗坪点实生苗、扦插苗叶片厚度和海绵组织厚度均大于那湾坪点,而中脉导管直径却小于那湾坪点(表4)。



(a), (b) are the transverse plane of the leaves and the transverse plane of the main vein of the leaves of Dagouping seedlings, respectively; (c), (d) are the transverse plane of the leaves and the transverse plane of the main vein of the leaves of Dagouping cutting seedlings, respectively; (e), (f) are the transverse plane of the leaves and the transverse plane of main vein of leaves of Nawanping seedlings, respectively; (g), (h) are the transverse plane of the leaves and the transverse plane of the main vein of the leaves of Nawanping cutting seedlings, respectively. UEC is the upper epidermal cell; LEC is the lower epidermal cell; PT is palisade tissue; ST is spongy tissue; XY is xylem; PH is phloem; VB is the vascular bundle; VC is the vascular cambium.

图2 金花茶回归苗木叶片横切结构

Fig. 2 Leaf cross-cutting structure of reintroduction of *Camellia nitidissima* seedlings

表 4 金花茶回归苗木叶片解剖结构

Table 4 Leaf anatomical structure of reintroduction of *Camellia nitidissima* seedlings

回归点 Reintroduction position	苗木类型 Seedling type	叶片厚度/ μm LT/ μm	上表皮 厚度/ μm UET/ μm	下表皮 厚度/ μm LET/ μm	栅栏组织 厚度/ μm PTT/ μm	海绵组织 厚度/ μm STT/ μm	栅海比 PTT/STT	中脉导管 直径/ μm VD/ μm
Dagouping	Seedlings	352.71 \pm 30.36a	24.05 \pm 3.72b	32.49 \pm 2.01a	63.08 \pm 2.01ab	233.09 \pm 21.02a	0.27 \pm 0.01b	21.63 \pm 1.11b
	Cutting seedlings	300.46 \pm 12.01b	24.66 \pm 1.47b	26.18 \pm 2.27b	61.34 \pm 3.38b	188.28 \pm 10.72b	0.33 \pm 0.03b	16.41 \pm 0.95c
Nawanping	Seedlings	273.86 \pm 18.41c	31.48 \pm 2.57a	23.84 \pm 2.01b	68.12 \pm 5.12a	146.82 \pm 11.35c	0.46 \pm 0.03a	25.75 \pm 1.05a
	Cutting seedlings	225.16 \pm 10.37d	25.33 \pm 1.59b	26.12 \pm 2.63b	53.08 \pm 2.47c	121.77 \pm 6.13d	0.44 \pm 0.03a	22.01 \pm 1.13b

Note: all the data in the table are mean \pm standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at the 0.05 level.

2.5 金花茶回归苗木的叶面积和比叶重

2个回归点金花茶实生苗的叶面积均显著大于对应点的扦插苗 ($P < 0.05$)。打狗坪点实生苗的比叶重显著大于扦插苗 ($P < 0.05$)，而那湾坪点则无显

著差异 ($P > 0.05$)。打狗坪点实生苗和扦插苗的叶面积均小于那湾坪点，而比叶重则大于那湾坪点 (表 5)。

表 5 金花茶回归苗木的叶面积和比叶重

Table 5 Leaves area and specific leaves weight of reintroduction of *Camellia nitidissima* seedlings

回归点 Reintroduction position	苗木类型 Seedling type	叶面积/ cm^2 LA/ cm^2	比叶重/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$ Specific leaf weight/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$
Dagouping	Seedlings	50.219 \pm 3.30c	111.949 \pm 5.05a
	Cutting seedlings	44.411 \pm 2.62d	90.217 \pm 2.34b
Nawanping	Seedlings	67.615 \pm 2.51a	84.429 \pm 2.25c
	Cutting seedlings	58.190 \pm 2.50b	82.520 \pm 1.56c

Note: all the data in the table are mean \pm standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at the 0.05 level.

2.6 方差分析

从表 6 可见,回归点和苗木类型分别对金花茶苗木的株高、地径、成活率、 P_{max} 、LCP、LSP、AQY、叶绿素含量、LA 和 LT 有极显著影响 ($P < 0.01$); 两者的

交互作用除了对 LCP、AQY 和 LT 这 3 个指标无显著影响 ($P > 0.05$) 外,对其余指标均有极显著影响 ($P < 0.01$)。

表 6 回归点和苗木类型对金花茶回归苗木生长、光合生理、叶绿素含量、叶片形态特征指标的方差分析

Table 6 Variance analysis of reintroduction point and seedling type on growth, photosynthetic physiology, chlorophyll content, and leaf morphology of *Camellia nitidissima* reintroduction seedlings

指标 index	回归点(A) Reintroduction point (A)		苗木类型(B) Seedling type (B)		A \times B	
	F	P	F	P	F	P
PHT	52.408	0.000	16.118	0.000	31.361	0.000
GD	190.677	0.000	31.211	0.000	6.726	0.000
SR	8 146.350	0.000	5 043.613	0.000	91.478	0.000
P_{max}	240.452	0.000	381.939	0.000	42.269	0.000
LCP	1 235.392	0.000	257.187	0.000	1.000	0.337
LSP	24.611	0.000	1 333.406	0.000	213.623	0.000
AQY	832.140	0.000	186.982	0.000	0.877	0.367
Chl a	4 520.144	0.000	3 241.803	0.000	136.488	0.000
Chl b	901.480	0.000	411.043	0.000	37.035	0.000
Chl (a + b)	1 419.076	0.000	1 035.168	0.000	34.338	0.000
LT	394.067	0.000	171.895	0.000	2.324	0.147
LA	1 392.346	0.000	340.898	0.000	18.714	0.000

Note: $P > 0.05$ means no significant difference, $P < 0.05$ means significant difference, and $P < 0.01$ means very significant difference.

3 讨论

2个回归点金花茶实生苗的株高、地径和成活率均大于对应点的扦插苗,表现出明显的生长优势,该结果与王健等^[27]对油橄榄(*Olea europaea*)的研究结果一致,这可能与实生苗有明显的主根有关,其粗壮的主根能较好地吸收土壤矿质营养和水分,生长更快,适应性更强;而扦插苗无主根,其根系为枝条韧皮部和愈伤组织长出的须根,较为细弱,其营养吸收能力和抵抗外界不利环境的能力更弱。光照是植物生存必需的环境因子,对植物的生长发育和形态结构都具有重要的意义^[28,29]。本研究发现,打狗坪点金花茶的生长量和成活率均高于那湾坪点,这可能与其回归点生境荫蔽度不同有关,打狗坪点生境荫蔽度为75%,较适宜金花茶的生长发育,而那湾坪点荫蔽度为90%,荫蔽度较强,因光照不足导致其生长较慢,这一结果与吕钦杨等^[21]对金花茶的研究结果一致。从2个回归点土壤养分来看,那湾坪点土壤有机质和水解性氮含量均高于打狗坪点,因此土壤养分可能不是影响金花茶生长的主要因素。

植物光合特性受遗传特性和环境因子的双重影响^[30]。 P_{max} 表示植物潜在最大净光合效率^[31], P_{max} 越大表明植物光合能力越强,从而能够储存更多的营养物质供植株生长;AQY反映植物对弱光的利用能力,其值越大反映弱光环境下叶片的光能转化效率越强^[32]。2个回归点实生苗的 P_{max} 和AQY均显著高于对应点的扦插苗($P < 0.05$),说明实生苗叶片的光合能力强于扦插苗,从而能够储存更多的营养物质,弱光环境下的适应能力亦强于扦插苗,这一结果与张珍贤等^[33]对密花豆(*Spatholobus suberectus*)的研究结果一致。LSP和LCP分别反映植物对强光和弱光的利用能力^[34]。2个回归点实生苗的LSP和LCP均显著高于对应点的扦插苗($P < 0.05$),其光能利用范围也大于扦插苗,说明实生苗比扦插苗具有更宽的光照适应范围。

叶绿素与光合作用密切相关,其含量和比例是植物适应和利用环境因子的重要指标^[35]。2个回归点实生苗的叶绿素含量显著低于对应点的扦插苗($P < 0.05$),这一结果与傅瑞树等^[36]对南方红豆杉(*Taxus wallichiana*)的研究结果并不一致,一方面可能与本研究点为野外回归点,受环境因子影响有关,另一方面可能与研究物种苗龄有关,相关机制有待进一步研究探讨。本研究发现,打狗坪点金花茶苗木光合色

素含量低于那湾坪点,而Chl a/b 高于那湾坪点,这可能是与那湾坪点荫蔽度较高有关,那湾坪点金花茶为适应弱光环境采取维持较高的光合色素含量与较低的Chl a/b 值的策略来维持较高的光合能力,这一结果与柴胜丰等^[19]对金花茶、苑淑媛等^[37]对红松(*Pinus koraiensis*)的研究结果一致。

叶片解剖结构的变化和植物的生长发育有着重要的联系^[28]。本研究发现,2个回归点实生苗叶片厚度和海绵组织厚度均显著大于对应点的扦插苗($P < 0.05$),且打狗坪点大于那湾坪点,这一方面可能是由于实生苗较扦插苗根系发达,吸收较多的养分可供苗木叶片生长;另一方面可能与回归点荫蔽度不同有关。那湾坪点荫蔽度比打狗坪点强,所以叶片相对较薄,较薄且排列疏松的海绵组织能够提高光的透射率,增加对光的捕获能力,弥补荫蔽度较高造成光照不足的情况;打狗坪点光照较强,叶片较厚,储水能力较强,能够满足较强的蒸腾作用,并且较厚的叶片可以降低光在叶片内的传导效率,避免强光对光合系统的破坏,这一结果与闫旭等^[29]对闽楠(*Phoebe bournei*)的研究结果一致。打狗坪点金花茶叶片中脉导管直径小于那湾坪点,这可能与那湾坪点荫蔽度较高有关,遮光促进了金花茶木质部的发育,这一结果与李冬林等^[38]对香果树(*Emmenopterys henryi*)的研究结果一致。

叶面积的大小决定了光合效率,反映了植物对其养分条件等因素的适应策略^[39]。本研究发现,2个回归点实生苗叶面积均显著大于对应点的扦插苗($P < 0.05$),这可能是由于实生苗比扦插苗具有更发达的根系,得到较多的营养物质且有利于叶片生长引起的。研究表明,光照较强的环境植物具有较高的比叶重,而在弱光环境下叶片比叶重则降低^[40]。打狗坪点植物的叶面积小于那湾坪点,而比叶重则呈相反趋势,这可能与那湾坪点荫蔽度较高有关,在弱光下增大叶面积,降低比叶重,可增强光能捕获的能力,有利于光合作用,这一结果与金雅琴等^[41]对红果榆(*Ulmus szechuanica*)的研究结果一致。

此外,金花茶实生苗属于有性繁殖,含有较多的遗传信息,但由于其资源量有限且结实率低,种子较难获得;而扦插苗属于无性繁殖,繁殖系数高,但存在种苗来源单一、遗传多样性下降的问题^[5]。为了确保金花茶苗木含有较高的遗传多样性,回归引种的金花茶宜选用实生苗。

4 结论

回归点和苗木类型对金花茶苗木的株高、地径、成活率、 P_{max} 、LSP、叶绿素含量和叶面积等有极显著影响($P < 0.01$)。回归点金花茶实生苗的生长量、成活率、光合能力和光适应范围均优于对应点的扦插苗;实生苗光合色素含量低于对应点的扦插苗;实生苗叶片厚度、海绵组织厚度、中脉导管直径和叶面积均显著大于对应点的扦插苗($P < 0.05$)。在开展金花茶野外回归引种中宜优先采用实生苗种植,此外回归点光照条件可能是影响金花茶生长的重要因素,应选择具有中等遮阴环境的野外生境进行回归。

参考文献

- [1] 傅立国. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物 第一册[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 韦霄, 蒋水元, 蒋运生, 等. 珍稀濒危植物金花茶研究进展[J]. 福建林业科技, 2006, 33(3): 169-174.
- [3] 苏宗明, 莫新礼. 我国金花茶组植物的地理分布[J]. 广西植物, 1988, 8(1): 75-81.
- [4] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生植物名录[EB/OL]. (2021-09-08)[2023-07-18]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/lczc/10746.jhtml>.
- [5] 韦霄, 柴胜丰, 陈宗游, 等. 珍稀濒危植物金花茶保育生物学研究[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2015: 133.
- [6] VOLIS S. How to conserve threatened Chinese plant species with extremely small populations? [J]. Plant Diversity, 2016, 38(1): 45-52.
- [7] IUCN. Guidelines for re-introductions [M]. Oxford: Information Press, 1998.
- [8] 马凡强, 郭泉水, 秦爱丽, 等. 濒危植物崖柏回归苗木存活和生长与环境因子的关联性[J]. 林业科学, 2021, 57(11): 1-12.
- [9] 周翔, 高江云. 珍稀濒危植物的回归: 理论和实践[J]. 生物多样性, 2011, 19(1): 97-105.
- [10] 任海, 简曙光, 刘红晓, 等. 珍稀濒危植物的野外回归研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(3): 230-237.
- [11] 李景秀, 崔卫华, 胡泉剑, 等. 濒危植物古林箐秋海棠的扦插繁殖及回归引种初探[J]. 广西植物, 2018, 38(7): 851-858.
- [12] 徐超, 龙婷, 吴鑫磊, 等. 东北红豆杉种群的回归成效及影响因素[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(8): 34-42.
- [13] CHAI S F, TANG J M, MALLIK A, et al. Eco-physiological basis of shade adaptation of *Camellia nitidissima*, a rare and endangered forest understory plant of Southeast Asia [J]. BMC Ecology, 2018, 18(1): 5.
- [14] KIM D H, SON S W, JUNG J Y, et al. Photosynthetic characteristics and chlorophyll content of *Cypripedium japonicum* in its natural habitat [J]. Forest Science and Technology, 2022, 18(4): 160-171.
- [15] MA X H, ZHOU Q, HU Q D, et al. Effects of different irradiance conditions on photosynthetic activity, photosystem II, rubisco enzyme activity, chloroplast ultrastructure, and chloroplast-related gene expression in *Clematis tientsiensis* leaves [J]. Horticulturae, 2023, 9(1): 118.
- [16] 李艳丽, 熊欢, 彭小博, 等. 锥栗嫁接苗与实生苗叶片解剖特征及光合特性比较[J]. 西南农业学报, 2019, 32(4): 792-797.
- [17] REN H, YI H L, ZHANG Q M, et al. Morphological, anatomical and physiological traits of *Euryodendron excelsum* as affected by conservation translocation (augmentation vs. conservation introduction) in South China [J]. Photosynthetica, 2019, 57(1): 217-225.
- [18] CHANG Y L, FAN Y X, LI Z K, et al. Relationship between photosynthetic characteristics, anatomical structure, and physiological indexes of two halophytes in different habitats [J]. Forests, 2022, 13(12): 2189.
- [19] 柴胜丰, 韦霄, 史艳财, 等. 强光胁迫对濒危植物金花茶幼苗生长和叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物研究, 2012, 32(2): 159-164.
- [20] 曾祥艳, 王坤, 韦晓娟, 等. 不同光强对金花茶光合生理特性的影响[J]. 广西林业科学, 2021, 50(2): 132-137.
- [21] 吕钦杨, 韦献东, 陈鑫, 等. 八角林不同郁闭度对金花茶和山茶生长及光合特性的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(6): 1138-1144.
- [22] 杨泉光, 吴儒华, 潘子平, 等. 金花茶回归试种[J]. 亚热带植物科学, 2016, 45(4): 357-361.
- [23] 杨泉光, 吴儒华, 潘子平, 等. 金花茶回归地植物群落调查研究[J]. 广西科学院学报, 2017, 33(3): 209-217.
- [24] 叶子飘, 李进省. 光合作用对光响应的直角双曲线修正模型和非直角双曲线模型的对比研究[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 38-44.
- [25] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [26] 李正理. 植物制片技术 [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1987: 170.
- [27] 王健, 陆斌, 赵敏, 等. 油橄榄实生苗与扦插苗生长特性比较[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 144-148, 154.
- [28] 聂小英, 朱春晓, 郑东升, 等. 遮光处理对草珊瑚光合特性及叶片解剖结构的影响[J]. 西北植物学报, 2021, 41(6): 995-1002.
- [29] 闫旭, 张心艺, 李阳宁, 等. 复层林对闽楠幼树生长、叶

- 片形态和光合特性的影响[J]. 植物科学学报, 2022, 40(4):553-564.
- [30] 孙善文, 章永江, 曹坤芳. 热带季雨林不同小生境大戟科植物幼树的叶片结构、耐旱性和光合能力之间的相关性[J]. 植物生态学报, 2014, 38(4):311-324.
- [31] LI Y Q, HU T X, DUAN X Y, et al. Effects of decomposing leaf litter of *Eucalyptus grandis* on the growth and photosynthetic characteristics of *Lolium perenne* [J]. Journal of Agricultural Science, 2013, 5(3):123-131.
- [32] 韩刚, 赵忠. 不同土壤水分下4种沙生灌木的光合光响应特性[J]. 生态学报, 2010, 30(15):4019-4026.
- [33] 张珍贤, 赵毅, 张鹏, 等. 密花豆扦插苗与种子苗的生长及光合特性研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2022, 42(2):195-199.
- [34] 尚三娟, 王义婧, 王楠, 等. 光照强度对紫斑牡丹生理及生长特性的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9):2963-2973.
- [35] 招礼军, 权佳惠, 朱栗琼, 等. 不同生境下濒危植物膝柄木幼树的生态适应性[J]. 广西植物, 2022, 42(3):501-509.
- [36] 傅瑞树, 黄琦, 刘爱琴, 等. 南方红豆杉扦插繁殖技术研究: VII. 扦插苗与实生苗光合生理特性比较[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2):62-63.
- [37] 苑淑媛, 张鹏, 沈海龙. 天然更新红松苗针叶光和解剖特性对不同郁闭环境的响应[J]. 应用生态学报, 2023, 34(9):2314-2320.
- [38] 李冬林, 王火, 江浩, 等. 遮光对香果树幼苗光合特性及叶片解剖结构的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(24):9089-9100.
- [39] 张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6):844-852.
- [40] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立, 等. 四种热带雨林树种幼苗比叶重, 光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应[J]. 生态学报, 2002, 22(6):901-910.
- [41] 金雅琴, 李冬林. 遮光对红果楠幼苗光合作用及叶片解剖结构的影响[J]. 西北植物学报, 2023, 43(6):1006-1016.

Growth, Photosynthetic Characteristics and Leaf Morphological Characteristics of *Camellia nitidissima* Reintroduction Plants

JIANG Haidu¹, CHAI Shengfeng^{1* * *}, XIONG Zhongchen¹, ZOU Rong¹, YANG Quanguang², DENG Lili¹, TANG Jianmin¹, WEI Xiao¹

(1. Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Phytochemicals and Sustainable Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Fangcheng Golden Camellia Nature Reserve Management Office, Fangchenggang, Guangxi, 538021, China)

Abstract: *Camellia nitidissima* is a national second-level key protected wild plant with important ornamental, medicinal, and scientific value. However, its wild germplasms have been severely damaged at risk of extinction. Therefore, reintroducing of *C. nitidissima* can effectively protect this species. To investigate the differences in growth and photosynthetic physiological characteristics of *C. nitidissima* seedlings and cutting seedlings after reintroduction to their original habitat for nearly seven years, we measured their growth status, survival rate, photosynthetic characteristics and leaf morphological. The results showed that the growth and survival rate of the seedlings were higher than that of the cutting seedlings. The seedlings exhibited significantly higher values for maximum net photosynthetic rate (P_{max}), Light Saturation Point (LSP) and Apparent Quantum Efficiency (AQY) compared to the cutting seedlings ($P < 0.05$). Additionally, the seedlings had a wider range of light energy utilization than the cutting seedlings. The chlorophyll *a* (Chl *a*), chlorophyll *b* (Chl *b*), and carotenoid (Car) contents of seedlings were significantly lower than those of cutting seedlings ($P < 0.05$), while the leaf thickness, spongy tissue thickness, mid vein catheter diameter and leaf ar-

ea were significantly higher than those of cutting seedlings ($P < 0.05$). The results of two-factor ANOVA showed that reintroduction point and seedling type had significant effects on plant height, ground diameter, survival rate, P_{max} , LSP, chlorophyll content and leaf area of *C. nitidissima*, respectively ($P < 0.01$). It is advisable to prioritize the planting of live seedlings and to select field habitats with medium shade for the re-
gression of *C. nitidissima*.

Key words: *Camellia nitidissima*; reintroduction; seedlings; cutting seedlings; photosynthetic physiological characteristics; leaf anatomical structure

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxk@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>