

橡胶林下不同种植年限红豆蔻雨季、旱季光合生理特性响应研究

陈明惠^{1,2,3}, 原慧芳^{1,2,3}, 李金威^{1,2,3}, 阮彦伟^{1,2,3}, 龚燕雄^{1,2,3}, 王何玮⁴, 岩香甩^{1,2,3*}

1. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100; 2. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100;
3. 西双版纳橡胶林生态系统云南省野外科学观测站, 云南景洪 666100; 4. 西双版纳州强制隔离戒毒所, 云南景洪 666100

摘要: 为了解红豆蔻在雨季和旱季的光合生理特性, 探究其生长适应性和生长习性, 为橡胶林下推广种植提供理论依据, 本研究选择橡胶林下间作年限分别为 1 a (1 年) 和 5 a (5 年) 的红豆蔻植株作为试验对象, 在雨季和旱季条件下分别对其进行光合特性、叶绿素荧光、叶绿素含量和叶片结构解剖参数的测定。研究结果表明: (1) 种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻植株的光合参数之间差异显著。种植年限 1 a 的净光合速率 (P_n) 和蒸腾速率 (T_r) 均高于 5 a, 且雨季的 T_r 均高于旱季, 表明红豆蔻具有耐旱性, 说明其在幼苗期间生长速度更快, 具备更强的光合能力。(2) 种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻植株的光响应曲线参数之间差异显著。种植年限 1 a 和 5 a 的光饱和点 (LSP) 和光补偿点 (LCP) 值介于阳生植物和阴生植物之间, 表明红豆蔻为耐荫植物; 旱季的 LSP、表观量子效率 (AQE) 均高于雨季, 而 LCP 则低于雨季, 进一步说明红豆蔻具有耐旱性; (3) 旱季的最大光化学效率 (F_v/F_m) 略高于雨季, 说明在旱季条件下红豆蔻具有更强的光合能力。(4) 种植年限 1 a 和 5 a 的叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b)、叶绿素总量 (Chl a+b) 和叶绿素 a/b (Chl a/b) 旱季均高于雨季, 说明旱季更有利于红豆蔻的生长。(5) 种植年限 5 a 的叶片上表皮厚度、栅海比均高于 1 a, 说明红豆蔻能够适应橡胶林下的荫蔽环境和干旱环境; 种植年限 1 a 和 5 a 的叶片海绵组织厚度均高于栅栏组织, 表明红豆蔻是耐荫植物。综上可知, 红豆蔻是耐荫植物, 具有较强的耐荫性和耐旱性, 对弱光利用能力较强, 说明旱季条件和适当遮荫更有利于红豆蔻生长, 因此橡胶林下遮荫度 40%~80% 的遮荫条件能够为红豆蔻提供良好的生长环境。

关键词: 红豆蔻; 光合生理特性; 光响应曲线参数; 叶绿素荧光参数; 叶绿素; 叶片解剖结构

中图分类号: S567.23

文献标志码: A

Photosynthetic Physiological Responses of *Alpinia galanga* with Different Planting Years under Rubber Plantations During Rainy and Dry Seasons

CHEN Minghui^{1,2,3}, YUAN Huifang^{1,2,3}, LI Jinwei^{1,2,3}, RUAN Yanwei^{1,2,3}, GONG Yanxiong^{1,2,3}, WANG Hewei⁴, YAN Xiangshuai^{1,2,3*}

1. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong, Yunnan 666100, China; 2. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Re-search on Rubber Tree, Jinghong, Yunnan 666100, China; 3. Xishuangbanna Rubber Forest Ecosystem Field Scientific Observation Station of Yunnan Province, Jinghong, Yunnan 666100, China; 4. Xishuangbanna Compulsory Isolation Drug Rehabilitation Center, Jinghong, Yunnan 666100, China

Abstract: 1-year-old and 5-year-old *Alpinia galanga* intercropped under rubber forests was used to understand the photosynthetic physiological characteristics of *Alpinia galanga* in rainy and dry season, explore its growth adaptability and

收稿日期 2025-05-14; 接受日期 2025-07-10

基金项目 云南省热带作物科学研究所青年人才成长基金项目 (No. QNCZ2025-4); 云南省热带作物科技创新体系建设专项 (No. RF2025-4)。

作者简介 陈明惠 (1997—), 女, 学士, 研究方向: 热带作物生理生态。*通信作者 (Corresponding author): 岩香甩 (YAN Xiangshuai), E-mail: yxsh198411@126.com。

growth habits, and provide a theoretical basis for its popularization under rubber forests. There were significant differences in photosynthetic parameters between 1-year-old and 5-year-old plants. The net photosynthetic rate (P_n) and transpiration rate (T_r) of 1-year-old plants were higher than those of 5-year-old ones, and T_r was higher in rainy season than in dry season, indicating drought tolerance and stronger photosynthetic capacity in seedlings. There existed differences in light response curve parameters. Light saturation point (LSP) and light compensation point (LCP) of both age groups were between those of heliophytes and sciophytes, confirming shade tolerance. LSP and apparent quantum efficiency (AQE) were higher, while LCP was lower in the dry season, further indicating drought tolerance. The maximum photochemical efficiency (F_v/F_m) was slightly higher in the dry season, suggesting stronger photosynthetic capacity. Contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and Chl a/b ratio were higher in the dry season, indicating more favorable growth conditions. The 5-year-old plants had thicker upper epidermis and higher palisade-spongy ratio, adapting to shade and drought under rubber forests. The spongy tissue thickness exceeded that of palisade tissue in both age groups, confirming shade tolerance. In conclusion, *Alpinia galanga* is shade/drought-tolerant with high weak-light utilization. This indicates that dry season conditions and appropriate shading (shading degree of 40%–80%) are more conducive to the growth of *Alpinia galanga*.

Keywords: *Alpinia galanga*; photosynthetic physiological characteristics; parameters of light response curve; chlorophyll fluorescence parameters; chlorophyll; leaf anatomical structure

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.11.010

红豆蔻 (*Alpinia galanga*) 是姜科山姜属多年生草本植物^[1], 广泛分布于亚洲热带地区, 在我国主要分布于台湾、广东、广西和云南等省(区); 生长于海拔 100~1300 m 的山野沟谷、荫湿林下、灌木丛和草丛中。果实具有祛湿、散寒、醒脾、消食的功效, 可用于治疗脘腹冷痛、呕吐泄泻、食积胀满、饮酒过多等症状^[2-3]。现代药理研究表明, 红豆蔻有保护胃黏膜、抗肿瘤、降血糖、抗病原微生物等方面的作用^[4-5]。根茎也称为大高良姜, 味辛, 性热, 能散寒、暖胃、止痛, 用于胃脘冷痛, 脾寒吐泻。另外, 红豆蔻果实和根茎亦常被用作调味料、辛香料等。由此可见, 红豆蔻在药用和食用等方面具有较大的发展前景。目前, 红豆蔻基本处于半野生状态下, 还未形成规模化人工引种栽培, 国内外的研究报道也主要集中在其化学成分分析、挥发油提取分析、药理作用探究等方面, 在引种栽培技术、光合生理生态、抗胁迫技术、育苗技术等方面研究甚少。

橡胶林下经济种植是以橡胶林地的生态环境为依托^[6], 利用橡胶林下空余的土地资源、遮荫优势和光热资源, 以发展林下种植复合产业为手段的一种资源共享、优势互补、循环相生、协调发展的经济产业模式。近年来, 我国橡胶林下种植药用植物已小有成效, 如在海南的白沙、琼中等市县地区种植益智、砂仁、巴戟天、灵芝草、地胆草等^[7-10], 已实现“胶-药”模式。西双版纳是野生红豆蔻的原生分布地之一, 且其拥有近 33.33 万 hm^2 的橡胶林地。因此, 探索在橡胶林下

种植药食同源植物红豆蔻是西双版纳发展林下经济的一大创新: 一方面, 不仅能形成生态位互补, 提高橡胶人工林的生态效益, 还能提高橡胶林单位面积的经济收益, 增强胶农、胶工管护胶园的积极性, 加快天然橡胶产业转型升级; 另一方面, 能有效提高橡胶林的土地利用率, 加快红豆蔻产业的形成与发展, 培育成具有地方特色的林下经济产业。

光合参数和叶绿素荧光参数是衡量植物光合作用能力和环境适应能力的重要指标^[11-12], 不仅能反映植物的生长健康状况, 还能反映植物对环境的适应能力和受胁迫的程度。植物会通过一系列复杂而协同的生理、生化和形态调整来应对自然环境中的水分、光强等季节性变化, 如王碧霞等^[13]研究发现, 旱季油橄榄的叶绿素含量、光响应参数等均高于雨季; 凡莉莉等^[14]研究发现, 淡竹在冬季旱季出现高光合、低蒸腾适应特征等。此外, 橡胶林下的间作系统随着橡胶树的树龄和树冠体积的增大, 遮荫造成的弱光胁迫成为影响间作作物生长发育的重要因素^[15-17], 赵琳^[18]研究发现, 在金沙江河谷旱季的浇水和遮荫都能有效增加车桑子的光合速率、蒸腾速率等, 同时遮荫处理能缓解干旱胁迫。目前关于橡胶林下红豆蔻的光合特性差异和不同季节红豆蔻光合特性变化的综合分析研究相对匮乏, 基于此, 本研究通过对种植于橡胶林下 1 a 和 5 a 的红豆蔻开展雨季和旱季叶片光合特性、叶绿素荧光、叶绿素含量和叶片结构解剖参数的测定, 了解红豆蔻的光合生理特性, 比较红豆蔻在橡胶林下对光环境适应能

力的差异, 以期为后续在橡胶林下推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验选择在云南省热带作物科学研究所 2016 年定植的橡胶林下进行, 试验地位于云南省西双版纳傣族自治州云南省热带作物科学研究所试验基地 (22°12'N, 100°46'E), 海拔约 590 m, 属于热带西南季风气候, 一年中有明显的旱季 (11 月至次年 4 月) 和雨季 (5—10 月), 年平均气温 18.6~21.9 °C, 年平均降水量为 1200~1700 mm, 年平均日照时数为 1800~2300 h, 相对湿度为 80%~86%, ≥ 10 °C 的年平均积温为 5062~8000 °C。种植试验地为未开割橡胶林 (树龄 4~6 a), 株行距为 2.5 m×9 m, 遮荫度通常在 40%~80%。土壤基础理化性质如下: 土壤含水量 (soil moisture content, SMC) 为 21.60%, 土壤容重 (soil bulk density, SBD) 为 1.23 g/cm³, 土壤孔隙度 (soil total porosity, STP) 为 43.99%, 土壤电导率 (soil electric conductivity, SEC) 为 35.23 μ S/cm, pH 4.95, 有机质 (organic matter, OM) 含量为 25.10 g/kg, 碱解氮 (alkali-hydrolyzable nitrogen, AN) 含量为 102.74 mg/kg, 有效磷 (available phosphorus, AP) 含量为 26.45 mg/kg, 速效钾 (available kalium, AK) 含量为 170.58 mg/kg。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验以种植年限分别为 1 a 和 5 a 的红豆蔻为供试材料, 分别在雨季 (5、7、9 月) 和旱季 (11 月、次年 1、3 月) 进行各指标测定。每处理小区选取长势相对一致的植株 5 株, 对稳定叶片进行挂牌标记用于测定, 每片叶读取数据 3 次, 取平均值。试验过程中统一进行水肥管理, 病虫害防治。

1.2.2 指标测定 (1) 最大光合速率测定。分别在雨季和旱季选择无雨的晴朗天气, 利用 LI-6400 便携式光合作用系统 (LI-COR, USA) 对植株稳定叶片进行以下标记测定: 净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r) 和胞间 CO₂ 浓度 (C_i)。测定时使用开放气路, 空气流速为 500 μ mol/s, 两季叶温分别为 28 °C、25 °C, 相对湿度分别为 70%、80%, CO₂ 浓度设定在 400 μ mol/mol, 光强为 800 μ mol/(m²·s), 每处理选择植株 3 株, 3~5 次重复。

(2) 光响应曲线测定。利用 LED 红蓝光源设定的光强梯度为 2000、1800、1600、1400、1200、1000、800、600、400、300、200、150、100、50、0 μ mol/(m²·s), 测定时每一光强下停留 3 min。根据叶子飘等^[19]的光响应新模型方法进行拟合, 计算最大净光合速率 (P_{max})、光饱和点 (LSP)、光补偿点 (LCP)、表观量子效率 (AQE) 和暗呼吸速率 (R_d)。

(3) 叶绿素荧光参数测定。采用 PAM-2500 型便携式荧光仪 (WALZ, DEU) 对以上标记的健康叶片进行光合电子传递速率 (ETR) 测定。每次测定前首先将叶片暗适应 20 min 后, 饱和脉冲光强为 196 μ mol/(m²·s)。所测定参数指标包括: PSII 最大光化学效率 (F_v/F_m)、有效光能转化率 [Y(II)]、光化学淬灭参数 (qL)、PSII 电子传递速率 (ETR)、非光化学淬灭参数 (NPQ)。以上各指标测定时间均为晴天上午 8:30—12:00。

(4) 叶绿素含量测定。按 1.2.1 中雨季和旱季时间, 取标记受光方向一致的同一叶位叶片, 每处理取 5 片并均匀剪碎, 然后称取 0.1 g 鲜叶浸入盛有 10 mL 提取液 (95%乙醇) 的离心管中萃取, 密封避光低温浸提 24 h 后, 测定并计算叶绿素 a (chlorophyll-a, Chl a)、叶绿素 b (chlorophyll-b, Chl b)、总叶绿素 (total chlorophyll, Chl a+b) 和叶绿素 a/b (chlorophyll a/b, Chl a/b)。用紫外分光光度计 (UV2500, 岛津) 检测波长在 663、645 nm 处的吸光度值。通过吸光度值计算出叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素 a+b 值和叶绿素 a/b 值。公式为: 叶绿素 a=(12.7A₆₆₃-2.69A₆₄₅)×0.05; 叶绿素 b=(22.9A₆₄₅-4.68A₆₆₃)×0.05。

(5) 叶片解剖指标测定。采用石蜡切片法制作切片, 按照 SOP 程序进行修剪、脱水、包埋、切片、染色、封片, 最后镜检合格的样片。使用 Eclipse Ci-L 拍照显微镜选取组织的目的区域进行 200 倍成像, 成像时尽量让组织充满整个视野, 保证每张照片的背景光一致。成像完成后使用 Image-Pro Plus 6.0 分析软件统一以毫米作为标准单位, 分别测量每张切片叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、表皮细胞的厚度、角质层厚度, 最后通过记录的数据测量栅海比。公式为: 栅海比=栅栏组织厚度/海绵组织厚度。

1.3 数据处理

使用 Microsoft Excel 2022 软件对试验数据进行表格化处理并作图, 使用 IBM SPSS 19.0 软件进行单双因素方差 (ANOVA) 分析不同处理

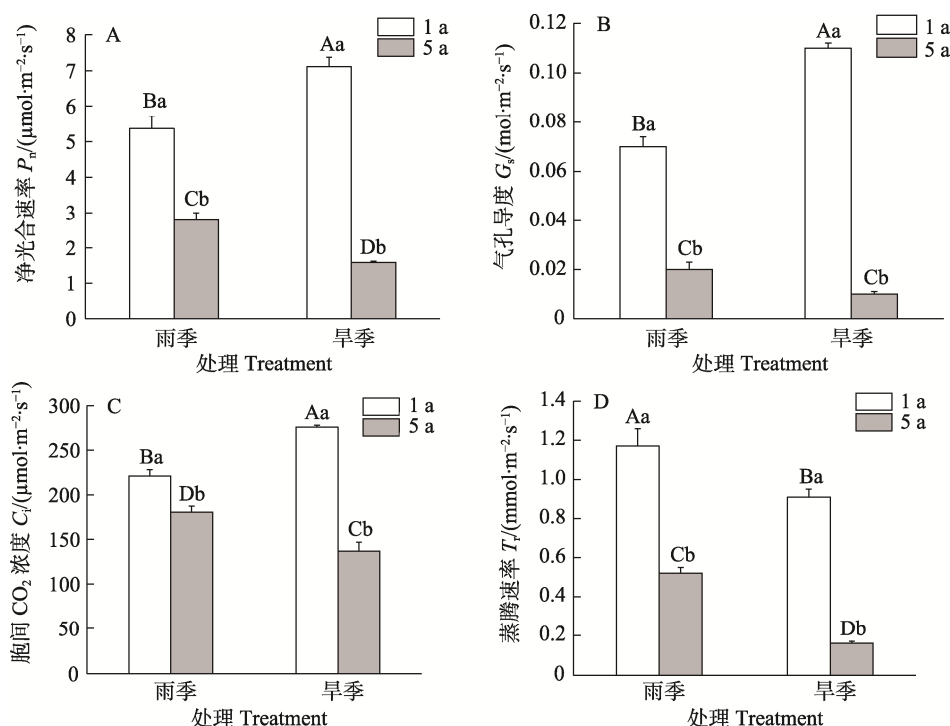
的各项参数,以 Duncan's 法进行方差多重比较 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻光合参数变化

由图 1 可知,雨季、旱季种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻光合参数之间差异显著。从不同种植年

限看,雨季和旱季条件下,种植年限 1 a 红豆蔻的 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 光合参数均显著高于 5 a,说明红豆蔻种植年限 1 a 的光合能力强于 5 a。从不同季节条件看,种植年限 1 a 的 P_n 、 G_s 、 C_i 旱季显著高于雨季,而 T_r 则显著低于雨季;种植年限 5 a 的 P_n 、 C_i 、 T_r 旱季均显著低于雨季,而 G_s 旱季和雨季之间差异不显著,说明红豆蔻在旱季条件下的光合能力更强。



不同大写字母表示不同季节各处理间差异显著 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示同一季节不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Different capital letters indicate significant difference among treatments in different seasons ($P < 0.05$); different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same season ($P < 0.05$).

图 1 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻光合参数变化

Fig. 1 Changes in photosynthetic parameters of *A. galanga* (one-year-old and five-year-old) in rainy and dry seasons

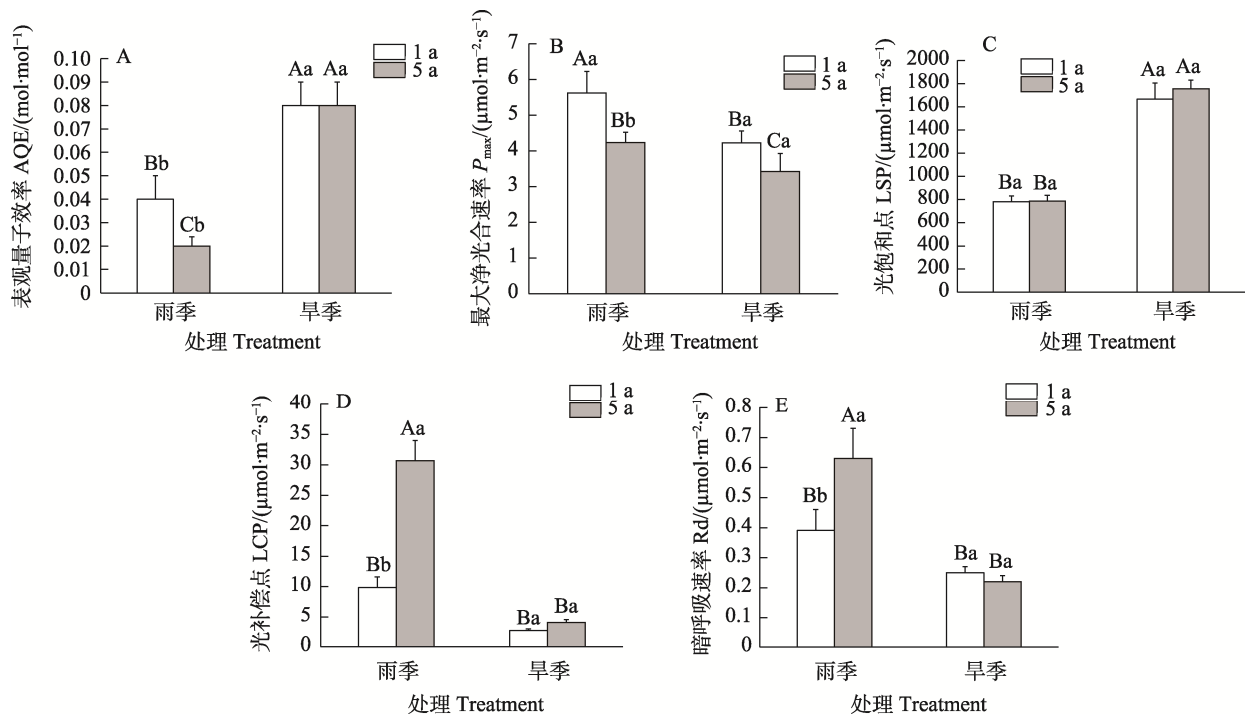
2.2 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻光响应曲线变化

由图 2 可知,雨季、旱季种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻的光响应曲线参数之间差异显著。从不同种植年限看,雨季条件下,种植年限 1 a 的 AQE、 P_{max} 参数均显著高于 5 a, LCP、Rd 参数则均显著低于 5 a,而种植年限 1 a 与 5 a 的 LSP 参数之间差异不显著;旱季条件下,种植年限 1 a 与 5 a 的 AQE、 P_{max} 、LSP、LCP、Rd 参数之间均差异不显著。从不同季节条件看,种植年限 1 a 的 AQE、LSP 参数旱季均显著高于雨季,而 P_{max} 、LCP、Rd 参数旱季和雨季之间差异不显著;种植年限 5 a 的 AQE、LSP 参数旱季均显著高于雨季,而 P_{max} 、

LCP、Rd 参数则均显著低于雨季。

2.3 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻叶绿素荧光参数变化

由表 1 可知,雨季、旱季种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻的叶绿素荧光参数之间差异显著。从不同种植年限看,雨季条件下,种植年限 1 a 的 F_v/F_m 、NPQ 参数显著高于 5 a,种植年限 1 a 与 5 a 的 Y(II)、qL、ETR 参数之间差异不显著;旱季条件下,种植年限 1 a 与 5 a 的 F_v/F_m 、NPQ、Y(II)、ETR、qL 参数之间差异不显著。从不同季节条件看,种植年限 1 a 的 F_v/F_m 、NPQ、Y(II)、ETR、qL 参数旱季和雨季之间差异不显著;种植年限 5 a 的 F_v/F_m 、NPQ 参数旱季显著高于雨季,而 Y(II)、



不同大写字母表示不同季节各处理间差异显著 ($P<0.05$)；不同小写字母表示同一季节不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Different capital letters indicate significant difference among treatments in different seasons($P<0.05$); different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same season ($P<0.05$).

图 2 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻光响应曲线参数变化

Fig. 2 Changes in light response curve parameters of *A. galanga* (one-year-old and five-year-old) in rainy and dry seasons

表 1 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻叶绿素荧光参数

Tab. 1 Chlorophyll fluorescence parameters of *A. galanga* (one-year-old and five-year-old) in rainy and dry seasons

季节 Season	种植年限 Planting years/a	F_v/F_m	Y(II)	NPQ	qL	ETR
雨季	1	0.79±0.01 ^{Aa}	0.51±0.02 ^{Aa}	0.845±0.118 ^{Aa}	0.507±0.037 ^{Aa}	41.62±1.74 ^{Aa}
	5	0.59±0.06 ^{Bb}	0.57±0.03 ^{Aa}	0.659±0.176 ^{Bb}	0.595±0.019 ^{Aa}	46.72±2.28 ^{Aa}
旱季	1	0.79±0.01 ^{Aa}	0.51±0.01 ^{Aa}	0.859±0.082 ^{Aa}	0.521±0.014 ^{Aa}	41.92±0.01 ^{Aa}
	5	0.79±0.01 ^{Aa}	0.50±0.03 ^{Aa}	0.932±0.134 ^{Aa}	0.532±0.040 ^{Aa}	41.37±0.04 ^{Aa}

注：同列数据后不同大写字母表示不同季节各处理组间差异显著 ($P<0.05$)；不同小写字母表示同一季节不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different capital letters after the same column of data indicate significant difference among the treatment groups in different seasons ($P<0.05$); different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same season ($P<0.05$).

qL、ETR 参数旱季和雨季之间差异不显著。

2.4 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻叶绿素含量变化

由表 2 可知，雨季、旱季种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻的叶绿素含量之间差异显著。从不同种植年限看，雨季和旱季条件下，种植年限 1 a 与 5 a 的 Chl a、Chl b、Chl a+b、Chl a/b 含量之间均差异不显著，数值非常接近，由此可见，雨季和旱季条件下不同种植年限的叶绿素含量保持稳定，无明显变化。从不同季节条件看，不同种植年限的红豆蔻的叶绿素含量之间差异显著，Chl a、Chl b、Chl a+b、Chl a/b 含量旱季均高于雨季。种

植年限 1 a 的 Chl a、Chl b、Chl a+b、Chl a/b 含量旱季分别是雨季的 1.44 倍、1.18 倍、1.08 倍、1.23 倍；种植年限 5 a 的 Chl a、Chl b、Chl a+b 和 Chl a/b 含量旱季分别是雨季的 1.43 倍、1.18 倍、1.08 倍、1.21 倍。

2.5 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻叶片解剖分析

由表 3 可知，雨季、旱季种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻的叶片解剖参数之间差异显著。种植年限 1 a 的海绵组织厚度、上表皮厚度、叶片厚度均显著高于 5 a，而叶片栅栏比则显著低于 5 a；种植年限 1 a 与 5 a 的栅栏组织厚度、下表皮厚度、

表 2 雨季、旱季不同种植年限红豆蔻叶绿素含量
Tab. 2 Chlorophyll content of *A. galanga* (one-year-old and five-year-old) in rainy and dry seasons

季节 Season	种植年限 Planting years/a	Chl a/(mg·g ⁻¹)	Chl b/(mg·g ⁻¹)	Chl a+b/(mg·g ⁻¹)	Chl a/b
雨季	1	2.31±0.03 ^{Ba}	1.57±0.20 ^{Ba}	3.88±0.23 ^{Ba}	1.47±0.21 ^{Ba}
	5	2.36±0.03 ^{Ba}	1.57±0.19 ^{Ba}	3.93±0.16 ^{Ba}	1.51±0.19 ^{Ba}
旱季	1	3.34±0.02 ^{Aa}	1.85±0.08 ^{Aa}	4.19±0.09 ^{Aa}	1.81±0.03 ^{Aa}
	5	3.38±0.01 ^{Aa}	1.86±0.07 ^{Aa}	4.24±0.08 ^{Aa}	1.82±0.03 ^{Aa}

注：同列数据后不同大写字母表示不同季节各处理组间差异显著 ($P<0.05$)；不同小写字母表示同一季节不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different capital letters after the same column of data indicate significant difference among the treatment groups in different seasons ($P<0.05$); different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same season ($P<0.05$).

表 3 不同种植年限红豆蔻的叶片解剖分析
Tab. 3 Leaf anatomical analysis of one-year-old and five-year-old *Alpinia galangal*

种植年限 Planting years/a	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness/mm	海绵组织厚度 Spongy tissue thickness/mm	上表皮厚度 Upper epidermal thickness/mm	下表皮厚度 Lower epidermal thickness/mm	角质层厚度 Cuticle thickness/mm	叶片厚度 Leaf thickness/mm	栅海比 Palisade-to-spongy ratio
1	0.03±0.003 ^a	0.087±0.004 ^a	0.031±0.001 ^a	0.019±0.001 ^a	0.004±0.000 ^a	0.184±0.005 ^a	0.367±0.029 ^a
5	0.001±0.000 ^a	0.072±0.004 ^b	0.021±0.001 ^b	0.019±0.001 ^a	0.005±0.000 ^a	0.166±0.005 ^b	0.444±0.029 ^b

注：不同小写字母表示不同种植年限间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between different planting years ($P<0.05$).

角质层厚度之间均差异不显著。

3 讨论

光合参数可以反映植物本身的光合能力和环境适应能力强弱^[20-22]。雨季和旱季不同季节条件下，种植年限 1 a 的 T_r 均高于 5 a，且雨季的 T_r 均高于旱季。由此可知，旱季条件下，红豆蔻通过减小气孔开口度来降低蒸腾速率、减少水分散失，以维持正常生理活动；种植年限 1 a 的 P_n 均明显高于 5 a，表明种植年限 1 a 相较于 5 a 生长速度更快，说明种植年限 1 a 的红豆蔻的光合能力更强。适宜的水分是植物生长发育的必备条件，雨水过多或持续干旱均会抑制植物的正常生长，造成植物叶绿素含量降低， P_n 光合指标下降。与雨季相比，旱季种植年限 1 a 的红豆蔻的 P_n 、 G_s 、 C_i 值更高，这是因为随着旱季温度逐渐升高，光强增大，光能利用率会随之增加，内外气体交换加快， C_i 增加，因而 P_n 升高，这也进一步说明旱季条件更适宜红豆蔻的光合作用，更有利于红豆蔻的生长发育。

植物叶片的 LSP 和 LCP 是判断植物耐荫性的重要指标。一般情况下，如果 LSP 低于 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，LCP 低于 15 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，可判断为阴生植物；而 LSP 高于 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，LCP 高于

20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，则判断为阳生植物^[23-25]。本研究中，雨季、旱季种植年限 1 a 和 5 a 的红豆蔻的 LSP 变幅为 782.29~1756.43 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，LCP 变幅为 2.77~30.69 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，介于阳生植物和阴生植物之间，表明红豆蔻为耐荫植物，具备较强的光适应能力。因此，红豆蔻对光照要求不高，环境适应能力极强，满足橡胶林下具备的遮荫度。不同季节条件比较，LSP 旱季高于雨季，而 LCP 则旱季低于雨季，说明红豆蔻具有耐旱性。此外，AQE 越高，表明耐荫性越好。旱季的 AQE 高于雨季，进一步说明红豆蔻具有耐旱性。叶绿素荧光参数可以反映环境对植物光合生理作用的影响^[26-27]。本研究中，旱季的 F_v/F_m 略高于雨季，说明在旱季条件下红豆蔻具有更强的光合能力。

叶绿素能够在一定程度上反映光合速率强弱^[28-31]。Chl a/b 含量降低，植物会通过提升叶片中的 Chl b 含量，捕获更多的光能来弥补环境中光照强度的不足，是植物对弱光环境的适应^[32-35]。本研究中，雨季和旱季条件下，旱季的 Chl a、Chl b、Chl a+b、Chl a/b 含量均高于雨季，与不同品种油橄榄的叶绿素含量在旱季升高的结论一致^[13]，说明红豆蔻可能在持续长期的雨季中加速分解叶绿素，而旱季更适宜的温度和光照促进了红豆蔻叶绿素的合成。

众多研究表明^[36-41], 弱光环境通常会使植物叶片和表皮细胞变厚, 干旱环境会使植物栅海比升高。本研究中, 种植年限 5 a 的叶片上表皮厚度、栅海比均高于 1 a, 说明红豆蔻通过改变自身形态结构来适应橡胶林下的荫蔽环境和干旱环境, 使自身生长状态趋于最优, 能有效利用橡胶林环境资源, 也进一步表明红豆蔻具有较强的环境适应能力。另有研究结果表明, 耐荫植物的海绵组织比栅栏组织更加发达^[42-44], 使叶片更能锁住光能。本研究中, 种植年限 1 a 和 5 a 的叶片海绵组织厚度均高于栅栏组织, 表明红豆蔻是耐荫植物。

综上所述, 红豆蔻是耐荫植物, 具有较强的耐荫性和耐旱性, 对弱光利用能力较强, 说明适当遮荫更有利于红豆蔻的生长。因此, 橡胶林下的遮荫条件能为红豆蔻提供良好的生长环境。幼龄橡胶林(树龄 1~3 a), 林下光照充足, 遮荫度通常<30%; 未开割橡胶林(树龄 4~6 a), 遮荫度快速增加, 从 30%~40%增加到 60%~80%; 开割初期橡胶林(树龄 7~15 a), 遮荫度通常在 70%~90%之间; 老龄橡胶林(树龄 15 a 以上), 遮荫度可能从高峰期下降至 60%~80%或更低。结合本研究试验地概况和研究结果, 红豆蔻在冠层透光率 40%~80%时长势良好, 所以橡胶林下种植红豆蔻可优先选择树龄 5~8 a 的胶园, 或者可选择宽窄行橡胶林、开割橡胶林及时疏枝, 保证遮荫度。本研究结果表明, 在橡胶林下种植特色药食同源植物红豆蔻具备可行性, 为今后在橡胶林下推广种植提供一定的理论依据与技术支持。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Volume 1)[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020. (in Chinese)
- [2] 李明芳, 谢鹏, 秦华珍, 龙小琴, 罗君. 红豆蔻的化学成分和药理作用研究进展[J]. 西部中医药, 2017, 30(12): 145-148.
LI M F, XIE P, QIN H Z, LONG X Q, LUO J. Research progress of pharmacological action and chemical ingredients of fructus galangae[J]. Western Journal of Traditional Chinese Medicine, 2017, 30(12): 145-148. (in Chinese)
- [3] 刘晓爽, 赵岩, 张连学. 红豆蔻挥发油化学成分的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(36): 7967-7980.
LIU X S, ZHAO Y, ZHANG L X. Comparative study on chemical constituents of volatile oil from *Alpinia galanga* L.[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(36): 7967-7980. (in Chinese)
- [4] 杨凌霄, 韦露玲, 谢凤凤, 李明芳, 邓玲玉, 易文燕. 大高良姜、红豆蔻对胃溃疡寒证大鼠胃液、尿液的影响机制研究[J]. 壮瑶药研究, 2023(1): 161-165, 314-315.
YANG L X, WEI L L, XIE F F, LI M F, DENG L Y, YI W Y. Research on gastric juice and urine in rat model of gastric ulcer with cold syndrome of *Galangae rhizoma* and *Galangae fructus*[J]. Research of Zhuang and Yao Ethnic Medicine, 2023(1): 161-165, 314-315. (in Chinese)
- [5] 丘海冰, 苏善美, 李明芳, 谢鹏, 秦华珍, 黄燕琼, 柳俊辉. 大高良姜、红豆蔻乙酸乙酯部位对胃溃疡寒证大鼠的作用机制研究[J]. 中药材, 2018, 41(2): 464-467.
QIU H B, SU S M, LI M F, XIE P, QIN H Z, HUANG Y Q, LIU J H. Study on the mechanism of action of the ethyl acetate fraction of *Alpinia galanga* and *Alpinia galangaloides* on rats with gastric ulcer of cold syndrome type[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2018, 41(2): 464-467. (in Chinese)
- [6] 申丹艳, 高静, 邱苏晗, 刘东. 海南省天然橡胶林下经济发展现状及建议[J]. 热带农业科技, 2024, 47(1): 41-45.
SHEN D Y, GAO J, QIU S H, LIU D. Current status of economic development in rubber forests and its hints in Hainan province[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2024, 47(1): 41-45. (in Chinese)
- [7] 邢增俊, 麦志通, 陈伟玉, 姚海荣, 韦茂山, 陈运雷. 林下经济药用植物益智和海南砂仁早期生长及光合生理研究[J]. 热带林业, 2019, 47(1): 18-20.
XING Z J, MAI Z T, CHEN W Y, YAO H R, WEI M S, CHEN Y L. Early growth and photosynthetic physiology of forest economic medical plant of *Alpinia oxyphylla* and *Amomum longiligulare*[J]. Tropical Forestry, 2019, 47(1): 18-20. (in Chinese)
- [8] 吴红萍, 金映虹, 陈喜蓉. 海南发展橡胶林下经济的现状、问题与对策[J]. 热带林业, 2022, 50(1): 10-14.
WU H P, JIN Y H, CHEN X R. Present situation, problems and countermeasures of developing rubber forest economy in Hainan[J]. Tropical Forestry, 2022, 50(1): 10-14. (in Chinese)
- [9] 林运萍, 陈兵, 朱智强, 陈海云, 黄升南, 王绥通. 海南农垦发展林下经济的探索与思考[J]. 中国热带农业, 2008(6): 13-15.
LIN Y P, CHEN B, ZHU Z Q, CHEN H Y, HUANG S N, WANG S T. Exploration and reflection on the development of underforest economy in Hainan State Farms[J]. China Tropical Agriculture, 2008(6): 13-15. (in Chinese)

- [10] 汤柔馨, 马友鑫, 莫慧珠, 沙丽清, 李红梅, 刘文俊, 孙燕瓷, 梅岑岑, 马斌. 橡胶林复合种植模式的生态与经济效益评价[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(增刊 1): 121-129.
- TANG R X, MA Y X, MO H Z, SHA L Q, LI H M, LIU W J, SUN Y C, MEI C C, MA B. Benefit assessment of rubber ecosystems of various inter-cropping modes[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2016, 38(Suppl. 1): 121-129. (in Chinese)
- [11] 许玮珂, 李爽, 刘长乐, 寇佩雯, 孙晓春, 黄文静. 不同产地半夏农艺性状及光合生理特性研究[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(5): 77-89.
- XU Y K, LI S, LIU C L, KOU P W, SUN X C, HUANG W J. Study on agronomic characters and photosynthetic physiological characteristics of *Pinellia ternata* from different producing areas[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2024, 26(5): 77-89. (in Chinese)
- [12] 张婷. 6 种常春藤品种的光合生理特性比较[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 62-67.
- ZHANG T. Comparison of leaf photosynthetic and physiological characteristics of 6 *Hedera helix* cultivars[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(6): 62-67. (in Chinese)
- [13] 王碧霞, 刘露, 刘捷, 苏光灿, 丁春邦. 旱季和雨季不同油橄榄品种光合生理特性及产量的比较[J]. 生态环境学报, 2018, 27(10): 1861-1869.
- WANG B X, LIU L, LIU J, SU G C, DING C B. Effects of dry and rainy season on photosynthetic characteristics and yield of different *Olea europaea* cultivars[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(10): 1861-1869. (in Chinese)
- [14] 凡莉莉, 张洋洋, 张彬君, 荣俊冬, 陈礼光, 施成坤, 郑郁善. 沿海木麻黄套种条件下淡竹旱季光合水分生理特性[J]. 热带作物学报, 2021, 42(2): 465-472.
- FAN L L, ZHANG Y Y, ZHANG B J, RONG J D, CHEN L G, SHI C K, ZHENG Y S. Photosynthetic characteristics of *Phyllostachys glauca* McClure in dry season under interplanting in coastal *Casuarina equisetifolia*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(2): 465-472. (in Chinese)
- [15] 邓静飞, 汪秀华. 海南天然橡胶林下经济发展模式及对策研究[J]. 中国热带农业, 2013, 54(5): 28-31.
- DENG J F, WANG X H. Research on the development mode and countermeasures of the underforest economy of natural rubber in Hainan[J]. China Tropical Agriculture, 2013, 54(5): 28-31. (in Chinese)
- [16] 肖宇, 王林. 红河州橡胶林下经济发展模式及对策研究[J]. 绿色科技, 2019(21): 169-170.
- XIAO Y, WANG L. Research on economic development model and countermeasures under rubber forest in Honghe prefecture[J]. Journal of Green Science and Technology, 2019(21): 169-170. (in Chinese)
- [17] 何长辉, 莫业勇, 杨琳, 符莉. 基于农户视角的海南民营胶园林下经济调查研究[J]. 热带农业科学, 2017, 37(9): 88-93.
- HE C H, MO Y Y, YANG L, FU L. Economic survey of rubber-based farming in farmer's rubber plantations in Hainan[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2017, 37(9): 88-93. (in Chinese)
- [18] 赵琳. 云南干热河谷旱季车桑子的光合水分生理特性的研究[J]. 西部林业科学, 2006(1): 12-17.
- ZHAO L. Study on characteristics of photosynthesis and water physio-ecology of *Dodonaea viscosa* in Yunnan dry and hot valley during dry season[J]. Journal of West China Forestry Science, 2006(1): 12-17. (in Chinese)
- [19] 叶子飘, 于强. 一个光合作用光响应新模型与传统模型的比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2007(6): 771-775.
- YE Z P, YU Q. Comparison of a new model of light response of photosynthesis with traditional models[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007(6): 771-775. (in Chinese)
- [20] 平晓燕, 周广胜, 孙敬松. 植物光合产物分配及其影响因素研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 100-111.
- PING X Y, ZHOU G S, SUN J S. Advances in the study of photosynthate allocation and its controls[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 100-111. (in Chinese)
- [21] 杨倩, 杨郑, 甘小洪. 观赏植物深山含笑光合生理特性初步研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2025, 46(2): 141-146.
- YANG Q, YANG Z, GAN X H. Preliminary study on photosynthetic physiological characteristics of *Michelia maudiae* in ornamental plant[J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences), 2025, 46(2): 141-146. (in Chinese)
- [22] 耿瑜欣, 刘泽, 仲连青, 齐钦辉, 郑建伟, 于丽娜, 李佳秋, 李保会. 不同品种杜仲生长动态和光合, 叶绿素荧光参数的差异[J]. 河北农业大学学报, 2021, 44(6): 63-68.
- GENG Y X, LIU Z, ZHONG L Q, QI Q H, ZHENG J W, YU L N, LI J Q, LI B H. Differences in growth dynamics, photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of different varieties of *Eucommia ulmoides*[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2021, 44(6): 63-68. (in Chinese)
- [23] LERTNGIM N, RUANGSIRI M, KLINSA WANG S. Photosynthetic plasticity and stomata adjustment in chromosome segment substitution lines of rice cultivar KDML105 under

- drought stress[J]. *Plants*, 2022, 12(1): 94.
- [24] 王强, 金则新, 郭水良, 管铭, 王兴龙. 濒危植物长叶榧的光合生理生态特性[J]. *生态学报*, 2014, 34(22): 6460-6470.
- WANG Q, JIN Z X, GUO S L, GUAN M, WANG X L. Photosynthetic traits of the endangered plant species *Torreya jackii*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(22): 6460-6470. (in Chinese)
- [25] 孟繁静. 植物生理学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- MENG F J. *Plant physiology*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2008. (in Chinese)
- [26] WEN S Y, SHI N, LU J W, GAO Q W, HU W R, CAO Z D Y, LU J X, YANG H B, GAO Z Q. Continuous wavelet transform and back propagation neural network for condition monitoring chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m of rice leaves[J]. *Agriculture*, 2022, 12(8): 1197-1209.
- [27] 蔡齐飞, 王帅, 徐自恒, 宋雨, 刘震. 不同种源山桐子叶绿素荧光特征差异分析[J]. *河南科学*, 2021, 39(5): 715-719.
- CAI Q F, WANG S, XU Z H, SONG Y, LIU Z. Comparison of chlorophyll fluorescent characteristics of *Idesia polycarpa* Maxim. from different provenances[J]. *Henan Science*, 2021, 39(5): 715-719. (in Chinese)
- [28] 景芳, 师尚礼, 南攀, 马瑞宏, 阿芸, 陆保福, 关键, 张辉辉. 不同苜蓿品种叶片特征, 光合生理特性与产量性状的比较[J]. *草地学报*, 2024, 32(2): 369-377.
- JING F, SHI S L, NAN P, MA R H, A Y, LU B F, GUAN J, ZHANG H H. Comparison of leaf characteristics, photosynthetic physiological characteristics, and yield traits of different alfalfa varieties[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(2): 369-377. (in Chinese)
- [29] 原慧芳, 田耀华, 魏丽萍, 陈国云, 寸明. 遮光条件下不同种源土沉香幼苗的光合特性与生长速率分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(3): 20-28.
- YUAN H F, TIAN Y H, WEI L P, CHEN G Y, CUN M. Analyses on photosynthetic characteristics and growth rate of *Aquilaria sinensis* seedlings from different provenances under shading conditions[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2012, 21(3): 20-28. (in Chinese)
- [30] 原慧芳, 魏丽萍, 田耀华, 岳海. 遮阴处理对土沉香幼苗生长和叶片解剖特征的影响[J]. *浙江农业学报*, 2013, 25(4): 747-752.
- YUAN H F, WEI L P, TIAN Y H, YUE H. Effects of shading on seedling growth and leaf anatomical characteristics of *Aquilaria sinensis*[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2013, 25(4): 747-752. (in Chinese)
- [31] 温星, 程路芸, 李丹丹, 许馨露, 高岩, 张汝民. 毛竹叶片发育过程中光合生理特性的变化特征[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, 34(3): 437-442.
- WEN X, CHENG L Y, LI D D, XU X L, GAO Y, ZHANG R M. Photosynthetic characteristics in the development process of *Phyllostachys edulis*[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2017, 34(3): 437-442. (in Chinese)
- [32] 潘彩玲, 邓福春, 官秀芳, 梁家铭, 郝静伟, 刘莉, 竺永金, 李开祥, 叶绍明. 4 个奇楠沉香品系苗期不同光处理阶段的光合生理特性和叶片结构的比较[J]. *广西林业科学*, 2024, 53(6): 728-737.
- PAN C L, DENG F C, GUAN X F, LIANG J M, HAO J W, LIU L, ZHU Y J, LI K X, YE S M. Comparison on physiological characteristics and leaf structures of four *Aquilaria sinensis* 'Chi-Nan' strains at different light treatment stages during seedling stage[J]. *Guangxi Forestry Science*, 2024, 53(6): 728-737. (in Chinese)
- [33] 曹林青, 钟秋平, 邹玉玲, 田丰, 贺义昌. 不同千年桐种质叶片结构及光合特性[J]. *森林与环境学报*, 2022, 42(6): 592-599.
- CAO L Q, ZHONG Q P, ZOU Y L, TIAN F, HE Y C. Leaf structural and photosynthetic characteristics of different *Vcmicia montana* germplasms[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2022, 42(6): 592-599. (in Chinese)
- [34] 张玉, 韩立群, 赵钰, 于栋, 李丽莉, 周龙, 马凯. 新疆两个主栽核桃品种叶片结构和光合特性的比较[J]. *经济林研究*, 2022, 40(2): 153-163, 182.
- ZHANG Y, HAN L Q, ZHAO Y, YU D, LI L L, ZHOU L, MA K. Comparison of leaf structure and photosynthetic characteristics of two main walnut cultivars in Xinjiang[J]. *Non-wood Forest Research*, 2022, 40(2): 153-163, 182. (in Chinese)
- [35] 秦齐, 田梦阳, 谢寅峰, 窦全琴. 林药间作模式下白及光合生理特性[J]. *东北林业大学学报*, 2023, 51(6): 70-76.
- QIN Q, TIAN M Y, XIE Y F, DOU Q Q. Photosynthesis and physiological characteristics of *Bletilla striata* under intercropping of forest and drug[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2023, 51(6): 70-76. (in Chinese)
- [36] 郭素娟, 武燕奇. 板栗叶片解剖结构特征及其与抗旱性的关系[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(9): 51-59.
- GUO S J, WU Y Q. Leaf anatomical structure characteristics and drought resistance of Chinese chestnut[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2018, 46(9): 51-59. (in Chinese)
- [37] GOULET F, BELLEFLUOUR P. Leaf morphology plasticity in response to light environment in deciduous tree species and its implication on forest succession[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, 16(4): 1192-1195.

- [38] LEE D W, BONE R A, TARSIS S L, STORCH D. Correlates of leaf optical properties in Tropical forest sun and extreme-shade plants[J]. *American Journal of Botany*, 1990, 77: 370-380.
- [39] 张亚杰, 冯玉龙. 喜光榕树和耐荫榕树光适应机制的差异[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2004, 30(3): 297-304.
ZHANG Y J, FENG Y L. Differences in the light adaptation mechanisms between light-loving ficus and shade-tolerant ficus[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2004, 30(3): 297-304. (in Chinese)
- [40] 刘婷, 龙田养, 陈葵仙, 刘颂颂, 苏纯兰, 孔爱冬. 华南地区 5 种观赏性姜科植物的耐荫性评价[J]. *热带林业*, 2022, 50(4): 57-61.
LIU T, LONG T Y, CHEN K X, LIU S S, SU C L, KONG A D. Shade tolerance evaluation of 5 ornamental Zingiberaceae plants in South China[J]. *Tropical Forestry*, 2022, 50(4): 57-61. (in Chinese)
- [41] 魏晓东, 张亚东, 宋雪梅, 陈涛, 朱镇, 赵庆勇, 赵凌, 路凯, 梁文化, 赫磊, 黄胜东, 谢寅峰, 王才林. 高产粳稻品种南粳晶谷的光合生理特性研究[J]. *中国水稻科学*, 2022, 36(6): 611-622.
WEI X D, ZHANG Y D, SONG X M, CHEN T, ZHU Z, ZHAO Q Y, ZHAO L, LU K, LIANG W H, HE L, HUANG S D, XIE Y F, WANG C L. Photosynthetic and physiological characteristics of high yield japonica rice variety Nanjingjingu[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2022, 36(6): 611-622. (in Chinese)
- [42] 赵美婷, 魏滢, 安东升, 李文秀, 罗萍, 张华林, 贺建军. 砂仁‘湛砂 11’苗期光合与叶绿素荧光特征[J]. *热带作物学报*, 2022, 43(3): 565-571.
ZHAO M T, WEI Y, AN D S, LI W X, LUO P, ZHANG H L, HE J J. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics at seed-ling stage of *Amomum villosum* Lour ‘Zhansha11’[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(3): 565-571. (in Chinese)
- [43] 李莹, 彭玉德, 余丽莹, 陈晓英, 潘春柳, 蓝祖裁, 黄雪彦. 几种姜黄属植物光合特性研究[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(14): 143-149.
LI Y, PENG Y D, YU L Y, CHEN X Y, PAN C L, LAN Z Z, HUANG X Y. Study on photosynthetic characteristics of several *Curcuma* L.[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(14): 143-149. (in Chinese)
- [44] 李冬梅, 刘小飞, 朱根发. 4 种山奈属植物光合特性的比较研究[J]. *热带农业科学*, 2018, 38(4): 46-51.
LI D M, LIU X F, ZHU G F. Comparison of photosynthetic characteristics among plants of four *Kaempferia* Species[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2018, 38(4): 46-51. (in Chinese)