

越南多毛金花茶的光合特性和叶解剖结构 对光照环境的适应

王 坤, 韦晓娟, 刘 凯, 李开祥*, 马锦林

(广西林业科学研究院经济林所, 广西特色经济林培育与利用重点实验室, 广西南宁 530002)

摘要: [目的] 以越南多毛金花茶 (*Camellia hirsuta* Hakoda et Ninh) 为实验材料, 开展不同光照处理对多毛金花茶光合特性、叶解剖结构及光合色素含量的影响研究, 为越南金花茶引种栽培和抚育管理提供理论依据。 [方法] 于2017年5月上旬, 将越南多毛金花茶置于不同光照强度(10%、20%、30%、40%、50%, 通过覆盖不同层数的遮荫网获得)的遮荫棚内生长, 处理时间2个月。 [结果] 不同光照处理下, 多毛金花茶净光合速率日变化趋势不同, 20%、30%光照处理显著提高了多毛金花茶叶片净光合速率、蒸腾速率, 同时蒸汽压亏缺降低, 促进光合作用的进行, 达到显著差异 ($P < 0.05$); 在30%光照处理下, 光合色素的含量最高, 而叶绿素 a/b 的值最低, 30%光照更有利于多毛金花茶叶片中叶绿素 b 的合成。20%、30%光照处理下的多毛金花茶叶片具有更发达的栅栏组织、海绵组织及更厚的叶片厚度, 这2个处理的叶片结构可能有利于其对环境的适应并且光合能力更强。在适当的遮荫条件20%~40%光照处理下, 多毛金花茶的最大净光合速率增大。 [结论] 在20%、30%光照处理下, 其叶片具有更发达的叶片厚度和栅栏组织, 气孔密度相对较低, 净光合速率、蒸腾速率得到提高, 胞间 CO_2 浓度和蒸汽压亏缺降低, CO_2 和水蒸气进出气孔阻力变小, 同时在30%光照处理下光合色素的含量最高, 说明光合速率得到有效提高。越南多毛金花茶适宜在20%~30%光照强度的环境下生长。

关键词: 越南多毛金花茶; 光照处理; 光合特性; 叶解剖结构

中图分类号: S718.47; Q945.79

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)04-0105-09

金花茶组 (*Camellia* sect. *Chrysantha*) 植物 1979 年由张宏达教授建立^[1], 是世界上稀有的珍稀植物组群^[2], 因其金黄花朵在山茶科植物中别具一格, 观赏性极高, 具有较大的市场开发潜力^[3-4]。20 世纪 40 年代初被首次发现, 引起各个领域专家的关注, 其有“植物界的大熊猫”、“植物活化石”等美名^[1]。多毛金花茶 (*Camellia hirsuta* Hakoda et Ninh) 原产于越南三岛国家森林公园 (Tam Dao National Park, TDNP), 位于 105°30'~105°47' E 和 21°20'~21°32' N 之间^[5], 小乔木, 嫩枝、叶柄、叶片、花柄、萼片、花瓣、花丝、花蕊都密被绒毛, 花期冬季至春季, 具有极高的观赏价值; 其叶片含有多种活性成分且含量极高, 具有很好的药用价值^[6]。

植物与光照、光质的相互关系一直是植物学研

究的热点^[7-8], 而对濒危植物与光环境的研究更得到广大学者的重视^[9-10], 为濒危植物的种群恢复和保护提供了科学依据。目前, 关于金花茶的研究报道多集中在栽培繁育^[11-12]、活性成分及药理研究^[13-14]、金花茶幼苗和幼树的光合特性^[15-17]及干旱胁迫或不同光照强度对金花茶幼苗的影响^[18-19]等方面。前期有学者对中国本地金花茶的光合特性进行了研究, 结果表明, 金花茶属于阴生植物^[16-17], 设置 10%、25%、50% 和 100% 自然光强对其进行处理, 结果发现在 50% 强光胁迫下, 金花茶幼苗的生长就受到抑制^[18], 固笔者选取 10%、20%、30%、40%、50% 的阴生环境对引种的越南多毛金花茶进行处理, 探索其对不同的阴生环境的适应性, 并首次对越南金花茶的光合特性、光合色素和叶片解剖结

收稿日期: 2019-01-17 修回日期: 2019-04-10

基金项目: 广西特色经济林培育与利用重点实验室自主研究课题(19-A-03-01); 国家林业局 948 项目(2014-4-14); 2016 年自治区级林业技术推广示范项目(桂林科发[2016]2 号)

* 通讯作者: 李开祥(1972—), 教授级高级工程师, 主要从事经济林研究。E-mail: lkx202@126.com

构特征变化进行系统分析。与中国本地金花茶相比,引种的越南金花茶活性成分含量高^[6],药用价值高,具有很好的栽培与开发利用价值,探讨越南金花茶的生长规律及其对光照变化的适应能力,为金花茶的进一步引种栽培和繁育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 植物材料

试验地设在广西壮族自治区林业科学研究院试验苗圃,地处南宁市北郊(108°21' E, 22°56' N),海拔95 m,属亚热带季风气候区,1月平均温度11.8℃以上,7月平均温度27.6℃,5—9月为雨季,月平均降水量大于100 mm,全年平均降水量超过1347 mm,年平均相对湿度约80%。

多毛金花茶于2015年7月引自越南三岛国家自然保护区,2017年5月上旬,将2年生苗(植株高度为60~65 cm)多毛金花茶分别置于不同光强的环境内生长,通过搭盖不同层数遮荫网达到需要的光照强度10%、20%、30%、40%、50%。选取无云晴天,利用Li-6400便携式光合测定仪的光强探头进行测定,得到如下5个光照处理:9.8%、22.1%、33.3%、45.8%、51.6%。每个光照处理设置2.0 m的间距,避免互相影响,每个处理设置南北向遮荫棚,高1.6 m,宽1.8 m,东西方向接地,南北通透,常规栽培管理。每种光强处理下放置越南多毛金花茶苗10盆(每盆1株),盆栽植物常规管理,定时浇水,试验时间2个月。

1.2 测定方法

1.2.1 光合日变化和光响应曲线参数测定 采用Li-6400便携式光合测定仪对越南多毛金花茶叶片的光合日进程和光响应曲线进行测定。光合日进程测定:选取典型晴天(2017年7月底),自8:00—18:00,每隔2 h测定1次,每个处理选取长势一致的5株多毛金花茶,测定上数第3~4片功能叶的相关光合参数。光响应曲线测定:选取晴天,测定时间为9:00—12:00,设置0~1800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内14个光强梯度,测定前先进行20 min光诱导。

1.2.2 叶绿素和类胡萝卜素含量的测定 每个处理取长势一致的5株多毛金花茶,取新鲜叶片(从上面数第3、4片成熟叶片),去中脉后剪碎混合,乙醇-丙酮1:1混合液提取色素,当叶片完全变白即可测定,测定叶绿素a、b的波长分别为663、645 nm,类

胡萝卜素的吸收波长为440 nm^[20-21],叶绿素a和叶绿素b的计算公式为:

叶绿素a浓度(C_a , $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$):

$$C_a = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$$

叶绿素b浓度(C_b , $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$):

$$C_b = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$$

1.2.3 气孔特征观测 每个处理取长势一致的3株多毛金花茶,使用指甲油印记法^[22],因多毛金花茶叶片背面有绒毛,需先用小刀轻轻的刮去,然后用显微镜(Leica DM 2500, Germany)在40倍镜下进行观测并拍摄图片。用ImageJ图形处理软件处理图片,统计视野内的所有气孔个数,测量保卫细胞纵轴长和横轴长,计算气孔密度及气孔指数。

气孔指数 = 气孔密度 / (气孔密度 + 表皮细胞密度)

1.2.4 解剖学结构分析 取出气孔测量后的另一半叶片,制作组织切片,用光学显微镜对叶片横切面的切片进行观察,横切时避开主脉,测定叶片厚度、上表皮、栅栏组织、海绵组织和下表皮的厚度。每个品种选取5张叶片,每个叶片随机选取6个清晰视野,徒手切片制成临时装片,用显微镜在40倍镜下进行观测,并选取清晰视野拍摄图片。用ImageJ测量导管的长轴和短轴直径,其中,导管直径(Vd)计算公式为:

$$Vd = \left(\frac{32(ab)^3}{a^2 + b^2} \right)^{\frac{1}{4}}$$

式中: a 、 b 分别为导管的长短轴半径。

1.2.5 数据处理 光响应曲线的拟合采用非直角双曲线模型^[23],并对光响应曲线的0~100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 部分进行直线回归,以获得相关光合参数。利用SPSS软件的LSD法进行多重比较并进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同光照处理对多毛金花茶叶片光合特性的影响

2.1.1 叶片净光合速率 不同光照下,多毛金花茶净光合速率日变化趋势不同。由图1可看出:20%、30%光照处理为不典型“双峰”曲线,第2峰值不明显;10%光照处理为典型“双峰”曲线,峰值出现在12:00和18:00;40%、50%光照处理的净光合速率呈下降趋势,最大净光合速率出现在8:00。从光合日变化可看出:8:00时40%、50%光照处理的净光

合速率高于其他处理,当外界光照增强,40%、50%光照处理的净光合速率直线下降。多毛金花茶叶片日平均净光合速率依次为光照处理 30% > 20% > 50% > 40% > 10% ($P < 0.05$) (表1)。

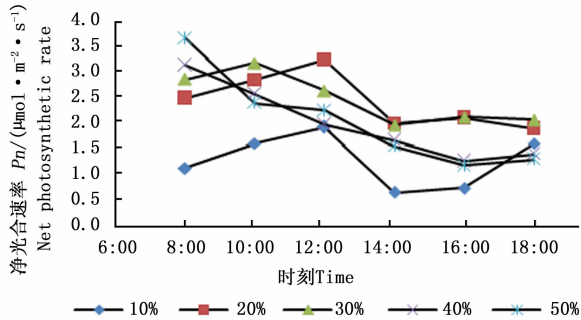


图1 不同光照处理对多毛金花茶叶片净光合速率日变化的影响

Fig. 1 The effects of diurnal net photosynthetic rate of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

2.1.2 叶片蒸腾速率 从8:00开始,不同光照下,金花茶叶片蒸腾速率开始持续上升,10%、20%、30%处理在16:00时出现典型峰值,40%处理最高点出现在14:00,而50%处理最高点出现在12:00(图2)。不同光照处理下,日平均蒸腾速率由高到低依次为光照处理 30% > 20% > 40% > 50% > 10% ,

30%、20%光照处理与其他处理差异显著($P < 0.05$),30%、20%光照处理显著提高了多毛金花茶叶片的蒸腾速率(表1)。

10%、40%、50%光照下,蒸腾速率 Tr 与净光合速率 Pn 呈负相关(表2),导致净光合速率较低的原因之一可能是蒸腾速率低引起的;20%、30%光照处理下,蒸腾速率 Tr 与净光合速率 Pn 呈显著正相关。适当的遮荫更利于矿质元素、碳水化合物及水分的运输,所以,蒸腾速率高,从而提高了多毛金花茶的净光合速率。

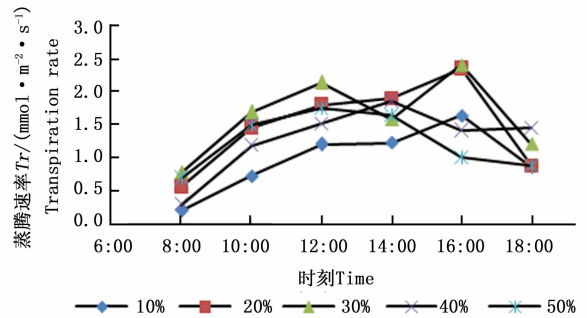


图2 不同光照处理对多毛金花茶叶片蒸腾速率日变化的影响

Fig. 2 The effects of diurnal variations of transpiration rate of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

表1 不同光强处理对多毛金花茶叶片光合特性的影响

Table 1 Effect of the photosynthetic characteristics of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

光照强度/% Light intensity	净光合速率 Pn Net photosynthetic rate/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Tr Transpiration rate/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 $Cond$ Stomatal conductance/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Ci Internal carbon dioxide concentration/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸汽压亏缺 $Vpdl$ The vapor pressure deficit/kPa
10	1.29 ± 0.13c	0.99 ± 0.15c	0.018 ± 0.01c	268.60 ± 7.98b	5.09 ± 0.25a
20	2.45 ± 0.47a	1.50 ± 0.27a	0.035 ± 0.01a	256.27 ± 5.19c	3.95 ± 0.16c
30	2.50 ± 1.01a	1.65 ± 0.91a	0.035 ± 0.02a	247.67 ± 3.05c	4.09 ± 0.21c
40	2.02 ± 0.35b	1.30 ± 0.38b	0.030 ± 0.02a	284.63 ± 6.28a	4.37 ± 0.47b
50	2.07 ± 0.22b	1.25 ± 0.11b	0.023 ± 0.01b	271.12 ± 10.01b	4.58 ± 0.19b

注:每列不同的小写字母代表不同光照处理之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$).

表2 不同光强处理下多毛金花茶叶片 Pn 与其他光合参数间的相关系数

Table 2 The correlation among photosynthetic parameter in *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

光照强度 Light intensity/%	蒸腾速率 Tr	气孔导度 $Cond$	胞间 CO_2 浓度 Ci	蒸汽压亏缺 $Vpdl$
10	-0.282	0.018 **	-0.804 **	-0.366 *
20	0.351 *	0.416 *	-0.478 *	-0.197
30	0.372 *	0.285	-0.117	-0.283
40	-0.191	0.436 *	-0.197	-0.173 *
50	-0.210	0.082	-0.078	-0.295

注: * 代表显著水平 $P < 0.05$, ** 代表极显著水平 $P < 0.01$ 。

Note: * represents a significant differences at 0.05 level, ** represents an extremely significant differences at 0.01 level.

2.1.3 叶片气孔导度 不同光照下,多毛金花茶叶片的气孔导度变化规律基本相同。20%、30%光照处理呈双峰曲线,在10:00和16:00时气孔导度出现峰值;10%、40%、50%光照处理为不典型双峰曲线,在10:00时气孔导度最大(图3)。表1表明:20%、30%光照下,多毛金花茶的气孔导度最大,10%光照下的气孔导度最小。各处理的气孔导度与净光合速率均呈正相关,20%、40%光照下,气孔导度与净光合速率呈显著正相关(表2)。

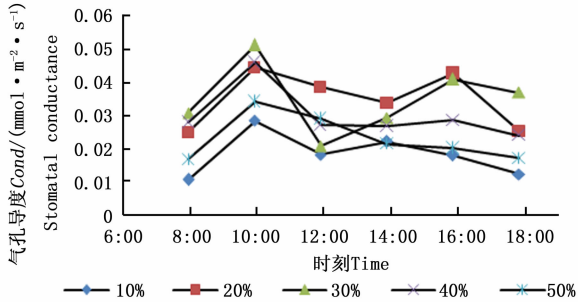


图3 不同光照处理对多毛金花茶叶片气孔导度日变化的影响

Fig.3 The effects of diurnal variations of stomatal conductance of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

2.1.4 叶片胞间 CO₂ 浓度 不同光照下,多毛金花茶胞间 CO₂ 浓度变化趋势相似,呈“V”型(图4),各处理的胞间 CO₂ 浓度最大值出现的时间不同,10%、20%光照下最大值出现在16:00,30%、40%光照处理出现在18:00,50%光照处理出现在14:00。不同光照下,胞间 CO₂ 浓度高低依次为光照处理40% > 50% > 10% > 20% > 30%,40%处理与其他处理差异显著($P < 0.05$)(表1)。

各处理下多毛金花茶叶片胞间 CO₂ 浓度 C_i 与净光合速率 P_n 均呈负相关,且光照强度越小,负相关性越显著,10%光照处理下达极显著负相关($P < 0.01$)(表2)。光照越小,到达叶片的有效辐射越小,导致 CO₂ 同化率及气孔导度降低,从而使更多的 CO₂ 存留在叶片胞间,胞间 CO₂ 浓度升高,最终净光合速率降低。

2.1.5 叶片蒸汽压亏缺 叶片蒸汽压亏缺日平均值依此为光照处理10% > 50% > 40% > 30% > 20%,10%光照处理与其他处理差异显著($P < 0.05$)(表1)。适当的遮荫(20%、30%光照处理)可以降低环境温度和光照强度,空气湿度及土壤含水量增加,进而降低了叶片蒸汽压亏缺,有利于光合作用的进行。

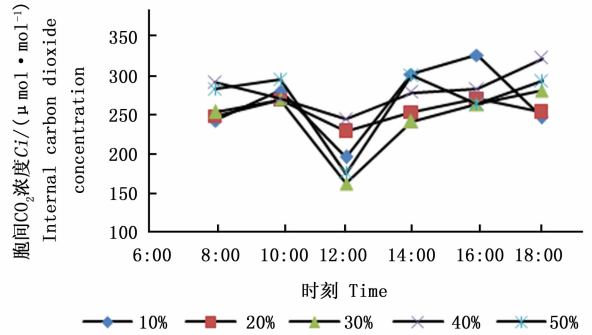


图4 不同光照处理对多毛金花茶叶片胞间 CO₂ 浓度日变化的影响

Fig.4 The effects of diurnal variations of internal carbon dioxide concentration of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

由表2看出:多毛金花茶叶片蒸汽压亏缺与净光合速率呈负相关。所以,10%光照处理不利于多毛金花茶光合作用的进行。

2.1.6 光合-光响应曲线参数 不同光照下,多毛金花茶叶片光合生理参数的变化(表3)表明:20%光照下,多毛金花茶叶片的最大净光合速率最大,当光强为50%光照时,最大净光合速率显著降低,10%、30%、40%光照处理间差异不显著。

光合生理参数的光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)分别代表着植物叶片对强光和弱光的利用能力^[24],当光照强度从40%降到10%时,多毛金花茶叶片的光饱和点和光补偿点显著降低,表明低于40%光照强度的环境下,随着光照强度的降低,叶片的机构和生理功能发生变化,叶片的需光特性与弱光条件相适应,以降低光饱和点和光补偿点来提高对弱光的利用能力。

20%光照处理的表观量子效率(AQY)最大,与40%、50%光照处理的差异显著($P < 0.05$);30%光照下,表观量子效率为0.062,仅次于20%光照处理,50%光照处理表观量子效率值最低,为0.038。表明在20%、30%光照下,多毛金花茶对弱光的利用能力较强。

2.2 叶片光合色素含量

表4表明:不同光照强度下,多毛金花茶叶片的光合色素含量不同,30%光照下,光合色素的含量最高,其中,叶绿素a、b的含量是其他光照处理的2~3倍;其次,10%、20%光照下光合色素的含量较接近,显著高于40%、50%光照处理。在30%光照下,总叶绿素含量最高,而叶绿素a/b最低,这表明在

表3 不同光强处理对多毛金花茶叶片光合生理参数的影响

Table 3 Effect of different light treatments on photosynthetic parameters of *Camellia hirsuta* leaves

光照强度 Light intensity/%	最大净光合速率 $P_{n_{max}}$ Maximum net photosynthetic rate/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 LSP Light Saturation/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 LCP Light Compensation/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 AQY Apparent quantum yield / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 R_d Dark Respiration/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
10	3.586 ± 0.056B	106 ± 3.055B	5.07 ± 0.434C	0.055 ± 0.011a	0.279 ± 0.022c
20	4.990 ± 0.173A	115 ± 6.658B	5.63 ± 1.276C	0.064 ± 0.007a	0.364 ± 0.070bc
30	3.891 ± 0.200B	112 ± 5.568B	9.06 ± 0.601B	0.062 ± 0.014a	0.438 ± 0.081b
40	3.968 ± 0.289B	135 ± 6.028A	15.73 ± 1.811A	0.041 ± 0.008b	0.570 ± 0.025a
50	3.018 ± 0.071C	83 ± 2.082C	7.74 ± 0.633B	0.038 ± 0.004b	0.428 ± 0.071b

注:每列不同的大写字母和小写字母代表不同光照处理之间存在极显著性差异和显著性差异 ($P < 0.01$ 、 $P < 0.05$)。

Note: Different capital and small letters in the same column indicated extremely significant and significant differences ($P < 0.01$, $P < 0.05$).

30%光照下,叶绿素含量主要表现为叶绿素 b 含量的增加。所以,多毛金花茶叶片在 30%光照下更有

利于叶绿素 b 的合成,光合能力得到提高。

表4 不同光强处理对多毛金花茶叶片光合色素含量的影响

Table 4 Effect of different light treatments on photosynthetic pigments content of *Camellia hirsuta* leaves

光照强度/% Light intensity	叶绿素 a Chla/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 b Chlb/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素(a+b) Chl(a+b)/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a/b Chla/b	类胡萝卜素 Car/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素/类胡萝卜素 Chl(a+b)/Car
10	0.69 ± 0.03b	0.32 ± 0.02b	1.01 ± 0.05b	2.12 ± 0.08b	0.18 ± 0.01ab	5.63 ± 0.04b
20	0.68 ± 0.02b	0.26 ± 0.02c	0.94 ± 0.03b	2.63 ± 0.13a	0.17 ± 0.02bd	5.47 ± 0.31b
30	1.27 ± 0.03a	0.67 ± 0.03a	1.94 ± 0.05a	1.91 ± 0.05c	0.21 ± 0.03a	9.33 ± 1.15a
40	0.50 ± 0.03d	0.20 ± 0.02d	0.70 ± 0.05d	2.52 ± 0.10a	0.14 ± 0.02c	5.08 ± 0.36b
50	0.58 ± 0.02c	0.22 ± 0.01d	0.80 ± 0.03c	2.64 ± 0.06a	0.14 ± 0.01cd	5.49 ± 0.42b

注:每列不同的小写字母代表不同光照处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$).

2.3 不同光照处理对多毛金花茶叶解剖结构的影响

2.3.1 显微结构特征 多毛金花茶上下表皮细胞均由单层细胞构成,上表皮细胞厚度与下表皮细胞厚度非常接近(表5),主要由含有叶绿体的薄壁细胞构成,分为栅栏组织和海绵组织,栅栏组织紧贴着上表皮细胞,由一层排列紧密的长圆柱状细胞构成

(图5染色深部位);海绵组织位于栅栏组织下方,细胞形态不规则,排列疏松(图5)。由表5可见:随着光照强度的降低,中脉导管直径逐渐增大,叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度呈先增大后降低的趋势。20%光照下,多毛金花茶叶片上表皮细胞厚度、栅栏组织厚度、栅栏组织高度最大,分别比50%光照处理增加了37.18%、50.19%、59.67%;

表5 不同光强处理下多毛金花茶叶解剖结构($n = 30$)Table 5 Effect of anatomical structure of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments ($n = 30$)

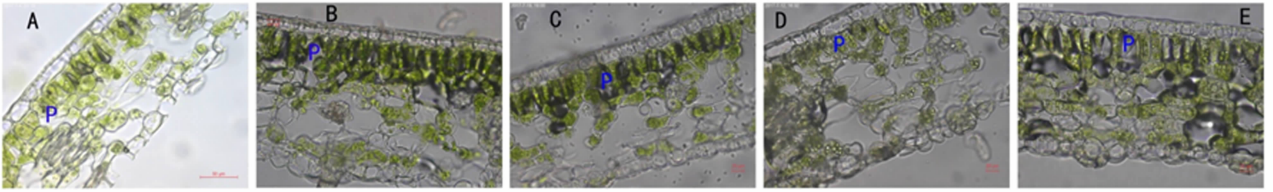
光照强度 Light intensity /%	叶片厚度 Leaf thickness / μm	上表皮细胞厚度 Thickness of upper epidermis cell/ μm	下表皮细胞厚度 Thickness of lower epidermis cell/ μm	中脉导管直径 Diameter of vessel in midrib/ μm	栅栏组织 厚度 Palisade tissue thickness/ μm	栅栏组织高度 PT thickness / μm	栅栏组织 宽度 PT breadth / μm	海绵组织厚度 Spongy tissue thickness/ μm	栅栏组织 厚度/海绵 组织厚度 PT/ST
10	243.59 ± 17.07a	22.69 ± 1.42ab	22.96 ± 3.28a	37.09 ± 3.52a	42.58 ± 5.77a	38.10 ± 7.55b	16.40 ± 1.60a	155.51 ± 7.52b	0.28 ± 0.03a
20	245.31 ± 18.07a	23.76 ± 0.95a	22.87 ± 0.62a	34.51 ± 1.54ab	43.69 ± 4.98a	45.84 ± 6.45a	16.58 ± 0.67a	154.37 ± 20.54b	0.29 ± 0.07a
30	254.42 ± 26.89a	23.59 ± 0.70a	22.55 ± 0.89ab	33.84 ± 6.42b	42.06 ± 5.48a	41.84 ± 4.91a	15.82 ± 1.53a	167.45 ± 18.06a	0.25 ± 0.01b
40	213.97 ± 20.40b	21.42 ± 2.15b	21.22 ± 3.35b	31.06 ± 2.55c	35.88 ± 4.16b	34.88 ± 4.44b	14.19 ± 1.82b	135.06 ± 13.75c	0.27 ± 0.03a
50	170.08 ± 9.24c	17.32 ± 0.23c	16.90 ± 0.09c	25.93 ± 2.84d	29.09 ± 3.39c	28.71 ± 3.12c	13.59 ± 0.44b	108.10 ± 11.86d	0.28 ± 0.05a

注:每列不同小写字母代表不同光照处理之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$).

30%光照处理下,叶片厚度、海绵组织厚度最大,比50%光照处理分别增加了49.59%、54.90%,随后略微下降。以上结果表明,20%和30%光照下的多毛

金花茶叶片具有更发达的栅栏组织、海绵组织及叶片厚度,这2个处理下的叶片结构可能有利于其对环境的适应且光合能力更强。



A. 10% 光强处理; B. 20% 光强处理; C. 30% 光强处理; D. 40% 光强处理; E. 50% 光强处理; P. 栅栏组织。比例尺: A = 50 μm ; B、C、D、E = 20 μm 。

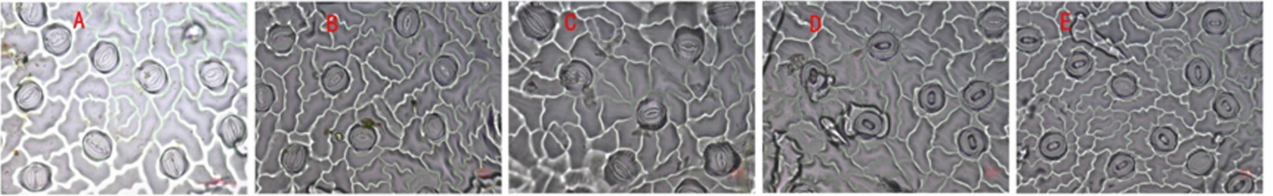
A. 10% light treatment; B. 20% light treatment; C. 30% light treatment; D. 40% light treatment; E. 50% light treatment; P. Palisade. Bar: A = 50 μm ; B, C, D, E = 20 μm .

图5 不同光强处理下多毛金花茶成熟叶片横切面

Fig. 5 Cross section of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments

2.3.2 气孔发育 多毛金花茶叶片的下表皮细胞性状不规则,大小不等,气孔仅分布在下表皮上(图6),不同光照处理没有改变气孔分布的总体规律,10%、50%光照下气孔密度较大;20%~40%光照

下,气孔密度没有明显差异。随着光照强度的增加,气孔纵轴长和横轴长不断增加,10%光照处理与其他处理间差异显著。不同光照处理对气孔指数的影响不大(表6)。



A. 10% 光强处理; B. 20% 光强处理; C. 30% 光强处理; D. 40% 光强处理; E. 50% 光强处理。比例尺: A = 50 μm ; B、C、D、E = 20 μm 。

A. 10% light treatment; B. 20% light treatment; C. 30% light treatment; D. 40% light treatment; E. 50% light treatment. Bar: A = 50 μm ; B, C, D, E = 20 μm .

图6 不同光强处理下多毛金花茶成熟叶片气孔下表皮纤维结构特征

Fig. 6 Microscopic characteristics of leaf lower epidermis of *Camellia hirsuta* under different light treatments

表6 不同光强处理对多毛金花茶气孔发育的影响($n=30$)

Table 6 Effect of stomata growth of *Camellia hirsuta* leaves under different light treatments ($n=30$)

光照强度/% Light intensity	气孔密度 Stomata density/(个· mm^{-2})	纵轴长 Vertical axes of stomata/ μm	横轴长 Horizontal axes of stomata/ μm	气孔指数 Stomata index
10	131.63 \pm 23.94a	12.09 \pm 0.70d	14.17 \pm 2.45c	0.14 \pm 0.00a
20	70.56 \pm 8.11c	14.40 \pm 1.05c	17.06 \pm 1.67b	0.12 \pm 0.00a
30	77.22 \pm 11.36c	16.06 \pm 2.96b	18.27 \pm 3.80ab	0.14 \pm 0.02a
40	74.20 \pm 7.30c	15.94 \pm 0.78b	19.04 \pm 0.56a	0.13 \pm 0.01a
50	95.64 \pm 19.02b	17.86 \pm 2.01a	19.71 \pm 3.15a	0.14 \pm 0.02a

注:每列不同小写字母代表不同光照处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

植物叶片对环境光强的变化非常敏感并且变异性较大^[25-26],对环境适应的改变主要表现在植物叶片的形态、解剖结构和光合特性等方面^[27]。在适当的光照下,植物通过增加叶绿素吸收光能,提高光合速率,而光照不足或者光照过度都会降低其光合作

用甚者损伤其光合机构^[28]。

本研究发现,当光照强度从50%降到10%时,净光合速率、气孔导度呈先升高后降低的趋势,20%、30%光照处理高于其他处理;胞间 CO_2 浓度呈先降低后升高的趋势,20%、30%光照处理显著低于其他处理;蒸汽压亏缺对光合作用的影响非常明显,可能比高温和强光的影响更大^[29],叶片蒸汽压亏缺

增大会导致植物失水,阻碍植物吸收水及矿质元素,当细胞水势下降时又降低了蒸腾速率,光合作用受阻。蒸腾速率影响着植物对矿质元素和水的吸收,当蒸腾速率降低时,光合产物输出减慢,从而抑制了光合作用,降低光合速率^[30],并且叶片蒸汽压亏缺增大会导致植物失水,限制了水和矿质元素的吸收,降低了蒸腾速率,最终光合作用受阻^[31]。本研究结果表明,20%、30%光照下,多毛金花茶叶片净光合速率与蒸腾速率呈显著正相关,与蒸汽压亏缺呈负相关,其他处理下净光合速率与蒸腾速率呈负相关。当光照强度从50%降到10%时,蒸腾速率呈先升高后降低的趋势,当光照强度为30%时,蒸腾速率最大,随后降低,当光照强度降到10%时,蒸腾速率降到0.99,降低了40%。因此,过度的遮荫(10%光照处理)会导致多毛金花茶叶片光合能力下降。表观量子效率可以很好的反映叶片的光合能力,在不同光照下,通过光合机构的变化体现植物对光的利用能力,其值越大对弱光的利用能力越强,表明植物吸收与转化光能能力越强^[32]。20%、30%光照下,表观量子效率较大,分别为0.064、0.062,说明多毛金花茶在此光照下有一定的耐受性,适宜在此生长。叶片显微结构特征与光合能力的强弱有着重要的联系,栅栏组织厚度可以间接作为判断植物生产力强弱的指标,栅栏组织厚度越大,其光合能力越强^[33],较厚的表皮细胞和发达的栅栏组织通过保持植物内部水分,更有助于植株的生长^[34]。本研究中,随着光照强度的降低,叶片厚度及栅栏组织均变大,在10%~30%光照下,多毛金花茶的叶片厚度及栅栏组织均增厚,30%光照下叶片厚度最大,20%光照下栅栏组织厚度最大,与最小值(50%光照处理)相比分别增加了49.59%、50.19%。此外,海绵组织厚度增加,有利于减少光照损失,叶片对光能的利用率提高,有助于维持叶片光合速率^[35-36]。30%光照下,海绵组织厚度最大,比50%光照处理,增加了54.90%,说明多毛金花茶在20%、30%光照下,可通过增加叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度等来促进叶片吸收更多的光能,提高光能利用率。气孔是植物叶片与外界空气交换和水分流失的重要通道,是影响植物光合和蒸腾作用的重要因素。本研究发现在10%、50%光照下,气孔密度较大,但气孔导度较小,蒸汽压亏缺较大,从而降低了蒸腾作用,这种处理下,不利于多毛金花茶叶片进行光合作用。

叶绿素含量的多少影响着叶片的光合能力^[37],

闫小莉等^[38]研究发现,在适当的光照下,叶绿素b含量增加,可以通过吸收更多的蓝紫光来吸收更多的光能,从而提高光合速率。Zhang等^[39]、Huang等^[40]发现,在适宜的光照下,植物为了更有效的利用光能,会增加体内叶绿素含量,尤其是叶绿素b的含量,表现为总叶绿素含量增加,而Chla/b比值降低。本研究发现在30%光照下,总叶绿素含量最高,叶绿素含量的增加主要为叶绿素b含量的增加,所以,多毛金花茶叶片在30%光照条件下更有利于叶绿素b的合成,在此光照条件下光合能力得到提高。

柴胜丰等^[18]研究了10%、25%、50%、100%自然光强对毛瓣金花茶光合生理特性的影响,结果发现,随着光照强度的升高,毛瓣金花茶叶片最大净光合速率、表观量子效率、光饱和点降低,但25%和10%光强差异不显著,光补偿点升高,叶绿素含量降低,而在25%光强下,毛瓣金花茶未发生明显的光抑制,表明毛瓣金花茶在25%光强下也适应生长。本研究结果表明,多毛金花茶的最大净光合速率、表观量子效率最大值出现在20%光照下,与前人研究相近;总叶绿素含量最大值出现在30%光照下,出现差异的原因可能与金花茶不同品种有关。研究发现,多毛金花茶是典型的阴生植物,适宜生长在低光照的环境中。

4 结论

本研究结果表明,40%、50%光照下,越南多毛金花茶光合色素含量变低,气孔导度变小,蒸汽压亏缺变大,降低了蒸腾速率,不利于多毛金花茶进行光合作用。10%光照下,光合有效辐射太低,超过了多毛金花茶对低光照的耐受力,从而抑制了叶片的净光合速率和蒸腾速率。在30%光照下,总叶绿素含量最高,叶绿素a/叶绿素b最低,说明在此条件下,多毛金花茶叶片光合能力得到提高;在20%、30%光照下,其叶片具有更发达的叶片厚度和栅栏组织,气孔密度相对较低,净光合速率、蒸腾速率、气孔导度得到提高,降低了胞间CO₂浓度和蒸汽压亏缺,CO₂和水蒸气进出气孔阻力变小,光合速率得到有效提高。越南多毛金花茶适宜在20%~30%光照强度的环境下生长。

研究也发现,引种的越南金花茶主要活性成分含量是本地金花茶的2倍多,药用价值极高,具有很好的栽培与开发利用价值,探讨引种的越南金花茶

的生长规律及其对光照变化的适应能力,为引种越南金花茶的栽培繁育提供技术支撑,开展金花茶栽培技术和栽培模式研究,探索金花茶高效栽培技术体系,以丰富我国金花茶种质资源库。

参考文献:

- [1] 张宏达. 华夏植物区系的金花茶组[J]. 中山大学学报:自然科学版, 1979, 18(3): 69-74.
- [2] 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.
- [3] Lv J, Chen R, Zhang M, et al. Plant regeneration via somatic embryogenesis and shoot organogenesis from immature cotyledons of *Camellia nitidissima* Chi [J]. Journal of Plant Physiology, 2013, 170(13): 1202-1211.
- [4] He D Y, Li X Y, Sai X, et al. *Camellia nitidissima* CW Chi: a review of botany, chemistry, and pharmacology [J]. Phytochemistry Reviews, 2018, 17(2): 327-349.
- [5] Tran N, Le N, Hai N. 越南三岛国家公园的金花茶[C]. 广西南宁: 中国广西(南宁)第三届金花茶国际学术论坛, 2013: 9-14.
- [6] 王 坤, 黄晓露, 梁晓静, 等. 11 种金花茶组植物叶片活性成分含量对比[J]. 经济林研究, 2018, 36(1): 110-114.
- [7] 段宝利, 吕艳伟, 尹春英, 等. 高光和低光下木本植物形态和生理可塑性响应[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11(2): 238-245.
- [8] 龚红恩, 丁怡飞, 姚小华, 等. LED 光质对油茶苗生长和光合特性的影响[J]. 林业科学研究, 2018, 31(2): 176-182.
- [9] 郭晓荣, 曹坤芳, 许再富, 等. 热带雨林不同生态习性树种幼苗光合作和抗氧化酶对生长光环境的反应[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 377-381.
- [10] 谷 畴, 赵 平, 曾小平, 等. 不同光强下焕镛木和观光木的光合参数变化[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 355-362.
- [11] 韦 霄, 柴胜丰, 蒋运生, 等. 珍稀濒危植物金花茶种子繁殖和生物学特性研究[J]. 广西植物, 2010, 30(2): 215-219.
- [12] 蔡兴新, 何 芬, 冯家平, 等. 我国金花茶繁育研究进展[J]. 热带林业, 2015, 43(3): 20-22.
- [13] Wang B, Ge L, Mo J G, et al. Essential oils and ethanol extract from *Camellia nitidissima* and evaluation of their biological activity. [J]. International Journal of Molecular Medicine, 2018, 41(5): 2793-2801.
- [14] Hou XY, Du HZ, Yang R, et al. The antitumor activity screening of chemical constituents from *Camellia nitidissima* Chi. [J]. Journal of food science and technology, 2018, 55(12): 5075-5081.
- [15] 柴胜丰, 庄雪影, 王满莲, 等. 濒危植物毛瓣金花茶与其同属广布种茶光合特性的比较[J]. 广西植物, 2015, 35(5): 623-630.
- [16] 杨期和, 李旭群, 杨和生, 等. 金花茶幼苗光合生理生态特性研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 57-63.
- [17] Wei X, Jiang Y S, Jiang S Y, et al. Photosynthetic characteristics of an endangered species *Camellia nitidissima* and its widespread congener *Camellia sinensis* [J]. Photosynthetica, 2008, 46(2): 313-314.
- [18] 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.
- [19] 柴胜丰, 唐健民, 王满莲, 等. 干旱胁迫对金花茶幼苗光合生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 322-328.
- [20] 黄 绢, 陈 存, 张伟溪, 等. 干旱胁迫对转 JERF36 银中杨苗木叶片解剖结构及光合特性的影响[J]. 林业科学, 2017, 53(5): 8-15.
- [21] 张志安, 陈展宇. 植物生理学试验技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008.
- [22] Russo S E, Cannon W L, Elowsky C, et al. Variation in leaf stomatal traits of 28 tree species in relation to gas exchange along an edaphic gradient in a Bornean rain forest [J]. American Journal of Botany, 2010, 97(7): 1-12.
- [23] 高平珍, 陈双林, 郭子武, 等. 毛竹林下苦参和决明幼苗光合作用光响应模型比较[J]. 林业科学研究, 2018, 31(2): 156-163.
- [24] 曾小华. 遮荫对野生峨眉凤仙花的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
- [25] Kurets V K, Drosdov S N, Popov E G, et al. The temperature gradient air-soil as a factor in the optimization of net photosynthesis in whole plants [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2003, 50(1): 72-78.
- [26] 郑 元, 赵 忠, 周 慧, 等. 晴天和阴天对刺槐光合生理特性的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(5): 60-67.
- [27] Terashima I, Hanba Y T, Tholen D, et al. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis [J]. Plant Physiologia Plantarum, 2011, 155(1): 108-116.
- [28] Cleland R E, Melis A, Neale P J. Mechanism of photoinhibition: photochemical reaction center inactivation in system II of chloroplasts [J]. Photosynthesis Research, 1986, 9(1-2): 79-88.
- [29] Poorter H. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration [J]. Vegetatio, 1993, 5(1): 77-97.
- [30] 陈模舜, 柯世省. 天台鹅耳枥叶片的解剖结构和光合特性对光照的适应[J]. 林业科学, 2013, 49(2): 46-53.
- [31] 吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等. 遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6033-6043.
- [32] Richardson A D, Berlyn G P. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA [J]. American Journal of Botany, 2002, 89(1): 88-94.
- [33] 束际林. 茶树叶片解剖结构鉴定的原理与技术[J]. 中国茶叶, 1995, 17(1): 2-4.
- [34] Bacelar E A, Correia C M, Moutinho-Pereira J M, et al. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions [J]. Tree Physiology, 2004, 24(2): 233-239.
- [35] Chartzoulakis K, Patskas A, Kofidis G, et al. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars [J]. Scientia Horticulturae, 2002, 95(1): 39-50.

- [36] Evans J R, Loreto F. Acquisition and diffusion of CO₂ in higher plant leaves [J]. *Photosynthesis: physiology and metabolism*, 2000; 321 – 351.
- [37] Wittmann C, Aschan G, Pflanz H. Leaf and twig photosynthesis of young beech (*Fagussylvatica*) and aspen (*Populustremula*) trees grown under different light regime[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2001, 2(2): 145 – 154.
- [38] 闫小莉,王德炉. 遮荫对苦丁茶树叶片特性及光合特性的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(13): 3538 – 3547.
- [39] Zhang Y J, Yan F, Gao H, *et al.* Chlorophyll content, leaf gas exchange and growth of oriental lily as affected by shading[J]. *RussianJournal of Plant Physiology*, 2015, 62(3): 334 – 339.
- [40] Huang C J, Wei G, Jie Y C, *et al.* Effect of shade on plant traits, gas exchange and chlorophyll content in four ramie cultivars[J]. *Photosynthetica*, 2016, 54(3): 390 – 395.

Response of Photosynthesis Characteristics and Leaf Anatomical Structure of Vietnam *Camellia hirsuta* under Different Light Environment

WANG Kun, WEI Xiao-juan, LIU Kai, LI Kai-xiang, MA Jin-lin

(Guangxi Forestry Research Institute, Guangxi Key Laboratory for Cultivation and Utilization of Special Non-Timber Forest Crops, Nanning 530002, Guangxi, China)

Abstract: [**Objective**] Vietnam *Camellia hirsuta* were used as experimental materials to study the effect of different light treatments on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of *C. hirsuta* in order to provide references for introduction, cultivation and management of the species. [**Method**] In early May of 2017, the Vietnam *C. hirsuta* plants were grown in the shade sheds with different light intensity and the trials lasted for two months. The light intensities of 10% , 20% , 30% , 40% , and 50% were obtained by covering the shading net of different layers. [**Result**] The variation trend of the net photosynthetic rate of different light treatments was different. 20% and 30% light intensities significantly improved the net photosynthetic rate and transpiration rate of *C. hirsuta*, while the vapor pressure deficit decreased ($P < 0.05$). These results showed the photosynthetic function was promoted. The content of photosynthetic pigments of *C. hirsuta* leaves were the highest in the 30% light treatment. Furthermore, the total chlorophyll content was the highest, but the chlorophyll a/b was the lowest, which was beneficial to the synthesis of chlorophyll b of *C. hirsuta* leaves under the 30% light treatment. There were more developed palisade tissue, spongy tissue and thicker blade thickness in *C. hirsuta* leaves under 20% and 30% light treatments, which promoted its adaptation to the environment and enhanced the photosynthesis. Under the appropriate shade conditions (20% – 40% light treatments), the maximum net photosynthetic rate of *C. hirsuta* increased. [**Conclusion**] Under 20% and 30% light treatments, the blade has more developed palisade tissue and thicker leaf thickness, and the stoma density is relatively low. The net photosynthetic and transpiration rate of *C. hirsuta* leaves are improved. On the contrary, the internal carbon dioxide concentration and vapor pressure deficit of *C. hirsute* are decreased, which leads to the smaller resistance of CO₂ and water vapor in and out of the stomata. At the same time, under 30% light treatment, the total chlorophyll content is the highest. It shows that the photosynthetic rate is improved effectively. It is concluded that *C. hirsuta* is suitable for growing in the environment with 20% – 30% light intensity.

Keywords: *Camellia hirsuta* Hakoda et Ninh; light treatment; photosynthesis characteristics; leave anatomical structure

(责任编辑:徐玉秀)