金花茶气体交换参数对光强的响应

崔之益[1] 张宁南[1] 杨曾奖[1*] 徐大平[1] 刘小金[1] 洪 舟[1] 肖 玉[2]
([1]中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; [2]深圳市真和丽生态环境股份有限公司, 广东深圳 518052)

摘 要 为林下推广种植金花茶(*Camellia nitidissima*)选择适宜的林分郁闭度和光强,以降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)不同种植密度下套种的金花茶幼树与不同孔径遮阴网下金花茶幼苗为研究材料,分析其光合生理特性。结果表明:光强在小于 700 μmol·m^{-2}·s^{-1}时,金花茶幼树净光合速率随着光强的降低而降低,气孔导度随着光强的降低呈现先升高后降低的变化趋势,胞间二氧化碳浓度随着光强的降低逐渐升高,蒸腾速率随着光强的降低而降低,水分利用效率随光强的逐渐降低其变动趋势不明显;金花茶气体交换参数间的相关性在幼苗和幼树之间表现出差异,而幼苗与幼树在净光合速率与气孔导度关系上则没有表现出明显差异;不同光强下的金花茶幼树气体交换参数表型可塑性较高,均在 0.8 以上。本研究结果表明,金花茶幼树在 700 μmol·m^{-2}·s^{-1}光强下会发生光抑制,因此金花茶的林下推广种植,应选择郁闭度 30%以上的林分,避免强光胁迫,影响生长。

关键词 金花茶; 光强; 气体交换参数; 气孔限制; 表型可塑性

Response of gas exchange parameters of *Camellia nitidissima* to light intensity. CUI Zhi-yi[1], ZHANG Ning-nan[1], YANG Zeng-jiang[1*], XU Da-ping[1], LIU Xiao-jin[1], HONG Zhou[1], XIAO Yu[2] ([1]*Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou* 510520, *China*; [2]*Zhen He Li Ecological Environment Co., Ltd, Shenzhen* 518052, *Guangdong*, *China*).

Abstract: To investigate the suitable canopy density and light intensity for the cultivation of *Camellia nitidissima* in the understory planting, the *C. nitidissima* saplings grown under *Dalbergia odorifera* with different planting densities, and the *C. nitidissima* seedlings under shading network of different aperture sizes were chosen as study materials, to study the photosynthetic physiological characteristics of *C. nitidissima*. The results showed that the net photosynthesis rate decreased with decreasing the light intensity when the light intensity was below 700 μmol·m^{-2}·s^{-1}, stomatal conductance tended to increase at first and then decrease, intercellular CO_2 concentration increased, transpiration rate decreased, and water use efficiency varied non-significantly with decreasing light intensity. The correlation of leaf gas exchange parameters showed difference between seedlings and saplings, whereas there was no significant difference in the relationship of net photosynthesis rate with stomatal conductance between seedlings and saplings. The phenotypic plasticity of leaf gas exchange parameters of *C. nitidissima* saplings was high, being over 0.8. Our results showed that there was photoinhibition observed in *C. nitidissima* saplings under the light density of 700 μmol·m^{-2}·s^{-1}. So we suggest that the cultivation of *C. nitidissima* in the understory planting should be conducted in forest stands with above 30% canopy density to avoid growth inhibition by light stress.

Key words: *Camellia nitidissima*; light intensity; gas exchange parameters; stomatal limitation; phenotypic plasticity.

广东省林业科技创新项目(2015KJCX033)和中央级公益性科研院所专项 (RITFYWZX201301)资助。
收稿日期: 2017-01-11 接受日期: 2017-06-01
*通讯作者 E-mail: yzengjiang@126.com

光是影响植物生长发育和分布的重要环境因子,同一种植物因为长期生长在不同的光强下,其形态生理指标会发生相应的改变来适应不同的光环境。光合作用是植物生长和生物量积累的基础,植物在不同光强下具有不同的光合作用特征。光照强度显著影响植物的光合作用,随着光照强度的降低,光合速率降低(张智顺等,2010;刘柿良等,2012)。

金花茶(*Camellia nitidissima* C.W. Chi)是山茶科(Theaceae)山茶属金花茶组(*Camellia* Sect. Chrysantha)植物,是山茶科植物中唯一一种开黄色花的植物,被称为"植物界大熊猫",被列为国家一级保护植物。金花茶为常绿小乔木或灌木,天然分布在广西南部的南宁、防城、隆安和越南北部等地(邓桂英等,2000;韦霄等,2007)。金花茶适宜在温暖、潮湿和半阴半阳地带生长,已经成为林下经济发展的首选树种(邓荫伟等,2016)。以往的研究多集中于金花茶的繁育(柴胜丰等,2009;韦霄等,2010;蔡兴新等,2015)、正常生长条件下的盆栽幼苗(韦霄等,2007;杨期和等,2010)和幼树(熊忠臣等,2012;柴胜丰等,2015)的光合生理特性,以及干旱胁迫(柴胜丰等,2015;何梦伊,2016)和不同光照强度对金花茶盆栽幼苗光合生理特性的影响(柴胜丰等,2012;2013)等方面。目前对金花茶光合特性的研究多局限于幼苗,而对于野外不同光环境中的幼树或成树的研究则鲜有报道。降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T. Chen)是中国重要的珍贵树种,在降香黄檀等珍贵树种下套种金花茶在广东地区是一种较为常见的复合经营模式。套种在不同种植密度的降香黄檀的金花茶生长表现显著差异。一方面,由于降香黄檀种植密度不同,故金花茶生长的光环境表现出不同,另一方面,当叶片接收的光量子密度超过植物本身能够利用的光能时会表现出光抑制,光合降低。所以在生产实践中套种金花茶前需要解决的一个问题就是适合金花茶生长的最适光强是多大?本研究选取金龙珍贵树种基地降香黄檀不同密度下套种的金花茶为研究对象,对不同郁闭度下的金花茶进行了分析。本研究主要解决以下问题:(1)不同种植密度降香黄檀下的金花茶光合生理特性是如何响应的,最适光强是多大?(2)对不同光强下金花茶光合速率降低的气孔限制和非气孔限制原因进行分析。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在肇庆金龙珍贵树研究基地开展,试验地经纬度112°36′E,22°50′N,属南亚热带海洋性季风气候,年均温22.5 ℃,全年无霜,年均降雨量1633 mm,土壤为花岗岩发育的赤红壤,土层厚达100 cm以上,理化性质见表1。

1.2 材料与处理

研究材料选择金龙珍贵树种基地降香黄檀林下套种的金花茶幼树和遮阴网下生长的金花茶幼苗。其降香黄檀的林龄为12年,胸径11.8~16.4 cm,树高6.5~7.4 m,南北冠幅2.6~3.5 m,株行距有3 m × 4 m、4 m × 4 m、4 m × 6 m和4 m × 8 m。林分种植9年时开始种植油茶嫁接金花茶苗,苗高1.2~1.7 m,地径3.5~5.0 cm,密度1.5 m × 1.5 m(表2)。这里幼树指的是已经成树,并分开套种在降香黄檀下的金花茶。幼苗指的是还在遮阴网下生长而没有移栽的2年生扦插苗。

1.3 光合测定

挑选晴朗无云的晴天,于10:00—15:00用LI-6400便携式光合作用分析系统(美国)测定苗木叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r),水分利用效率:WUE=净光合速率P_n/蒸腾速率T_r。测定时每种郁闭度下每个样点选择4棵树,每棵树挑选树冠上层生长健康、无病害、发育成熟的叶片,测定时在东南西北四个方向分别挑1片,每棵测定3~4片,测定位在叶片中部。测定时用缓冲瓶,保证CO_2浓度的稳定,约为(399 ± 14.6) μmol · mol^{-1}。光强设置前在10:00—12:00,用光合仪探头上的外置光量子传感

表1 试验地土壤理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of soil in the study plot

土层深度(cm)	速效氮(mg · kg^{-1})	速效磷(mg · kg^{-1})	速效钾(mg · kg^{-1})	有机质(mg · kg^{-1})	pH
0~20	28.75±1.08	9.31±0.42	70.44±4.28	6.71±0.96	4.49±0.26
20~40	27.50±1.24	6.62±0.62	68.57±4.82	6.26±0.51	4.49±0.20
40~60	35.00±1.30	3.94±0.12	95.79±6.96	7.49±0.46	4.56±0.26

表 2 金花茶生长环境基本情况
Table 2 General information of *Camellia nitidissima* stands

类型	光强编号	郁闭度(%)	光强(μmol·m^{-2}·s^{-1})	种植说明
幼树	L1	30	700	林下
	L2	40	500	林下
	L3	50	400	林下
	L4	60	300	林下
	L5	70	200	林下
	L6	75	120	林下
幼苗	L7	90	50	90%遮阴网下扦插苗 2 年生
	L8	85	100	85%遮荫网下扦插苗 2 年生
	L9	75	200	75%遮荫网下扦插苗 2 年生

器分别在每个不同郁闭度的样地中选 5 个点测定光强计算平均值,进行编号(表 2)。在每个光强编号下测定的实际光强作为该样点下 LI-6400-2B 红蓝光源的设定光强。

1.4 数据分析

用 SPSS 19(IBM,USA)对实验数据进行 ANOVA 方差分析、多重比较(Duncan 法) 和相关性分析。表型可塑性指数 PI=(最大值-最小值)/最大值。实验数据呈现形式为平均值 ± 标准差。

2 结果与分析

2.1 幼树光合生理特征

2.1.1 不同光生长环境下净光合速率 不同光强下净光合速率(P_n)表现出显著性差异($P<0.05$)(图 1)。当光强小于 700 μmol·m^{-2}·s^{-1}时,P_n随着光强的逐渐降低而降低,P_n 变动范围为 1.01~4.09 μmol·m^{-2}·s^{-1},L2 光强净光合速率最大,L6 光强下最小。

2.1.2 不同光生长环境下气孔导度 不同光强下气孔导度(Cond)表现出显著性差异($P<0.05$)(图 2)。Cond 随着光强的降低呈现先升高后降低的变化趋势,其变动范围为 0.02~0.04 μmol·m^{-2}·s^{-1},L2 最大,L6 最小。

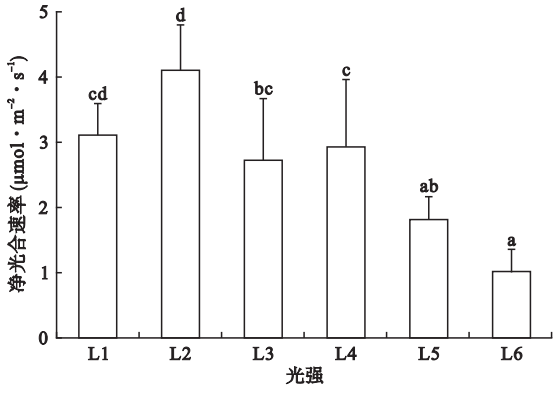


图 1 不同郁闭度下净光合速率
Fig.1 Net photosynthetic rate under different canopy density

2.1.3 不同光生长环境下胞间二氧化碳浓度 不同光强下胞间二氧化碳浓度(C_i)表现出显著性差异($P<0.05$)。C_i随着光强的降低逐渐升高,其变动范围为 229~309 mmol·mol^{-1},最大的光强是 L6(图 3)。

2.1.4 不同光生长环境下蒸腾速率 不同光环境下蒸腾速率(T_r)表现出显著性差异($P<0.05$)(图 4)。T_r随着光强的降低而降低,变动范围为0.3~0.8 μmol·m^{-2}·s^{-1},最大的是 L1 和 L2 光强,L6 光强最小。

2.1.5 不同光生长环境下水分利用效率 不同光环境下水分利用效率表现出显著性差异($P<0.05$)。WUE 随光强的逐渐降低其变动趋势不明显,变动范围为 3.2~6.3 μmol CO_2·mmol^{-1} H_2O,其中 L2 和 L4 最大,L6 最小(图 5)。

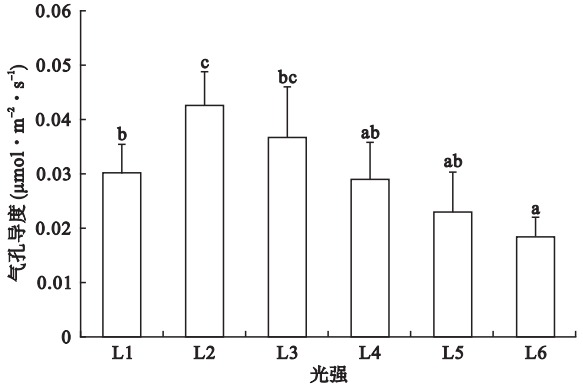


图 2 不同郁闭度下气孔导度
Fig.2 Stomatal conductance under different canopy density

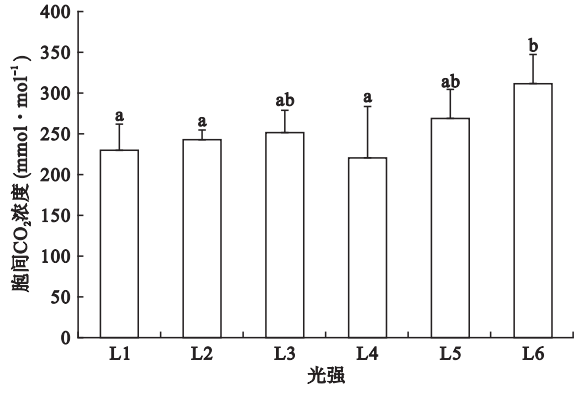


图 3 不同郁闭度下胞间 CO_2 浓度
Fig.3 Intercellular CO_2 concentration under different canopy density

表 3 幼苗气体交换参数

Table 3 Gas exchange parameters of seedlings

光强	P_n	Cond	C_i	T_r	*WUE*
L7	0.64±0.37 a	0.01±0.01 a	223.42±115.17 ab	0.10±0.07 a	8.45±5.05 c
L8	1.47±0.58 b	0.02±0.01 b	281.83±56.40 b	0.32±0.10 b	5.11±2.39 a
L9	2.94±0.84 c	0.03±0.01 b	184.29±68.92 a	0.47±0.23 c	7.04±2.10 ab

不同小写字母表示显著性差异,$P<0.05$,$n=10$。

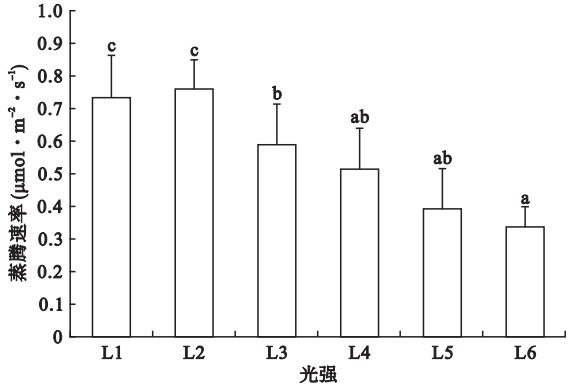


图 4 不同郁闭度下蒸腾速率 T_r

Fig.4 Transpiration rate under different canopy density

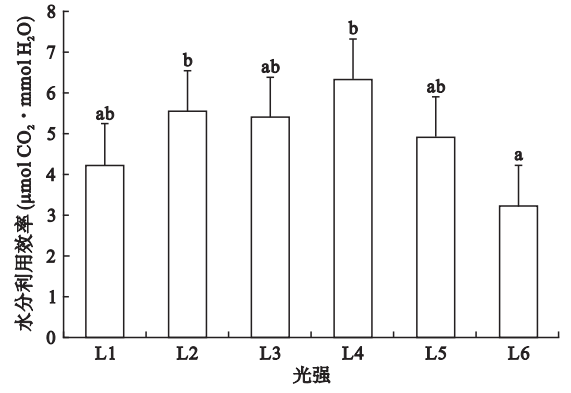


图 5 不同郁闭度下水分利用效率 WUE

Fig.5 Water use efficiency under different canopy density

2.2 幼苗气体交换参数

不同光环境下幼苗净光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)和水分利用效率(*WUE*)表现出显著性差异($P<0.05$)(表 3)。P_n变动范围在 0.64~2.94 μmol · m^{-2} · s^{-1},Cond 变动范围在 0.01~0.03 μmol · m^{-2} · s^{-1},C_i变动范围在 184.29~223.4 mmol · mol^{-1},T_r变动范围在 0.1~0.47 μmol · m^{-2} · s^{-1},*WUE* 变动范围在 5.11~8.45 μmol CO_2 · $mmol^{-1}$ H_2O。

2.3 气体交换参数之间相关性分析

由表 4 可以看出,不同光环境下幼树和幼苗,以及幼树和幼苗合并后的数据气体交换参数均表现出显著相关($P<0.05$)。P_n与与 Cond、C_i、T_r和 *WUE* 相关关系在幼树、幼苗和总体表现出不同。进一步对光合和气孔导度做回归分析(表 5)得出方程之间的斜率均在 0.8 附近,用线性拟合 R^2在 0.6~0.7。

2.4 幼树气体交换参数之间表型可塑性分析

对不同郁闭度下幼树的气体交换参数进行表型可塑性分析(图 6)。表型可塑性为 0.82~0.96,T_r、Cond 和 P_n可塑性相对较低,在 0.83 左右,*WUE* 和 C_i可塑性相对较高,均高于 0.9。

3 讨 论

3.1 光合速率降低原因

强光下,叶片光系统反应中心会由于光抑制造成暂时失活或是损伤,一些植物在强光下的光合能力并未高于遮阴环境下,适度遮阴时其光合能力最

表 4 幼树和幼苗气体交换参数相关分析

Table 4 The correlation analysis of gas exchange parameters between saplings and seedlings

		Cond	C_i	T_r	*WUE*
幼树	P_n	0.823**	−0.707**	0.795**	0.619**
	Cond		−0.265	0.883**	0.261
	C_i			−0.292	−0.874**
	T_r				0.076
幼苗	P_n	0.816**	−0.164	0.840**	−0.077
	Cond		0.320	0.987**	−0.479**
	C_i			0.265	−0.929**
	T_r				−0.457
总的	P_n	0.836**	−0.207	0.834**	−0.042
	Cond		0.243	0.961**	−0.422**
	C_i			0.202	−0.913**
	T_r				−0.440**

** 表示 $P<0.01$,幼树、幼苗和总的 $n=23$,30 和 53。

表 5 光合和气孔导度回归分析

Table 5 The regression analysis of photosynthesis and stomatal conductance

类型	方程	R^2	F 值	样本数 n
幼树	$P_n=0.82$Cond	0.68	44.02**	23
幼苗	$P_n=0.81$Cond	0.65	55.89**	30
总的	$P_n=0.84$Cond	0.69	118.19**	53

** 表示 $P<0.01$。

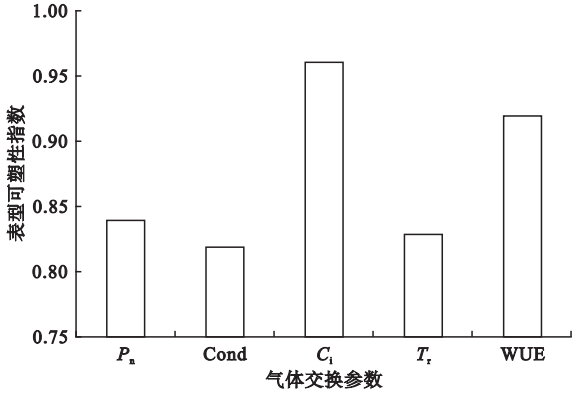


图 6 不同光强处理下表型可塑性(PI)分析
Fig.6 The phenotypic plasticity (PI) under different light intensity treatment

大,有利于植物生长(Black *et al.*,2005;胡启鹏等,2008)。本研究中,P_n值随着光强的降低呈现出先升高后降低的趋势,这说明在 L1 光强下发生了光抑制,而适度遮阴有利于光合速率的提高。

气孔是叶片与外界进行气体交换的门户,植物净光合速率下降可能是气孔限制与非气孔限制。气孔限制指的是随着环境因子的变化,其叶片水分散失,气孔开度减小,气孔阻力增加,CO_2进入叶片受阻,导致净光合速率下降(姚庆群等,2005)。非气孔限制指的是环境因子使得叶绿体结构发生变化,植物膜系统受损,光合色素降解,光合电子传递系统遭到破坏等一系列生理生化过程,导致光合速率降低(杨凤云,2004)。本研究中,随着光强的降低,Cond 降低,而 C_i逐渐升高,说明随着光强的降低,一开始 P_n降低的原因是由于气孔的关闭,胞间 CO_2减少导致气孔限制;而当光强降低到一个很低的水平时,C_i浓度增加,说明在光强较低时光合速率下降的原因可能是由于叶肉细胞叶绿体发生变化而导致非气孔限制发生。王满莲等(2015)研究发现,强光显著降低了地枫皮(*Illicicum difengpi* K.I.B. et K.I.M)与块根紫金牛(*Ardisia corymbifera* Mez. var. *tuberifera* C. Chen)的净光合速率(P_n),而秀丽海桐(*Pittosporum pulchrum* Gagnep)的 P_n则随着光强的升高而逐渐增大。这说明不同光照强度下,是否发生光抑制取决于该植物的生态学特性和利用强光的能力。而光合速率下降的原因是气孔限制还是非气孔限制取决于环境胁迫程度大小和植物本身对光的利用能力。

3.2 P_n与 Cond 关系

一些研究表明,植物光合速率与气孔开放程度密切相关(Allen *et al.*,2000;Bai *et al.*,2008;Chen *et al.*,2011)。本研究分别对幼树和幼苗的光合和气孔导度做回归分析发现,二者分开和合并分析的回归方程斜率均在一个较小范围内变动,R^2差异也不大(表 5),说明二者的关系在生长不同阶段没有表现出较为明显的差异。在植物生长过程中,P_n与 Cond 的关系会表现出种间差异(Bai *et al.*,2008,Portes *et al.*,2008,Wong *et al.*,2012),并受到光环境的影响(Portes *et al.*,2008)。本文 P_n与 Cond 的关系没有在幼树和幼苗两个生长阶段表现出不同,可能均是同一物种,其内部生理调控的结果。

3.3 不同光环境下气体交换参数表型可塑性

植物在长期的进化过程中,不断与周围环境进行选择与被选择的适应,最终形成了很多内在生理和外在形态的适应策略,这些生态适应性表现特征叫做植物性状。表型是生物体在异质或变化环境中生存至关重要的特性,是基因与环境相互适应调节的结果。生物在面临环境改变时,基因型会做出相应的改变、产生不同表型来应对生存环境的能力,称之为可塑性(Bradshaw,2006)。表型可塑性可以缓冲环境对其生存和繁殖造成的影响。此外,植物表型可塑性还可以反映周围环境的改变。通常表型可塑性较高的物种会占据更广泛的生态位(Sultan,2000,2004,2005)。不同光强下表型可塑性表现出种间差异(林波等,2008),本研究中,气体交换参数的可塑性均较大,均在 0.8 以上,说明气体交换参数调整是植物对异质光环境适应的一个重要途径,在不同光强下能够维持一个生物量的正向积累,较强的可塑性有利于对异质光环境的适应。

3.4 对生产实践的意义

金花茶是阴生植物,不耐强光。本研究结果表明,金花茶在 700 μmol · m^{-2} · s^{-1}光强下会发生光抑制。因此,在降香黄檀等珍贵树种下套种金花茶的实践操作中,应选择郁闭度 30% 以上的林分,避免强光胁迫,抑制生长。

致 谢 感谢华南农业大学植物光合专家吴俊文博士对本研究的技术指导。

参考文献

蔡兴新, 何 芬, 冯家平, 等. 2015. 我国金花茶繁育研究进展. 热带林业, **43**(3): 20-22.

柴胜丰, 庄雪影, 王满莲, 等. 2015. 濒危植物毛瓣金花茶与其同属广布种茶光合特性的比较. 广西植物, **35**(5):

623-630.
柴胜丰, 唐健民, 王满莲, 等. 2015. 干旱胁迫对金花茶幼苗光合生理特性的影响. 西北植物学报, **35**(2): 322-328.
柴胜丰, 韦 霄, 蒋运生, 等. 2009. 濒危植物金花茶开花物候和生殖构件特征. 热带亚热带植物学报, **17**(1): 5-11.
柴胜丰, 韦 霄, 史艳财, 等. 2012. 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. 植物研究, **32**(2): 159-164.
柴胜丰, 庄雪影, 韦 霄, 等. 2013. 光照强度对濒危植物毛瓣金花茶光合生理特性的影响. 西北植物学报, **33**(3): 547-554.
邓桂英, 杨振德, 卢天玲. 2000. 我国金花茶研究概述. 广西农业生物科学, **19**(2): 126-130.
邓荫伟, 张 敏, 姚吉霞, 等. 2016. 桉树林下金花茶不同密度栽培试验. 中国林副特产, (4): 19-22.
何梦伊. 2016. 干旱胁迫对金花茶幼苗光合生理特性的影响. 现代园艺, (2): 7-8.
胡启鹏, 郭志华, 李春燕, 等. 2008. 不同光环境下亚热带常绿阔叶树种和落叶阔叶树种幼苗的叶形态和光合生理特征. 生态学报, **28**(7): 3262-3270.
林 波, 刘 庆. 2008. 四种亚高山针叶林树种的表型可塑性对不同光照强度的响应. 生态学报, **28**(10): 4665-4675.
刘柿良, 马明东, 潘远智, 等. 2012. 不同光强对两种棓木幼苗光合特性和抗氧化系统的影响. 植物生态学报, **36**(10): 1062-1074.
王满莲, 韦 霄, 唐 辉, 等. 2015. 光强对三种喀斯特植物幼苗生长和光合特性的影响. 生态学杂志, **34**(3): 604-610.
韦 霄, 柴胜丰, 蒋运生, 等. 2010. 珍稀濒危植物金花茶种子繁殖和生物学特性研究. 广西植物, **30**(2): 215-219.
韦 霄, 蒋运生, 韦记青, 等. 2007. 珍稀濒危植物金花茶地理分布与生境调查研究. 生态环境, **16**(3): 895-899.
韦 霄, 王满莲, 蒋运生, 等. 2007. 显脉金花茶的光合生理特性研究. 植物研究, **27**(4): 434-438.
熊忠臣, 骆文华, 王满莲, 等. 2012. 金花茶与其伴生植物光合特性的比较研究. 广西科学, **19**(2): 201-204.
杨凤云. 2004. 土壤水分胁迫对梨树生理特性的影响. 安徽农业, (6): 11-12.
杨期和, 李旭群, 杨和生, 等. 2010. 金花茶幼苗光合生理生态特性研究. 北京林业大学学报, **32**(2): 57-63.
姚庆群, 谢贵水. 2005. 干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制. 热带农业科学, **25**(4): 84-89.
张智顺, 张庆费, 夏 檑, 等. 2010. 遮阴对几种绿化植物光合特性和生长的影响. 东北林业大学学报, **38**(3): 47-49.
Allen MT, Pearcy RW. 2000. Stomatal versus biochemical limitations to dynamic photosynthetic performance in four tropical rainforest shrub species. *Oecologia*, **122**: 479-486.
Bai K, Liao D, Jiang D, *et al*. 2008. Photosynthetic induction in leaves of co-occurring *Fagus lucida* and *Castanopsis lamontii* saplings grown in contrasting light environments. *Trees*: *Structure and Function*, **22**: 449-462.
Black K, Davis P, McGrath J, *et al*. 2005. Interactive effects of irradiance and water availability on the photosynthetic performance of *Picea sitchensis* seedlings: Implications for seedling establishment under different management practices. *Annals of Forest Science*, **62**: 413-422.
Bradshaw AD. 2006. Unravelling phenotypic plasticity: Why should we bother. *New Phytologist*, **170**: 644-648.
Chen J, Zhang Q, Li X, *et al*. 2011. Steady and dynamic photosynthetic responses of seedlings from contrasting successional groups under low-light growth conditions. *Physiologia Plantarum*, **141**: 84-95.
Portes MT, Alves TH, Souza GM. 2008. Time-course of photosynthetic induction in four tropical woody species grown in contrasting irradiance habitats. *Photosynthetica*, **46**: 431-440.
Sultan SE. 2000. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, **5**: 537-542.
Sultan SE. 2004. Promising directions in plant phenotypic plasticity. *Perspectives in Plant Ecology*, *Evolution and Systematics*, **6**: 227-233.
Sultan SE. 2005. An emerging focus on plant ecological development. *New Phytologist*, **166**: 1-5.
Wong S, Chen C, Huang H, *et al*. 2012. Using combined measurements for comparison of light induction of stomatal conductance, electron transport rate and CO_2 fixation in woody and fern species adapted to different light regimes. *Tree Physiology*, **32**: 535-544.

作者简介 崔之益,1988年生,男,博士研究生,主要研究方向为热带珍贵树种心材形成。E-mail: cuizhiyi2012@126.com

责任编辑 李凤芹