

金花茶叶片性状对不同光环境梯度的响应

胡兴华, 李洁维, 蒋桥生, 赵瑞峰

(广西壮族自治区广西植物研究所, 广西 桂林 541006)
中国科学院

摘要: 金花茶叶片对光环境变化的响应包括质量性状和数量性状的变异。对广西南部金花茶的5个自然种群的光环境及其叶片数量性状等进行观测研究。结果显示:光照强度影响金花茶叶长和叶宽生长间的相关性,当相对光强 $<20\%$ 时,叶片长宽增长具有显著相关性,相关系数 ≥ 0.85 ;在相对光强 $\geq 20\%$ 的环境中,相关系数明显变小,相关性不显著;低光照强度下金花茶倾向于形成短窄型叶片,高光照强度则使其倾向于形成长阔型叶片。并对该研究揭示的这种叶片数量性状变异规律在金花茶保护中的应用前景进行了探讨。

关键词: 金花茶; 光环境; 光胁迫; 数量性状; 叶性状

中图分类号: Q948.11 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2010)03-0355-07

Responses of leaf characters of *Camellia nitidissima* to different light environments

HU Xing-Hua, LI Jie-Wei, JIANG Qiao-Sheng, ZHAO Rui-Feng

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China)

Abstract: Responses of leaves of *Camellia nitidissima* to the changes of light environment include the variations of both qualitative and quantitative characters. In this paper, the variations of leaf quantitative characters of this plant were reported. The responses of leaves were firstly studied under three simulated light environment conditions, then investigations on the relationships between the light environment and the quantitative characters variations of *C. nitidissima* leaves from five populations distributing in South Guangxi were implemented. The results indicated that condition of relative light intensity lower than 20% could lead to a significant correlations between leaf length growth and leaf width growth, but when it increased higher than 20% , the correlations turned to be insignificant. Besides, trees living in low light intensity environment tended to develop short-narrow shape leaves, while trees in high intensity light environment tended to develop longer and wider leaves. Finally, the application potential of leaf quantitative characters for *C. nitidissima* conservation was discussed.

Key words: *Camellia nitidissima*; light environment; light stress; quantitative character; character of leaf

光胁迫是抑制金花茶生长发育的关键因子(傅立国,1992),只有生长在光照强度较低的环境中,金花茶才能完成正常的生长发育(苏宗明等,1988)。金花茶叶片能接受的光合有效辐射一般小于 $12.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (韦霄等,2007)。说明极低强度的光照就足以使其达到光饱和点。相反,如果光环境改变成直射光,金花茶会出现叶片发黄、生长缓慢等症,逐步枯萎直至凋亡(韦霄等,2007;苏宗明等,

1988)。尽管金花茶的生境特点(傅立国,1992;韦霄等,2007;苏宗明等,1988)、群落结构(韦霄等,2008)和种群遗传结构(宾晓芸等,2005)等得到深入研究和阐述,但金花茶在渐次临近及达到胁迫光强环境中的性状特征尚未见报道,光胁迫发生发展过程中金花茶的性状变异方向和变异特点有待研究。

叶长和叶宽增长间的关系及由此塑造的叶型等级是测度植物生态变异的重要维度(Weatoby 等,

收稿日期: 2009-03-09 修回日期: 2009-11-10

基金项目: 广西留学回国人员科学基金(桂科回 0575008)[Supported by the Provincial Science Foundation for the Returned Scholars of Guangxi(0575008)]

作者简介: 胡兴华(1974-),男,广西南丹人,在读博士研究生,主要从事保护生物学和分子生态学研究,(E-mail)huxinghua_hu@gmail.com。

2002)。它反应了植物对环境选择压力所采取的生态对策和方式(Maynard等,1985)。作为光合作用器官,植物叶片的长宽关系和叶型等级的变异受光环境的深刻影响(Lai等,2005; Rozendaal等,2006; Weijsschede等,2006)。一方面,变异方向反映了植物对光环境变化的适应策略;另一方面,变异程度又说明光环境变化对植物所造成影响的程度。这种性状变异客观易测、便于定量测定,在研究植物对环境变化的响应机制中有重要意义。因此,不同光环境下植物叶片的长宽关系和叶型等级的变异特征日益受到重视(Rôças等,1997; Strauss-Debenedetti等,1994; 郭志华等,2006; 汤景明等,2008; 刘志国等,2008)。韦霄等(2007)、苏宗明等(1988)的研究注意到强光对金花茶

叶片所产生的胁迫结果,并进行了“叶片发黄”、“叶片缩小”等概略性的描述,但对胁迫发生早期金花茶叶片的性状特点目前尚未见报道。

本研究先以一棵大树树冠内外的光环境模拟金花茶生境里荫闭、偏强、直射光三个等级的光环境,观察总结这三种光环境里种植的金花茶叶片的性状特点;再进一步研究广西南部4个自然林和1个人工林里金花茶种群的叶片性状与光环境的关系,试图回答如下问题:(1)在荫闭的光环境下,金花茶叶片具有怎样的长宽关系和叶型?(2)光照增强对金花茶叶片长宽关系和叶型有何影响?(3)在耐受极限的光照强度下金花茶叶片具有怎样的“临界性状”?对深入探索金花茶光胁迫产生机制,准确识别

表1 金花茶野外观测地点

Table 1 Locations of field investigation on *Camellia nitidissima*

调查地点 Investigation sites	调查地点代号 Investigation sites	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude (m)
防城港那梭镇灰塘山山麓	PM	108°08.175'	21°46.270'	120
东兴江平镇较东村	JP	108°12.590'	21°36.809'	10
防城那梭镇灰塘山山腰	NS	108°08.258'	21°46.360'	280
南宁坛洛镇富庶村	TI	107°47.385'	22°55.743'	242
崇左凤凰山林场那娥分场天然林保护区	NE	107°44.730'	22°54.773'	282
崇左凤凰山林场那娥分场米老排人工林	MFv	107°44.478'	22°55.048'	301

金花茶光胁迫的预警性状具有重要的现实意义。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究点位于广西南部的金花茶自然分布区,研究区内金花茶群落分布于107°44.730'~108°12.590'E,21°36.809'~22°55.743'N。气候夏热冬暖,高温多雨,年平均气温21.6~22.5℃,最冷月平均气温13.4~16.4℃,最热月平均气温28~28.6℃。极端最低气温-2.1℃,极端最高气温37.8~37.9℃,年积温1600~8196℃,年降水量为1200~2784mm,相对湿度78%~83%。土壤为砂岩、页岩等风化发育而成的砖红壤、红壤,pH4.0~5.5(傅立国,1992)。

1.2 光环境和叶片性状的观测方法

1.2.1 三种光环境的模拟实验 实验点位于防城港市防城区那梭镇灰塘山山麓(PM)(表1,图1),地处防城金花茶保护区的缓冲区,选择一棵约30龄的八角树做实验,树高约10m,冠幅(WE×NS)=4.0m×4.0m,分别以其塔状树冠内膛下的荫影区、外围树冠下的荫影区以及树冠外侧的裸露地的光环境模

拟荫闭、偏强和直射光3个光环境,2005年分别在这3个光环境的区域内种植高1.2m的金花茶各一株,编号PM-1,PM-2,PM-3,三株金花茶同处南北向一条直线上(图2)。2006年8月选择晴好天气,以ZDS-10照度计同时观测PM-1,PM-2、PM-3树冠上方和开阔裸露地的光照强度,前三者分别与第四者的比值为各自的相对光强,一天中的观测时段分别为11:00,11:30,12:00,12:30,13:00,13:30,14:00;在每棵金花茶树冠上层沿不同方向分别选取10片当年生叶子,测量记录叶片的长度和宽度。

1.2.2 森林群落内金花茶的光环境条件及叶片性状观测 选择4个有地理代表性的天然林内金花茶种群和1个在人工林下自然恢复的金花茶种群进行观察,这5个种群分别为:(1)江平种群(JP),位于东兴市江平镇效东村,海拔最低,处于金花茶自然分布区的南界(韦霄等,2007;苏宗明等,1988),保存于当地风水林内;(2)那梭种群(NS),位于防城港市防城区那梭镇灰塘山,处于防城金花茶保护区的核心区内;(3)坛洛种群(TL),位于南宁市坛洛镇富庶村伯乐山,保存于当地生态公益林内,为金花茶自然分布区北界(苏宗明等,1988);(4)那娥种群(NE),位于崇

左凤凰山林场那娥分场天然林保护区;(5)米老排林种群(MF),分布于那娥分场米老排人工林内,由造林后土层中残留的金花茶树桩萌蘖恢复形成种群(表1,图1)。在各种群中按8~10的间距分别选择三株金花茶,株高1.5~2.0 m,按本文1.2.1的方法对光环境和叶片进行观测记录。

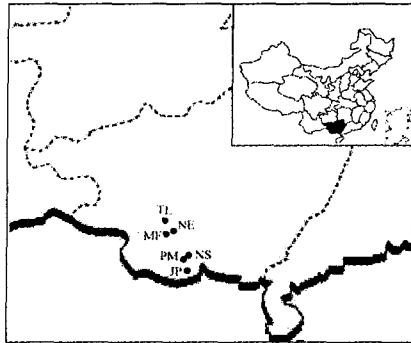


图1 金花茶野外调查位置示意图
Fig.1 Sites of the field investigation

1.3 数据分析

1.3.1 相关系数及其显著性检验 以金花茶叶片长度和宽度为变量1和变量2,计算各株金花茶的两变量相关系数R,对R值进行t检验,依据t值查得相关系数的概率P,所有运算在EXCEL软件上运行。

1.3.2 叶型分析 以金花茶叶片长度为Y,宽度为X,在坐标上构建叶长和叶宽间的散点图,在散点图上设两条交叉垂直线,水平线代表叶片长度中值12 cm,垂直线代表叶片宽度中值5 cm,这两条线将散点图分成i、ii、iii和iv 4个区域,落在i区的点所代表的叶片,其长度 ≤ 12.0 cm,宽度 ≤ 5.0 cm,属短窄叶型;落在ii区的点所代表的叶片,其长度 > 12.0 cm而宽度 ≤ 5.0 cm,属长窄叶型;照此类推,iii区的叶片长度 > 12.0 cm且宽度 > 5.0 cm,长阔叶型;iv区的叶片长度 ≤ 12.0 cm但宽度 > 5.0 cm,短阔叶型。

2 结果与分析

2.1 模拟光环境下金花茶叶片性状变化特点

依据多时段观测的光照强度,计算各植株光环境的相对光强,结果显示,位于树冠内膛下的PM-1相对光强最低,仅为8.85%;外围树冠下的PM-2的相对光强达30.33%,为PM-1的4倍;位于裸露地的PM-3相对光强最大,为100%(表3)。PM-2的相对光强之所以显著高于PM-1,是由于树冠内膛具有最

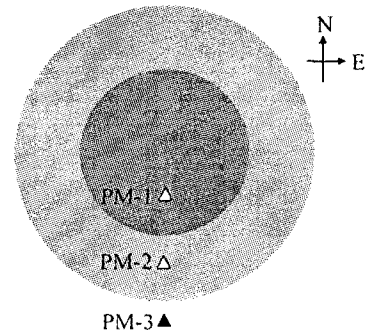


图2 单株八角树下3棵金花茶的生长位置
Fig.2 Sites of 3 *Camellia nitidissima* under an Aniseed tree
PM-1. 树位于树冠内膛下方; PM-2. 树位于树冠边缘下方;
PM-3. 树位于树冠之外全光照地。
PM-1. growing under the crow centre of big tree; PM-2. under skirt of the crow; PM-3. outside the crow.

大厚度的冠层,同时外围树冠的厚度显著缩小,所以内膛下光环境强度较低;而外围树冠下光照强度显著增大。八角树树冠外侧的裸露地,由于没有获得任何树冠的遮蔽,所以被直射光照射。总体上,树冠内膛与外围树冠下的阴影区以及裸露地较好地代表了金花茶的荫闭、偏强和直射光3个光环境。

三株试验树的叶片产生显著不同的性状。PM-1的叶片颜色浓绿,叶面光亮完整,叶片长宽间极显著相关,相关系数 $R=0.930$,显示绝大多数叶片的叶长和叶宽具有较强的协同增长特点;PM-2的叶片颜色泛黄,叶片虽完整但叶面可见少量褐斑,已显现出轻度的光胁迫症状,PM-3的叶片发黄,叶面分布大小不等的褐斑,部分叶片残缺不全,表明遭受了严重光胁迫。PM-2和PM-3的叶长宽相关性均不显著(表3),这说明,当相对光强超过30.33%,叶长与叶宽间不再存在明显共同增减的趋势,此时叶长和叶宽的生长各自主要受不同因素的驱动。此外,三株金花茶的叶型也存在显著差异。在短窄、长窄、长阔和短阔4种叶型中,PM-1所有抽样叶片100%属于短窄叶型;PM-2的抽样叶片属短窄型的占10%,长窄型占20%,长阔型占70%,短阔型为0;PM-3的抽样叶片属短窄型的占80%,长窄型占20%,长阔型和短阔型的均为0(表2,图3)。意味着更强光照的刺激下,金花茶叶片长度和宽度有更大生长的趋势,如果光强超过一定范围,又反过来抑制叶片长宽的生长,使多数叶片发育成短窄叶型。肖春旺等(1999)的研究显示,随着光照强度的增加,叶片大小出现先增加后下降的趋势,韦小丽(2003)的研

究结果也显示出相同的规律。看来,植物叶片的长度和宽度在一定范围内随光强的增加而增大可能是个普遍现象。此外,生长正常的金花茶,其叶长和叶宽间相关系数接近于 1.0,且相关性达极显著水平,受强光胁迫而生长不良的植株,其叶长和叶宽的相关系数

远小于 1.0,且相关性不显著。

2.2 群落林冠下光环境中金花茶叶片的变化特点

江平种群中 JP-1、JP-2 和 JP-3 的相对光照强度分别为 6.46%、6.15%和 3.67%,均低于 10%,其中 3 号植株的相对光照强度在所有观测植株中最

表 2 不同观测点金花茶叶片的形态特点
Table 2 Leaf shape of *Camellia nitidissima* from different locations

叶型 LS	A		B		C		JP		NS		TL		NE		MF	
	数量 Num.	%	数量 Num.	%	数量 Num.	%	数量 Num.	%	数量 Num.	%	数量 Num.	%	数量 Num.	%	数量 Num.	%
短窄 SN	10	100	1	10	8	80	15	50	19	63	8	27	6	20	4	13
长窄 LN	0	0	2	20	2	20	1	3	9	30	3	10	14	47	4	13
长阔 LW	0	0	7	70	0	0	14	47	2	7	19	63	10	33	22	74
短阔 SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小计 Total	10	100	10	100	10	100	30	100	30	100	30	100	30	100	30	100

Note: LS, leaf shape; SN, short and narrow; LN, long and narrow; LW, long and wide; SW, short and wide.

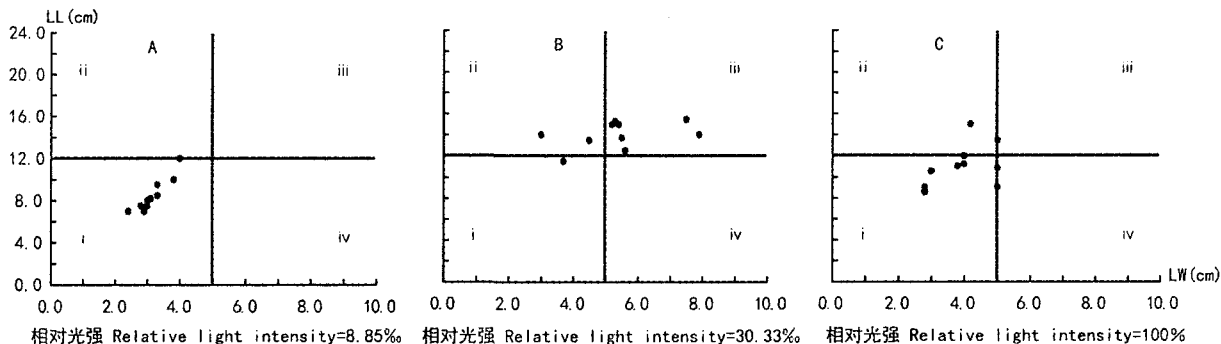


图 3 八角树下 3 个光强等级中金花茶叶片长宽变化散点图 (LL 示叶片长度; LW 示叶片宽度)

Fig. 3 Variation tendency of leaf size of *Camellia nitidissima* in three light leaf under an Aniseed tree

小。从表 3 看出,该种群中三株金花茶叶片的相关性均达极显著水平,且相关系数皆大于 0.900,与模拟光环境下的 PM-1 具有相似的性状特征;江平种群的叶型与 PM-1 却明显不同,几乎所有叶片的叶型向两个极端分化,形成短窄和长阔两叶型,比例分别占 50%和 47%,另外还有极少量的长窄型,占 3%(图 4,表 2)。由于得到长期良好保护,群落内大径树木较多,乔木层、下木层发育完整,所以在林冠下形成了很高的郁闭度,有利于金花茶的生长。两型叶产生的原因,可能与该种群所处位置海拔极低并紧挨海岸有关,海陆交接处的空气湿度往往较大,生长在高湿度环境中的植物倾向于增大叶面积以提高蒸腾速率,提高植物体内水分循环的效率。

那梭种群中 NS-1、NS-2 和 NS-3 的相对光照强度各为 11.95%、13.95%和 12.42%,整体上高于江平种群的相对光照强度。因为该保护区建立的历史较短,区内植物群落还处于演替的早期阶段,大径树

木罕见,与江平群落相比,其结构较简单(韦霄等,2008),所以林冠下的相对光照强度比江平的高。相关性分析显示,该种群中三株金花茶的叶片的长宽相关性尚处于极显著水平,只是相关系数数值略有下降,与江平相比,有两株金花茶(NS-1、NS-2)的相关系数低于 0.900,为 0.897 和 0.833(图 4,表 2)。本种群的叶型比例分布,短窄、长窄和长阔型分别为 63%,30%,7%,由于远离海岸,没有出现类似于江平种群的两型叶分化,但也与模拟光环境下的 PM-1 有别,虽然多数叶片仍是短窄叶型,但已有部分叶片发育成长窄型和长阔型,特别是长窄型,占近 1/3 比例。说明该群落有所增强的光环境已促使金花茶叶片长宽间生长速度发生较轻微的变异。

坛洛种群中 TL-1 和 TL-2 的相对光强分别达 19.24%和 15.50%,高于 15%,低于 20%,而 TL-3 的相对光强较低,为 5.12%,表明该种群所处群落的林冠下光照强度不仅明显增强,而且匀质性低,变化复

表 3 不同光环境下金花茶叶片长宽变化及其相关性分析
Table 3 The analysis of leaf size of *Camellia nitidissima* under different light levels

观测点 Location	株号 Tree No.	相对光强(‰) Relative light intensity	叶长 Leaf length(cm)		叶宽 Leaf width(cm)		叶长-叶宽 LL-LW	
			平均 Mean	标准误 SE	平均 Mean	标准误 SE	R	P
PM	A	8.85	8.47	±1.59	3.13	±0.47	0.930	<0.0001
	B	30.33	14.00	±1.28	5.35	±1.50	0.416	NS
	C	1000	11.05	±2.04	3.96	±0.88	0.433	NS
JP	1	6.46	10.89	±3.13	4.92	±1.78	0.904	0.0003
	2	6.15	11.57	±2.83	4.94	±1.37	0.937	<0.0001
	3	3.67	11.49	±3.01	4.87	±1.34	0.926	0.0001
NS	1	11.95	10.33	±2.93	4.20	±1.62	0.897	0.0004
	2	13.95	12.55	±1.14	4.25	±0.44	0.833	0.0027
	3	12.42	10.93	±2.06	3.97	±0.78	0.948	<0.0001
TL	1	19.24	16.74	±3.94	5.56	±1.43	0.959	<0.0001
	2	15.50	16.40	±4.72	5.13	±1.68	0.977	<0.0001
	3	5.12	17.33	±3.97	6.29	±1.59	0.970	<0.0001
NE	1	6.72	16.95	±4.09	4.73	±1.42	0.936	<0.0001
	2	5.18	15.98	±3.23	4.62	±1.09	0.894	0.0005
	3	5.73	16.62	±2.80	4.53	±1.04	0.970	<0.0001
MF	1	14.40	13.80	±2.78	5.62	±1.48	0.984	<0.0001
	2	23.97	18.70	±3.85	5.59	±1.09	0.466	NS
	3	25.78	17.89	±1.58	6.17	±0.64	0.718	0.0190

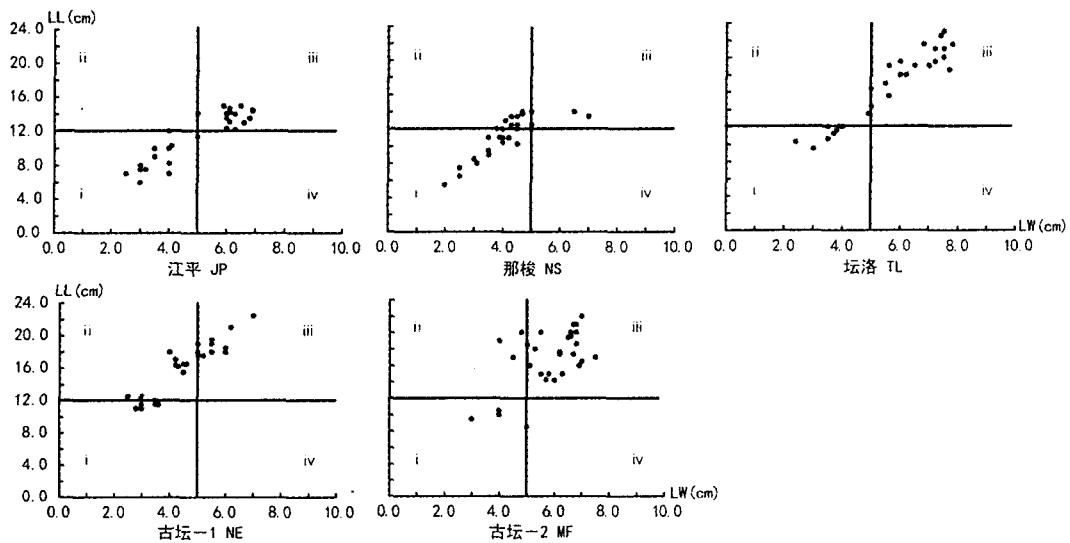


图 4 5 个群落的光环境下金花茶叶片长宽变化散点图 (i区,短窄叶型;ii区,长窄叶型;iii区,长阔叶型;iv区,短阔叶型)
Fig. 4 Leaf size change tendency of *Camellia nitidissima* under light environment of 5 different communities

杂。该群落属生态公益林，零星的采薪伐木活动使群落受到干扰，群落林相及结构在空间上变化比较复杂，可能是林冠下光环境增强且匀质性较低的主要原因。表 3 显示长宽生长速度极显著相关，且都具有极高的相关系数值，在较高相对光强下 TL-1 和 TL-2 叶片的长宽间生长速度仍显著，具有共同增减的趋势；表 3 还显示，该种群的叶型以长阔叶型为主，占 63%，短窄型和长窄型分别占 27%和 10%，叶片长

度和宽度生长比那梭种群有明显增长，其增长机制可能与模拟光环境下 PM-2 的叶片长宽增长的原因相同，即群落下较高的光照环境促使叶片长度和宽度的生长量增加。TL-3 的相对光强很低，但其叶片却反常增大，平均叶长和叶宽分别达 17.33 cm 和 6.29 cm，高于 1 号和 2 号植株，这种异常现象估计与 3 号植株是老树砍萌植株有关。此外，我们在 TL-1 和 TL-2 周围的地面上分别观察到金花茶幼苗 6 株，说

明 TL-1 和 TL-2 在相对光强为 19.24% 和 15.50% 的光环境中不仅生长正常,还可实现开花结实,繁衍新植株,使种群数量不断增长。与那梭种群相比,坛洛种群的光环境更高更复杂,但它的叶片长宽相关系数却高于前者,生长和更新状况也比前者更好,说明光环境对金花茶的影响并非以单一因素的形式独立产生作用,而是与多个生态因子,包括土壤湿度、营养状况、温度、坡向、纬度等因子协同作用,共同影响金花茶的生长发育,某一特定光照强度对金花茶是否形成胁迫,除了光照强度的高低外,还受其它生态因子的促进或缓冲作用的影响。

那娥种群 NE-1、NE-2、NE-3 的相对光强分别为 6.72%、5.18% 和 5.73%,均在 10% 以下,整体上与江平种群的光环境相似。表 3 显示,三株金花茶的叶片长宽极显著相关,NE-2 的相关系数值略低,为 0.894,3 号植株最高,达 0.970。从叶型比例看,该种群中短窄型、长窄型和长阔型叶片分别占 20%、47% 和 33% (图 4,表 2),长窄型叶片占较大比例,而长阔型叶片数量明显减少,仅为坛洛种群的 50%;在 NE-1、NE-2 和 NE-3 附近分布有大量不同等级的金花茶幼苗,说明相对光强约为 6.00% 时,当地金花茶生长发育良好,种群数量增长迅速。由于这片天然林得到严格保护,群落内乔木层、下木层和更新层完整,良好的群落结构为下层的金花茶提供了良好的荫闭环境。

米老排林中 MF-1、MF-2 和 MF-3 的相对光强分别为 14.40%、23.97% 和 25.78%,林下光照强度在所有群落中最高。表 3 显示,MF-1 叶片长宽极显著相关,相关系数值达 0.984,尽管相对光强达 14.40%,该株金花茶的叶长和叶宽生长仍具极其显著的共同增减关系;MF-2 的叶长叶宽相关不显著,表明 23.97% 的相对光强破坏了金花茶叶长和叶宽生长间的某种关联,使它们各自在不同因素的驱动下产生增长,其机制接近于模拟光环境下的 PM-2 和 PM-3;MF-3 的叶长和叶宽相关显著,但相关未达极显著水平,相关系数仅为较低的 0.718,相对光强 25.78% 的光环境虽不足以彻底破坏该株金花茶叶长叶宽生长间共同增减的关联,但已大大减弱了这种关联性。应注意的是,MF-2 的光照强度比 MF-3 低,但它却更明显地表现出光胁迫的征兆,这一方面反映了群落光环境的复杂性,另一方面说明光照对金花茶的作用还受其它生态因子的复杂影响。在所有抽样的叶片中,短窄型叶片占 13%,长窄型为 13%,长阔型高达 74%,

该群落最高的光照强度使最多的叶片发生叶长和叶宽的显著增长,虽然这种增长机制可能不同,但该金花茶种群具有最多的长阔型叶,与模拟光环境下的 PM-2 表现出相同的规律。米老排林下光照强度之所以比其它任何群落都高,一方面是由于林分间伐降低了林木密度,使冠层的冠隙扩大,林窗增多,大量的直射光进入群落下层,抬升了林下的光照强度,另一方面,米老排成年树枝叶密度小,树冠透光性大,也导致林下光照强度升高。不过,由于种植早期的米老排封林快,林下郁闭度高(郭文福,2006;吴庆锥,2005),为土层中残留树桩萌蘖的金花茶植株提供高荫闭度的光环境,促进了该种群的恢复。林木进入采伐期后,间伐、轮伐,重新垦地等活动将剧烈改变林内光环境,该种群的生存能否长期维持还有待观察。

2.3 金花茶叶片长宽相关性与光环境的关系

以所有植株的叶长叶宽相关系数值为 Y ,相应植株的相对光强为 X ,在坐标上构建散点图和趋势线(图 5),结果显示,当相对光强低于 20% 时,相关系数变化较小,曲线平直,当相对光强达到并超过 20% 后,曲线突然下滑,相关系数在仅 10% 的相对光强增幅内剧烈下降至 0.3 左右,并在以后一直处于较低的水平。以上分析结果显示,20% 的相对光强极有可能是一个重要的阈值,当相对光强低于 20% 时,金花茶叶片发育正常或基本正常,反之则开始出现生长发育的异常迹象。

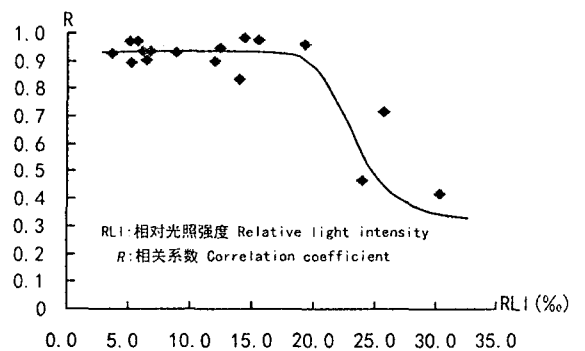


图 5 连续光强下金花茶叶片长宽度相关系数变化曲线
Fig. 5 Change curve of R value between leaf length and leaf width of *Camellia nitidissima* under different light environment

5 讨论

本研究揭示,在光环境逐渐增强条件下,随着光照强度渐次临近并达到胁迫光强,金花茶的叶片形

状发生由短窄到长窄,再到长阔叶型的连续变化,总体上表现出叶面积随着光照强度的增加而逐步增大的趋势。这种特征与李秋元等(1994)和赵永华等(2003)的研究结果恰好相反,这种截然相反的表现可能反映了喜阴植物和喜阳植物在适应性进化策略上的差异;另一方面,随着光照强度的增加,金花茶叶片长度和宽度间的相关性也从极显著下降为显著,最后变为不显著,而相关系数的数值则呈现曲线下降的变化规律。这种特征与刘全宏等(2001)的研究结果相似。显然,在光胁迫产生前后,金花茶叶片除了产生颜色转黄、出现病斑、枯萎凋零等质量性状变异外,还存在显著的数量性状变异(韦霄等,2007;苏宗明等,1988)。

与金花茶叶片质量性状变异相比,本研究揭示的数量性状变异具有重要的应用前景。由于叶片长度和宽度增长间的相关性水平反映金花茶对光环境的耐受程度,当相关性由显著向不显著转化之时,指示金花茶已达到光照强度的耐受上限,预示光胁迫即将发生。因此,对金花茶的某一植株或种群,通过抽样调查和分析其叶片形状和叶长宽间相关性等指标,可判断这些金花茶对光环境的耐受程度,并预测光胁迫发生的可能性。这种方法采集数据简便快速,更重要的是抽样调查过程无需破坏植物的任何器官,还可长期多次观测,分析方法简单,结果直观,不啻为研究金花茶与光环境关系的有效手段之一。

由于被研究的5个金花茶种群分处不同地理位置,很多环境因子不可避免存在差异,金花茶叶片所被观测到的性状变异不仅是光环境差异作用的结果,还受土壤、水分等差异的影响。尽管我们设置了土壤和水分等因子相对一致的预试验,但由于实施地处于防城金花茶自然保护区,实验材料取材受到限制,使用的金花茶株数较少,导致各个等级的模拟光照强度没有设置重复植株,存在一定的不足。所以,仅依据野外调查资料的分析结果,尚不足以断定金花茶叶片与光环境间存在上述数量性状变异规律。后续研究应利用人工繁殖的种苗在可控条件下进行光照强度的比对实验,对本研究揭示的这种数量性状变异规律进行检验。

叶长和叶宽增长间的关系及叶型等级反应了金花茶对光环境选择压力所采取的适应对策和方式。但植物对光环境压力的适应策略并不局限于此。无论在宏观还是微观的层次上,都能发现这种适应策略的存在。例如,胡喜生等(2006),徐程扬(2001)和

史刚荣(2005)的研究结果,充分说明植物在微观结构上存在对不同光环境的适应策略。要更完整地认识金花茶在不同光环境选择压力下的适应对策和方式,还有待于从更多层次上开展深入研究。

致谢 本文野外实验和调查工作得到防城金花茶国家级自然保护区管理局和崇左凤凰山林场的大力协助,华南农业大学林学院黄久香博士参加野外调查工作,在此一并表示衷心感谢!

参考文献:

- 傅立国. 1992. 中国植物红皮书—稀有濒危植物[M]. 第1册. 北京:科学出版社
- Bin XY(宾晓芸), Tang SQ(唐绍清), Zhou JY(周俊亚), et al. 2005. ISSR analysis on genetic diversity of *Camellia nitidissima* Chi(Theaceae) in China(金花茶遗传多样性的ISSR分析)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物学研究), 23(1):20-26
- Guo WF(郭文福), Cai DX(蔡道雄), Jia HY(贾宏炎), et al. 2006. Growth laws of *Mytilaria laosensis* plantation(米老排人工林生长规律的研究)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), 19(5):585-589
- Guo ZH(郭志华), Hu QP(胡启鹏), Wang R(王荣), et al. 2006. Acclimatization of midrib angle and petiole angle of *Camptotheca acuminata* decne to different light regimes in evergreen broadleaves forests(喜树幼苗的叶悬挂角和叶柄角对不同光环境的响应和适应)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), 19(5):647-652
- Hu XS(胡喜生), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2006. Response of structural plasticity of *Schima superba* sapling crown to different light conditions(不同光环境下木荷幼苗树冠结构的可塑性响应)[J]. *J Plant Res Environ*(植物资源与环境学报), 15(2):55-59
- Lai IL, Scharr H, Krauser C, et al. 2005. Leaf growth dynamics of two congener gymnosperm tree species reflect the heterogeneity of light intensities given in their natural ecological niche[J]. *Plant, Cell and Environment*, 28:1496-1505
- Li QY(李秋元), Chen HB(陈海滨). 1994. Variations in the ratios of length to breadth and dry-weight to area of oak-leaves(锐齿栎林分叶长宽比和叶干重面积比的变化)[J]. *J Northwest Fore Coll*(西北林学院学报), 9(1):8-11
- Liu QH(刘全宏), Wang XA(王孝安), Tian XH(田先华), et al. 2001. Morphological and anatomical characteristics of leaf of *Larix chinensis* and their relationship to environmental factors in Taibaishan Mountain(太白红杉(*Larix chinensis*)叶的形态解剖学特征与环境因子的关系)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), 21(5):885-893
- Liu ZG(刘志国), Cai YL(蔡永立), Li K(李恺), et al. 2008. Studies on the leaf size-twig size spectrum of subtropical evergreen board-leaved woody species(亚热带常绿阔叶林植物叶一小枝的异速生长)[J]. *J Plant Ecol*(植物生态学报), 32(2):363-369
- Maynard SJ, Burian R, Kauffman S, et al. 1985. Developmental constraints and evolution[J]. *Quarterly Review Biology*, 60:265-287
- Rozendaal DMA, Hurtado VH, Poorter L. 2006. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light, relationships with light demand and adult stature[J]. *Functional Ecol*, 20:207-216

(下转第315页 Continue on page 315)

- cross-pollination hypothesis for pollinium reconfiguration[J]. *Biol Lett*, **2**:65—68
- Pu GZ, Pan YM, Lin CR, et al. 2008. Comparison on floral dynamic, pollen viability and stigma receptivity between *Chirita guilinensis* and *Chirita baishouensis*[J]. *Guihaia*, **28**(3):320—323
- Rathcke BJ. 2003. Floral longevity and reproductive assurance: seasonal patterns and an experimental test with *Kalmia latifolia* (Ericaceae)[J]. *Am J Bot*, **90**:1 328—1 332
- Rathcke B, Real L. 1993. Autogamy and inbreeding depression in mountain laurel, *Kalmia latifolia* (Ericaceae)[J]. *Am J Bot*, **80**:143—146
- Ruan CJ, Jin H. 2007. Effects of climate conditions on delayed self-pollination in *Kosteletzkya virginica* [J]. *Acta Ecol Sin*, **27**:2 259—2 264
- Ruan CJ, Qin P, Han RM. 2005a. Strategies of delayed self-pollination in *Kosteletzkya virginica*[J]. *Chinese Sci Bull*, **50**:94—96
- Ruan CJ, Qin P, He ZX. 2004. Delayed autonomous selfing in *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae)[J]. *S Afr J Bot*, **70**:640—645
- Ruan CJ, Qin P, Xi YG. 2005b. Floral traits and pollination modes in *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae)[J]. *Belg J Bot*, **138**:39—46
- Ruan CJ, Zhou LJ, Zeng FY, et al. 2008. Contribution of delayed autonomous selfing to reproductive success in *Kosteletzkya virginica*[J]. *Belg J Bot*, **141**:3—113
- Seed L, Vaughton G, Ramsey M. 2006. Delayed autonomous selfing and inbreeding depression in the Australian annual *Hibiscus trionum* var. *vesicarius* (Malvaceae)[J]. *Aust J Bot*, **54**:27—34
- Shan Y, Zhang LJ, Zheng X, et al. 2007. Breeding system and inbreeding depression in halophyte *Kosteletzkya virginica* [J]. *J Nanjing Univ; Nat Sci*, **43**:284—289
- Stephens WC. 1948. Kansas wild flowers[M]. Lawrence: University of Kansas Press, KS.
- Sun SG, Guo YH, Gituru RW, et al. 2005. Corolla wilting facilitates delayed autonomous self-pollination in *Pedicularis dumiana* (Orobanchaceae)[J]. *Plant Syst Evol*, **251**:229—237
- Verma S, Magotra R, Koul AK. 2004. Stylar movement avoids self-pollination and promotes cross-pollination in *Eremurus himalaicus*[J]. *Curr Sci*, **87**:872—873
- Wang Y, Zhang D, Renner SS, et al. 2004. A new self-pollination mechanism[J]. *Nature*, **431**:39—40
- Yang SX, Yang CF, Zhang T, et al. 2004. A mechanism facilitates pollination due to stigma behavior in *Campsis radicans* (Bignoniaceae)[J]. *J Integr Plant Biol*, **46**:1 071—1 074
- Zhang DY. 2004. Plant Life History Evolution and Reproductive Ecology[M]. Beijing: Science Press

(上接第 361 页 Continue from page 361)

- Rôças G, Barros CF, Scarano FR. 1997. Leaf anatomy plasticity of *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) under distinct light regimes in a Brazilian montane Atlantic rain forest [J]. *Trees*, (11):469—473
- Shi GR(史刚荣). 2005. Study on developmental plasticity of leaf blades structure of *Hibiscus syriacus* (木槿叶片结构的发育可塑性研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), **25**(1):48—52
- Strauss-Debenedetti S, Berlyn GP. 1994. Leaf anatomical responses to light in five tropical Moraceae of different successional status[J]. *American J Bot*, **81**:1 582—1 591
- Su ZM(苏宗明), Mo LX(莫新礼). 1988. Geographic distribution of *Camellia* section *Chrysantha* from China(我国金花茶组植物的地理分布)[J]. *Guihaia* (广西植物), **8**(1):75—81
- Tang JM(汤景明), Zhai MP(翟明普), Cui HX(崔鸿侠), et al. 2008. Morphological responses and adaptation of seedlings of three tree species of Fagaceae family to different light environments(壳斗科三树种幼苗对不同光环境的形态响应与适应)[J]. *Sci Silv Sin* (林业科学), **44**(9):41—47
- Weatoby M, Falster DS, Moles AT, et al. 2002. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species [J]. *Annual Review Ecol Systematics*, **33**:125—159
- Wei XL(韦小丽). 2003. Ecological adaption of *Cinnamomum camphora* and *Cinnamomum bodinieri* seedlings in different light environment(不同光环境下香樟猴樟苗木的生态适应)[J]. *J Mountain Agric Biol* (山地农业生物学报), **22**(3):208—213
- Wei X(韦霄), Jiang YS(蒋运生), Tang H(唐辉), et al. 2008. Phytocoenological feature of the rare and endangered plant *Camellia nitidissima* (珍稀濒危植物金花茶的群落学特征)[J]. *Guihaia* (广西植物), **28**(2):183—190
- Wei X(韦霄), Jiang YS(蒋运生), Wei JQ(韦记青), et al. 2007. Investigation on the geographical distribution and habitat of *Camellia nitidissima* (珍稀濒危植物金花茶地理分布与生境调查研究)[J]. *Ecol Environ* (生态环境), **16**(3):895—899
- Weijsschede J, Martinkova J, Kroon H, et al. 2006. Shade avoidance in *Trifolium repens*: costs and benefits of plasticity in petiole length and leaf size[J]. *New Phytologist*, **172**:655—666
- Wu QZ(吴庆锥). 2005. Study of *Mytilaria laosensis* plantation biomass(米老排人工林生物量研究)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech* (福建林业科技), **32**(3):125—129
- Xiao CW(肖春旺), Liu YC(刘玉成). 1999. Ecological adaptation of *Gordonia acuminata* seedlings in different light environments (不同光环境的四川大头茶幼苗的生态适应)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **19**(3):422—426
- Xu CY(徐程扬). 2001. Response of structural plasticity of *Tilia amurensis* sapling crowns to different light condition(不同光环境下紫椴幼树树冠结构的可塑性响应)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(3):339—343
- Zhao YH(赵永华), LEI RD(雷瑞德), JIA X(贾夏), et al. 2003. Quantitative analysis on sharp-tooth oak stands in Qinling Mountain(秦岭锐齿栎群落数量特征的研究)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12):2 123—2 128