

生长光强和冬季低温对三种亚热带 木本植物生理特性的影响

林植芳 林桂珠 孔国辉 梁 春

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘 要

种植于 100%、40% 和 16% 自然光下的荷木、蕲蕨和黄果厚壳桂幼苗叶片, 在冬季低温期中细胞电解质未发生明显泄漏。强光下的黄果厚壳桂的叶绿素荧光 F_v/F_m 只有 0.34。离体叶圆片经 5℃ 弱光处理, F_v/F_m 下降。黄果厚壳桂在三种光下叶片的 chl a/b、可溶性糖/蛋白质和 F_v/F_m 皆比荷木和蕲蕨低。显示其对高光和低温较为敏感。40% 光比其他两种光强较有利于三种植物中有有机物的合成。

关键词: 生长光强; 低温; 亚热带木本植物; 生理特性; 叶绿素荧光

光是植物光合作用的能源和驱动力, 不同光合型或生活型与生态型的植物, 其光合作用对光强的要求有明显的差别。生长光强的改变往往导致了同种植物叶片形态解剖、超微结构和生理生化特性的相应变化^(5,6,16)。不同植物的需光特性是其对环境条件长期适应的结果, 其过程是相当复杂的。

前人对大豆、菜豆、碗豆⁽¹³⁾、猕猴桃、咖啡、红树林植物^(3,10,12)以及雨林下的阴生植物海芋⁽⁹⁾等叶片的光驯化特性与机理已进行了一系列研究。光强的变化常伴随着温度的改变, 自然条件下温度呈现季节性波动, 从而导致了叶片功能的变化。强光使阴生植物叶片产生光合作用的光抑制现象, 在温度低于 15℃ 时, 菜豆和猕猴桃叶片出现最大的光抑制^(11,12)。Smillic⁽¹⁴⁾指出, 一些热带果树在冬季低温期间, 叶片发生明显的光抑制, 而叶绿素荧光测定技术是鉴别植物对强光和低温敏感性的有效手段。

荷木、蕲蕨和黄果厚壳桂是广东鼎湖山南亚热带阔林天然林的主要优势乔木树种, 其幼苗在低光强的林下生长, 成年植株则处于冠层顶部。关于亚热带森林中主要建群组分的光生理生态习性, 其最佳的生长光环境及与温度的关系等, 过去知之甚少。有个别工作曾报导了荷木幼苗的气体交换特性对光温等因子的响应⁽¹⁵⁾, 但这只是测定光合作用时改变光温条件所得的结果。为此, 近年来我们在控制生长光强的条件下, 较系统地研究了荷木等的光生理生态和形成特性。本文报告生长于三种光强下的荷木等植物在冬季叶片一些生理特性的差异, 为了解不同树种的光驯化情况, 进而研究光驯化机理和加速天然林的发育演替等提供部分依据。

材料和方法

实验材料 荷木 *Schima superba*、鵝蕨 *Castanopsis fissa*、黄果厚壳桂 *Cryptocarya concinna* 幼苗采自鼎湖山常绿阔叶林下,盆栽,分成三组置于自然光和两种不同遮光率的聚脂黑绸布覆盖的棚架下,每个处理 25 盆,每天喷灌水分、定期施肥。光强以 Li-cor 195 型光量子计测定。自然光强为 100%,遮阴后的光强为自然光的 40%和 16%。在生长旺盛的 8 月,上午 9 时到下午 15 时半的植株叶面平均入射光强为 $823\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (自然光照下)、 $330\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (40%光强)和 $138\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (16%光强)。1992 年 4 月开始不同光强处理,1993 年 2 月上旬采集植株顶部成熟叶片作分析测定。

冬季低温条件 1993 年 1 月 15 日开始,气温明显下降,寒潮持续近半个月,其间的日均温 $4.2-10^{\circ}\text{C}$,最高气温 $6.1-18.1^{\circ}\text{C}$,最低气温 $2.7-7.5^{\circ}\text{C}$ 。1 月 31 日到 2 月 5 日,日均温回升至 $11.5-16.4^{\circ}\text{C}$,最高气温 $20-24^{\circ}\text{C}$,最低气温 $4.5-9.4^{\circ}\text{C}$ 。从 1 月 15 日至 2 月 5 日的平均日均温为 8.7°C 。此种温度条件比试验植物原产地鼎湖山历年的 1-2 月平均温度 $12-14^{\circ}\text{C}$ 低。

叶组织电导率 20 个叶圆片 ($d=7\text{mm}$) 置于 25°C 重蒸水中振摇,不同时间后用 DDS-11A 电导仪测定浸出液电导。随后将其煮沸,回流 15min,测定总渗出物电导度,计算未煮沸前活组织浸出液的相对电导率 (%)。

叶绿素和类胡萝卜素含量 叶片以 90%丙酮研磨提取色素,Beckman DU-7 分光光度计测定 663、645 和 440nm 吸收,按 Faderl^[9] 的公式计算色素含量和比率。

叶绿素 α 荧光 按陈贻竹等的方法^[1],叶圆片预先置暗下 30min,用 CAM 脉冲调制荧光仪测定叶绿素 α 荧光动力学。 F_0 以 $0.05\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 弱光诱导产生, F_m 以强光 ($6600\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 激发。

可溶性蛋白和可溶性糖含量 新鲜叶片以磷酸缓冲液 (50mmol/L, pH7.0) 提取可溶性蛋白质,考马斯亮蓝法测定。以 80%热乙醇提取可溶性糖,蒽酮法定量。

实验结果

一、叶片组织的电解质外渗与生长光强的关系

组织浸出液的电导率反映细胞膜半透性功能状况,是评估不同环境条件下生物膜结构完整性的一种生理指标。图 1 是生长于不同光强下的木本植物在冬季时细胞膜透性的测定结果。叶片浸出液的相对电导率随浸泡时间延长而增大。但浸泡 2-3.5h 后,荷木的电导率增高 1.2-1.6%,黄果厚壳桂增加 1.1-1.9%,鵝蕨增加 0.94-1.1%,变幅皆不大。荷木以生长于低光强的叶片有较高的电导率(图 1A)。鵝蕨也有相似的趋势,且 40%光强与 16%光强的叶片相对电导率相近(图 1B)。黄果厚壳桂则以自然光照下叶片的相对电导率较大,40%光强的较小(图 1C)。总的看来,叶组织电导率数值较低(15%以下),随光强不同的变化较少,表明在 1-2 月的低温期间(平均 8.7°C),三种植物叶片电解质没有明显泄漏,细胞膜结构未受到低温的伤害。

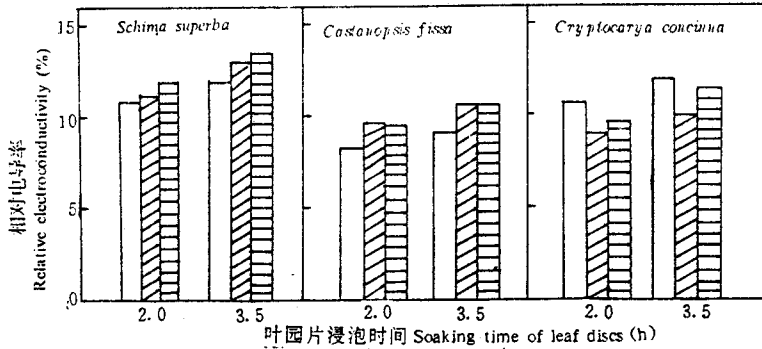


图1 生长光强对叶片电解质泄漏的影响

Fig. 1 Effect of growth irradiance on leakiness of leaf electrolyte

□ 100% light; ▨ 40% light; ▤ 16% light

然而, 单位叶面积的总渗出液(组织加热失去半透性后)电导度却与光强变化有关(表1)。光强下降引起总电导度的降低, 即弱光下生长的植物叶片含有较少的具导电性的无机离子。推测原因在于弱光下生长的叶片较薄、内含物较少, 且蒸腾速率较低。不过, 表1的结果也启示我们, 有必要进一步探讨是否可将组织总渗出物的电导度, 作为同种植物在不同环境下叶片中矿质元素水平相对量度的间接指标。

表1 生长光强对叶片总电导度的影响

Table 1 Effect of growth irradiance on total electric conductivity of leaf discs

种类 Species	$\mu\text{S}/\text{cm}/\text{cm}^2$			$\mu\text{S}/\text{cm}/100\text{mg FW}$		
	100%	40%	16%	100%	40%	16%
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	16.07 (100.0)	15.15 (94.2)	12.97 (80.5)	97.6 (100.0)	92.4 (94.7)	86.3 (88.4)
荷木 <i>Schima superba</i>	16.90 (100.0)	13.28 (78.5)	10.73 (63.4)	96.7 (100.0)	64.7 (66.9)	66.8 (68.8)
紫荆 <i>Castanopsis fissa</i>	18.79 (100.0)	14.83 (78.9)	10.50 (55.9)	107.1 (100.0)	86.3 (80.6)	75.0 (70.0)

* 括弧中的数字为相对百分比

Numbers in parenthesis are the relative percentage

二、叶片叶绿素荧光对生长光强和低温的响应

叶绿素荧光作为光合作用光系统的内在探针, 已广泛应用于植物生理生态, 尤其是适应性与逆境生理的研究上⁽¹⁴⁾。以荧光诱导曲线上求得的参数 F_0 (PS I 反应中心全部打开时的初始荧光)、 F_m (PS I 反应中心全部关闭时的最大荧光), F_v (可变荧光), F_v/F_0 (PS I 有效的还原活性) 及 F_v/F_m (PS I 反应中心原初光化学转化效率的指标) 的变化, 可以表示叶片对所吸收光能的传递速率与光合器的生理状态。生长于不同光强下的植物, 在2月上旬的叶片荧光参数如表2所示。在冬季低温季节中, 三种光强下生长的黄果厚壳桂叶片的 F_v/F_m 为 0.339—

0.665 之间,比一般 C_3 植物的 F_v/F_m 值 0.8 左右⁽⁴⁾低,比栽于同一条件下的荷木及黧蒴也低。自然光下生长的黄果厚壳桂的低 F_v/F_m ,说明其叶片的 PS I 光能转化效率降低,可能出现了光抑制现象。荷木叶片的 F_v/F_m 值以 16%光下生长的较高,40%光与 100%光下的 F_v/F_m 几无差别。黧蒴在 40%和 16%光下叶片的 F_v/F_m 值与一般植物的 0.8 相近,100%光下的 F_v/F_m 低于弱光下生长的叶片。

F_v/F_o 值的变化规律与 F_v/F_m 类似,皆以弱光下生长的叶片为高。显然,较弱的光有利于荷木等三种植物幼苗维持叶绿体 PS I 的正常光能传递效率。这与三种木本植物幼苗在天然林林下生长发育的特性相符。

表 2 生长光强对叶片叶绿素 a 室温荧光的影响

Table 2 Effect of growth irradiance on Chl a fluorescence at room temperature of leaves

种类 Species	F_v/F_m			F_v/F_o		
	100%	40%	16%	100%	40%	16%
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	0.339	0.590	0.665	0.505	1.475	1.999
荷木 <i>Schinus superba</i>	0.657	0.673	0.724	2.083	2.054	2.634
黧蒴 <i>Castanopsis fissa</i>	0.648	0.792	0.755	1.846	3.796	3.780

室温 Room temperature: 20°C

进一步以上述测叶绿素荧光后的离体叶园片,在 5°C, $100\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光下处理 9h, 结果发现经处理的叶片 F_v/F_m 及 F_v/F_o 值明显下降(图 2)。生长于 100%光下的三种植物叶片的 F_v/F_m 为低温处理前的 71—75%, 下降幅度相近。荷木和黧蒴的生长于 40%和 16%光下的叶片,在低温处理后, F_v/F_m 值也下降了 23—28%, 与 100%光下 F_v/F_m 的下降%相近。但是,弱光下生长的黄果厚壳桂叶片经低温处理后, F_v/F_m 分别降低了 57% (40%光) 和 42% (16%光)。可见,短时间的低温弱光处理,皆抑制了三种植物叶片的叶绿体光化学转化效率,其中尤以黄果厚壳桂的变化较为显著。

F_v/F_o 比值受低温弱光处理的影响较 F_v/F_m 要大,下降幅度更多,表明低温明显抑制了叶绿体 PS I 有效的还原活性。三种植物相比,黄果厚壳桂 F_v/F_o 的受抑程度同样比黧蒴和荷木大。由于生长时的 100%和 40%光强比低温处理时的光强 ($100\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 高得多,因此,这种人为的低温弱光处理,对于生长于较高光强下的植物叶片来说,实际上主要是低温的效应。

三、生长光强对冬季叶片生理特性的影响

植物对光强的适应与叶片生理特性的改变有关。随着生长光强减弱,叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量增大,16%光强下生长叶片的叶绿素含量为 100%光强下的 3.34 倍(黄果厚壳桂)、1.73 倍(荷木)和 3.36 倍(黧蒴),而相应的类胡萝卜素则分别为强光下的 1.68、1.18 和 1.54 倍。反之,Chl a/b 和 Carot. /Chl 值则随环境光强减弱而降低(表 3)。由此说明,弱光主要促进了叶绿素,尤其是 Chl b 的形成,从而提高了对光能的捕俘能力。以单位重量为基

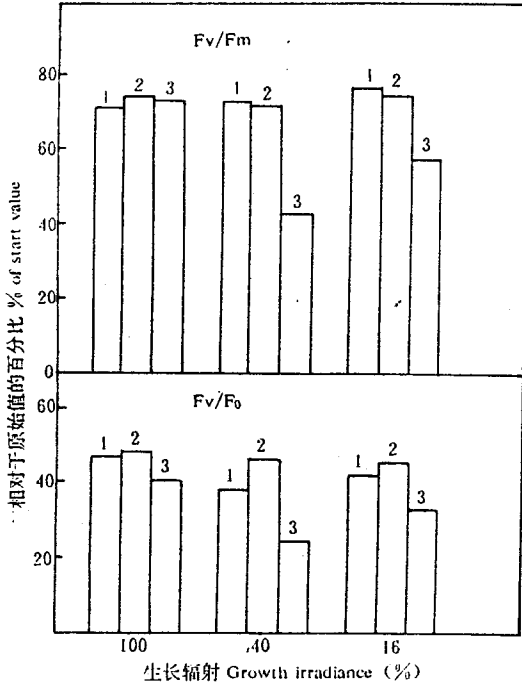


图2 低温处理对不同光强下生长的叶片叶绿素a荧光的影响
Fig. 2 Effect of low temperature treatment on Chl a fluorescence of leaves under different light intensities

1. 蕈蕨 *Castanopsis fissa*; 2. 荷木 *Schima superba*;
3. 黄果厚壳桂 *Cryptocarya concinna*

之间。低光下可溶性蛋白/Chl 减少, 与 Evans 的结论⁽⁸⁾一致。

数表示的色素含量变化的规律性, 比以单位叶面积表示的为好。叶绿素含量随光强减弱而增加的趋势与表2中 F_v/F_m 的变化一致。

生长光强对三种木本植物冬季叶片可溶性蛋白质和可溶性糖含量有不同的影响(表4)。蕈蕨叶片的可溶性蛋白质和糖以16%光下的最低, 100%光强的最高。黄果厚壳桂和荷木则以40%光下的高。可溶性糖/可溶性蛋白比值反映不同生长光强下叶片中参与活跃代谢活动的主要有机C/有机N的比率。降低光强使三种植物在越冬期叶片中C/N显示不同的变化。荷木的这一比值下降, 蕈蕨的增高, 黄果厚壳桂的只略有增大。

从表3与表4的结果计算可溶性蛋白质/叶绿素比值(表5), 发现除个别数值外, 低光下生长的植物的可溶性蛋白/Chl 比明显降低, 16%光下最小。其次, 100%光下三种植物之间的此比值有显著差别, 但在40%光下生长时, 不论以重量比或面积比表示的比值却甚为接近, 介于5—6.8

表3 不同生长光强对叶片光合色素的影响

Table 3 Effect of growth irradiance on photosynthetic pigment content of leaves

种类 Species	光强 Light (%)	叶绿素 Chl a+b			类胡萝卜素 Carotenoid		Car/Chl
		Chl a/b		μg/cm ²	mg/gFW		
		μg/cm ²	mg/gFW				
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	100	8.78	0.473	2.25	4.4	0.236	0.498
	40	21.20	1.320	2.41	5.8	0.359	0.272
	16	27.30	1.696	2.21	7.6	0.469	0.277
荷木 <i>Schima superba</i>	100	18.60	0.977	2.63	7.5	0.393	0.403
	40	18.50	1.032	2.53	4.8	0.269	0.261
	16	30.3	1.782	2.46	8.3	0.487	0.273
蕈蕨 <i>Castanopsis fissa</i>	100	5.2	0.311	3.17	3.2	0.191	0.612
	40	7.0	0.534	2.75	2.8	0.211	0.395
	16	14.9	1.193	2.62	4.2	0.337	0.282

表4 生长光强对叶片可溶性蛋白质和可溶性糖含量的影响

Table 4 Effect of growth irradiance on the contents of soluble protein and soluble sugar in leaves

种类 Species	光强 Light (%)	蛋白质 Protein		可溶性糖 Sugar		S/P*
		mg/cm ²	mg/gFW	mg/cm ²	mg/gFW	
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	100	0.139	7.348	0.428	29.06	3.52
	40	0.146	8.449	0.475	32.27	3.52
	16	0.082	4.716	0.348	23.67	4.63
荷木 <i>Schima superba</i>	100	0.059	5.266	0.930	54.60	13.06
	40	0.126	6.321	1.000	63.18	8.97
	16	0.103	5.719	0.959	60.54	9.95
紫荆 <i>Castanopsis fissa</i>	100	0.056	2.836	0.443	32.58	9.70
	40	0.045	2.652	0.416	33.38	10.91
	16	0.029	1.612	0.357	31.60	15.95

* S——可溶性糖 Soluble sugar; P——可溶性蛋白 Soluble protein

表5 生长光强对叶片可溶性蛋白质/Chl 比值的影响

Table 5 Effect of growth irradiance on the ratio of soluble protein to chlorophyll of leaves

种类 Species	100 light		40 %light		16 %light	
	W/W	A/A	W/W	A/A	W/W	A/A
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	15.52	15.83	6.44	6.32	2.78	3.00
荷木 <i>Schima superba</i>	5.38	3.17	6.13	6.81	3.21	3.39
紫荆 <i>Castanopsis fissa</i>	9.12	10.76	4.97	6.43	1.35	1.96

W—重量 Weight; A—面积 Area

讨 论

亚热带季风常绿阔叶林优势树种荷木、黄果厚壳桂和紫荆幼苗对生长光强的改变,皆表现了一定的适应性。叶片的光合色素组成和数量、主要的可溶性代谢物水平和比率、叶绿体 PS I 的功能等都受不同光强和低温的调节,使其能适应于不同环境条件下生长。在低于鼎湖山地区冬季低温的生长条件下,细胞膜系统未出现明显的损伤。然而,生长于 100%光下的叶片在越冬期的叶色有些泛黄,经 5℃处理 9h 后出现光抑制现象(PS I 的 F_v/F_m 下降)。40%光下生长的叶片有较多的可溶性糖类和蛋白质,及居于中间水平的叶绿素含量,和相对恒定的可溶性蛋白/Chl 比值。16%光下叶片蛋白质和可溶性糖明显下降等。这些表明,对于荷木等三种植物幼苗的生长和越冬而言,40%光强比其他两种光强更有利于有机物的合成与积累,以及光合作用机构的正常运转。与 40%光下叶片有较高的光合速率相符(另文报道)。

热带水果香蕉、木瓜等在寒冷季节时出现光合作用光抑制损伤的程度取决于当时的温度和光强,阳生叶的 F_v/F_m 值比阴生叶的小。低温敏感植物的 F_v/F_m 下降%比不敏感植物大^[14]。

叶黄素循环(类胡萝卜素的组分)对光抑制的产生具有防护作用^[7]。综合分析本文三种植物在1月—2月低温期间叶片的生理特性看出,100%光强下生长的黄果厚壳桂在自然低温条件下, F_v/F_m 只有正常C₃植物同一比值的一半,并为阴生叶(40%和16%光下)的0.51—0.57。荷木和黎蒴的阳生叶与阴生叶的 F_v/F_m 值的相对比值则达到0.82—0.98。离体叶圆片经低温处理后,黄果厚壳桂的 F_v/F_m 降低%也比其他两种植物高。另一方面,黄果厚壳桂叶片的可溶性糖/蛋白质比值只为荷木和黎蒴的36—32%,叶绿素及类胡萝卜素两者的相应阳生叶/阴生叶值比荷木和黎蒴的小。这说明黄果厚壳桂对低温和强光较敏感,荷木和黎蒴的适应性较强。

Chl a/b 是植物对环境光强适应性的一种指标。通常,阴生植物的Chl a/b 值为2.0—2.2以下,阳生植物在2.6—3.6之间。三种光强下生长的黄果厚壳桂叶片的Chl a/b 为2.2—2.4,比荷木(2.46—2.63)和黎蒴(2.62—3.17)低。可见,黄果厚壳桂幼苗叶片对强光及低温的敏感性,与其叶片的阴生性特点较强有关。这也许是其植株生长较缓慢的原因之一。

参 考 文 献

- 1 陈贻竹,李双顺,林植芳.光和抗氧化剂对受水分胁迫的玉米叶片叶绿素荧光猝灭的影响.植物学报,1993;35(增刊);38—44
- 2 黄展帆,范征广.鼎湖山的气候.热带亚热带森林生态系统研究.1982;Vol 1;11—16
- 3 Ball M C, Critchley C. Photosynthetic responses to irradiance by grey mangrove, *Avicennia marina*, grown under different light regimes. *Plant Physiol*, 1982; 70: 1101—1106
- 4 Bjorkman O. Low temperature chlorophyll fluorescence in leaves and its relationship to photon yield of photosynthesis. In: (Kyle D J, Osmond C B, Arntzen C J, eds.) "Photoinhibition", *Topics in photosynthesis*, 1987; Vol 9; 123—144
- 5 Broadman, N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annu Rev Plant Physiol*, 1977; 28; 355—377
- 6 Chow W S, Luping Q, Goodchild D J, Anderson M. Photosynthetic acclimation of *Alocasia macrorrhiza* (L.) G. Don to growth irradiance; structure, function and composition of chloroplasts. *Aust J Plant Physiol*, 1988; 15 (1-2); 107—122
- 7 Demming-Adams B. Carotenoids and photoprotection in plants, A role for xanthophyll zeaxanthin. *Biochim Biophys Acta*. 1990; 1020; 1—24
- 8 Evans J R. Acclimation by the thylakoid membranes to growth irradiance and the partitioning of nitrogen between soluble and thylakoid proteins. *Aust J plant physiol*, 1988; 15 (1—2); 93—106
- 9 Fadeef A A. Location and properties of chloroplasts and pigment determination in root. *Physiol Plant*, 1967; 15; 130—147
- 10 Friend D T C. Shade adaptation of photosynthesis in *Coffea arabica*. *Photosynth Res*, 1984; 5; 325—334
- 11 Greer D H, Berry J A, Bjorkman O. Photoinhibition of photosynthesis in intact bean leaves; Role of light and temperature, and requirement for chloroplast-protein synthesis during recovery. *Planta*, 1986, 168; 253—260
- 12 Greer D H. Effect of temperature on photoinhibition and recovery in *Actinidia deliciosa*. *Aust J Plant Physiol*, 1988; 15 (1-2); 195—206
- 13 Seemann J R, Sharkey T D, Wang J L, Osmond C B. Environmental effects on photosynthesis, nitrogen-use efficiency, and metabolite pools in leaves of sun and shade plants. *Plant Physiol*, 1987; 84; 796—802
- 14 Smillie R M, Hetheington S E, Ho J, Nott R. Photoinhibition at chilling temperatures. *Aust J Plant Physiol*, 1988; 15 (1-2); 207—222
- 15 Sun G C, Ehleringer R. Gas exchange in *Schima superba*, a subtropical monsoonal forest tree. *Photosynthetica*, 1986; 20 (2); 158—163
- 16 Torisky R S, Servaites J C. Effect of irradiance during growth of *Glycine max* on photosynthetic capacity and percent activation of ribulose 1, 5, bisphosphate carboxylase. *Photosynth Res*, 1984; 5; 251-261

EFFECT OF IRRADIANCE AND WINTER TEMPERATURE ON PHYSIOLOGICAL PROPERTIES OF LEAVES OF THREE SUBTROPICAL TREES

Lin Zhifang Lin Guizhu Kong Guohui Liang Chun

(South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

Abstract

Seedlings of three subtropical forest species, *Schima superba*, *Cryptocarya concinna*, and *Castanopsis fissa*, were grown under varied light conditions at 100%, 40% and 16% of nature sunlight intensity. During the winter time, the fully expanding leaves in the top of the plants were collected for determination of chlorophyll fluorescence, contents of chlorophyll, carotenoid, soluble protein and soluble sugar, as well as the permeability of cell membrane.

All of the species exhibited acclimation to different irradiances and low temperature in winter. No considerable leakiness of leaf electrolyte was observed, but the total electrolyte of leaf was declined at low irradiance.

Chlorophyll fluorescence Fv/Fm ratio was slightly decreased (*Schima superba* and *Castanopsis fissa*) or markedly decreased (*Cryptocarya concinna*) in leaves at 100% of irradiance. Same trend of decreasing Fv/Fm value was found in three species after treatment for 9 hours with leaf discs at 5°C and light intensity of 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. The ratios of Chl a/b and soluble sugar/protein and Fv/Fm were lower in *Cryptocarya concinna* than in *Schima superba* and *Castanopsis fissa*, indicating that the former was susceptible to high light and low temperature, but the latter two species showed a higher ability of environmental acclimation.

In comparison with 100% and 16% of irradiance, however, the similar ratio of soluble protein/Chl in three species, and more soluble sugar and protein in leaves at 40% of irradiance showed that this light level favoured the normal synthesis of organic compounds during winter season.

Key words: Growth irradiance; Low temperature; Physiological property;
Subtropical tree; Chlorophyll fluorescence