

不同演替阶段树种的光合和生长对增强 UV—B 辐射的响应^{*}

蔡锡安¹, 彭少麟^{1,2}, 夏汉平¹

(1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650
2. 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 利用野外盆栽实验方法, 模拟南亚热带地区地面增强 UV—B 辐射 20% (L) 和 30% (H) 的条件下 (L 和 H 分别为 4.83 和 7.24 kJ m⁻² d⁻¹), 研究南亚热带植被恢复先锋树种马占相思 (*Acacia mangium*)、演替前期树种荷木 (*Schinus superba*)、演替中后期树种华润楠 (*Machilus chinensis*) 和黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) 等 4 种乔木树种对增强 UV—B 辐射的响应。结果表明, 增强 UV—B 辐射处理引起马占相思和荷木的最大光合速率 (P_{max}) 明显下降, 高剂量 (7.24 kJ m⁻² d⁻¹) 和延长处理时间 (160 d) 的效应更加明显; 它们的光合速率下降幅度依次为: 马占相思>荷木>华润楠>黄果厚壳桂, 先锋树种光合作用对增强 UV—B 辐射的响应明显大于演替中后期树种。增强 UV—B 辐射处理, 马占相思的株高生长和茎生物量以及荷木的株高有较明显减小, 它们的地径、总生物量和冠根比有减小的趋势; 同时马占相思的叶宽度明显地增大。结果表明, 马占相思和荷木属 UV—B 辐射敏感种, 而华润楠和黄果厚壳桂则属低敏感种。当前臭氧层的减薄趋势没有得到有效遏制, 马占相思和荷木因个体生长发育过程中对增强 UV—B 辐射的敏感性, 可能会导致南亚热带地区群落的先锋种和演替前期树种加速衰退, 而演替中后期树种由于较能忍耐 UV—B 辐射而能竞争到更多的资源以利于其在群落竞争中占优势, 从而保持更稳定的状态。

关键词: 光合; 生长; 增强 UV—B 辐射; 演替树种; 南亚热带

中图分类号: Q945.1 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2007) 02-0072-05

由于氯氟烃化合物可长时间催化性地破坏平流层中的臭氧, 从而导致地面紫外线辐射 (UV—B) 增加^[1]。根据联合国环境署 (UNEP) 2002 年的评估, 以 1980 年为基准, 1997—2000 年间南半球中纬度地区臭氧层每年减少 6%, 北半球中纬度地区冬春季臭氧层减少 4%, 夏秋季减少 2%, 全球年平均减少约 3%^[2]。如果对氯氟烃化合物的排放量不加限制, 到 2075 年, 平流层的臭氧将比 1985 年减少 40%, 由此导致的全气候变暖幅度将增加到 30%, 这将会大大加剧全球气候变暖的进程^[3]。

UV—B 辐射的增强对地球生命系统有着重要的影响。它可破坏植物细胞内的 DNA 影响植物一系列的分子生物学与生理生化过程^[4], 过度的 UV—B 辐射会破坏叶绿素、削弱它们的光合能力, 甚至改变植株器官的碳库分配平衡^[5-7]。因此, 增强 UV—B 辐射对植物的影响成为全球变化研究中的一个重大科学问题。近年来, 有关增强 UV—B 辐射对植物的影响研究虽有较多的报道, 但有关南

亚热带地区植物的研究则只有零星报道^[7-8], 但全球变化的背景下对演替植物的影响研究则较少^[9-10]。因此, 进一步加强研究 UV—B 辐射对热带亚热带地区优势种植物的影响, 特别是对不同演替阶段优势种的影响, 将有助于了解低纬度地区植物对 UV—B 辐射适应的机制, 有助于评价由大气臭氧层被破坏而导致的 UV—B 辐射增强所造成的生态后果, 从而有助于寻求对应的策略。

1 材料与方法

1.1 材 料

实验材料为大田盆栽一年生的 4 种乔木树种, 即南亚热带人工森林植被中的先锋树种马占相思 (*Acacia mangium* Willd.)、演替前期树种荷木 (*Schinus superba* Gardn. et Champ.)、地带中生性树种黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna* Hance) 和华润楠 (*Machilus chinensis* Hemsl.)。苗木栽植在直径 38 cm 和高 40 cm 的塑料盆内, 盆内土壤为田泥和

^{*} 收稿日期: 2006-07-19
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270282)
作者简介: 蔡锡安 (1968 年生) 男, 博士; 通讯联系人: 彭少麟, E-mail: kssps@mail.sysu.edu.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

山黄泥质量比为 1:1 的混合泥土，每盆栽植 1 株树苗，正常的田间管理。

1.2 实验设置

本实验为野外盆栽试验。试验分为 3 个组，L 组模拟地面增强 UV—B 辐射 20% ($4.83 \text{ kJ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)，即相当于大气臭氧减少 10%；H 组模拟地面增强 UV—B 辐射 30% ($7.24 \text{ kJ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)，即相当于大气臭氧减少 15%；二者分别模拟南亚热带地区未来 10~20 年的大气臭氧减少量，用自制铁架安装 UV—B 紫外灯管照射（波长峰值 310 nm；南京东华电子公司研制）；CK 组为自然光对照区。通过调节灯管与植物冠层高度的距离来调节植物冠层的 UV—B 辐射强度（用英国产的 RS12 紫外辐射测定仪测定 UV—B 辐射强度）。

1.3 测定方法

1.3.1 气体交换 增强 UV—B 辐射处理 60 d 和 160 d 后，选取树冠中部向阳第 3—6 片健壮成熟的叶片，在自然条件下采用 LI-6400 便携式光合作用系统（LI-COR Inc. USA）测定叶片气体交换的日变化进程，该仪器同时可以测定净光合速率（ P_n ）、蒸腾速率（ T_r ）、气孔导度（ G_s ）等。测定时间为 7:00—18:00 时，每 1 h 测定 1 次，重复测定 3 日，每一处理测定 3~5 株，并以此计算日平均值。气体交换测定完成后，以 LI-6400-02 B 红蓝光为光源，测定叶片的净光合速率对光强响应曲线（ P_n —PFD 曲线）。依据 Hannon 的方法^[11]，拟合 P_n —PFD 的曲线方程并计算光饱和点（LSP）和光补偿点（LCP）等参数。

1.3.2 植株生长和生物量 结束上面的气体交换测定后，分别进行植株生长量等项目的观测。树高、地径等用常规方法测定，叶面积测定采用美国产 LI-3000 叶面积仪。收割后的树苗分成根、茎和叶 3 部分，用天平称重，在 80℃ 烘箱烘至恒质重后称干质重，再计算出生物量。另摘取 30 片成熟叶片，120℃ 处理 30 min，80℃ 烘干 24 h 后，称其干质重，计算单位叶面积干质重。

所有数据用 SPSS1.5 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 气体交换参数特征

从表 1 可见，增强 UV—B 辐射处理 60 d 马占相思和荷木 L 组和 H 组的 P_n 日平均值都显著地降低，马占相思分别比 CK 组降低 13.2% 和 19.4%；荷木分别降低 13.1% 和 17.1%。辐射处理 160 d 马占相思的 P_n 进一步受到抑制，H 组也比 L 组明显的降低，但荷木 H 组和 L 组间没有显

著性差异。UV—B 辐射处理 60 d 对华润楠的 P_n 没有明显的影响，但处理 160 d 后有明显的降低。处理 60 和 160 d 黄果厚壳桂的 P_n 日平均值都没有明显的变化。可见，增强 UV—B 辐射处理对先锋种和前期树种 P_n 的影响较演替中后期树种大。

UV—B 辐射处理 60 d 马占相思和荷木 L 组的蒸腾速率（ T_r ）日平均值与 CK 组没有显著差异，但 H 组 T_r 明显减小。延长处理时间到 160 d 马占相思的 T_r 进一步地降低，但荷木则与处理 60 d 的相似， T_r 没有受到进一步的影响；华润楠和黄果厚壳桂也未见其 T_r 有明显的变化。处理 60 d 马占相思 H 组的气孔导度（ G_s ）比 CK 组显著降低；处理 160 d L 组和 H 组的 G_s 都显著地降低。可见，增强 UV—B 辐射处理后，马占相思的 G_s 显著下降，高剂量 UV—B 辐射和延长处理时间所导致的降幅更大。荷木、华润楠和黄果厚壳桂的 G_s 日平均值没有显著变化。

增强 UV—B 辐射处理后，马占相思与荷木的最大净光合速率（ P_{max} ）有明显的降低，高 UV—B 辐射处理强度（ $7.24 \text{ kJ m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ）和延长处理时间（160 d 辐射）都会引起 P_{max} 进一步降低，而华润楠和黄果厚壳桂的（ P_{max} ）则没有明显的变化，4 种植物的（ P_{max} ）降幅有明显的差异（表 1）。

表观量子产量（AQY）是指植物每吸收一个光量子所固定的 CO_2 或释放的 O_2 分子数，用来表示光合作用光能利用效率高低的参数。除华润楠和黄果厚壳桂 60 d 处理之外，其余的 AQY 无论是那种辐射强度，也无论处理时间长短（60 或 160 d）都有一定的上升，总体上先锋树种马占相思升幅较小，荷木次之，华润楠和黄果厚壳桂升幅最大。可见华润楠和黄果厚壳桂可以通过调节自身的光能利用率来适应环境的变化。马占相思和荷木的光饱和点（LSP）明显降低，而华润楠和黄果厚壳桂则没有明显的变化，4 种树种的暗呼吸速率（ R_d ）和光补偿点（LCP）没有明显的变化。从以上结果可见，演替中后期树种对 UV—B 辐射的适应性较大，而先锋种适应性较小。

2.2 植株生长生物量和生物量分配的影响

增强 UV—B 辐射对植物的影响最终表现在植株的生长上。从表 2 可知，增强 UV—B 辐射处理明显地降低马占相思的株高，也较显著地降低荷木的株高。其它 2 种树种华润楠和黄果厚壳桂的株高没有明显的影响。增强 UV—B 辐射对 4 种树种的冠幅和地茎没有明显的影响。

表 1 UV—B 辐射对树种的光合参数影响¹⁾
Tab 1 Effects of photosynthetic parameters by enhanced UV—B radiation

种类	处理组		Pn/ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Tr/ (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Gs/ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	AQY/ (mmol mol ⁻¹)	P _{max} / (μmol m ⁻² s ⁻¹)	LSP/ (μmol m ⁻² s ⁻¹)
马占相思 A mangium	60 d	CK	2.63±0.19 ^A	0.170±0.020 ^A	4.03±0.42 ^A	1.9±0.2 ^A	21.30±0.85 ^A	1100±34 ^A
		L	2.40±0.17 ^{AB}	0.140±0.015 ^{AB}	3.92±0.42 ^A	2.5±0.4 ^A	17.60±0.74 ^B	900±32 ^B
		H	2.32±0.15 ^B	0.130±0.018 ^B	3.57±0.51 ^A	3.3±0.3 ^B	15.06±0.33 ^C	880±31 ^B
	160 d	CK	2.97±0.12 ^a	0.231±0.022 ^a	3.81±0.96 ^a	2.6±0.2 ^{ab}	18.34±0.43 ^a	1100±30 ^a
		L	2.92±0.11 ^b	0.212±0.019 ^b	3.92±0.84 ^a	2.2±0.4 ^a	17.08±0.87 ^a	1100±33 ^a
		H	2.74±0.12 ^b	0.209±0.014 ^b	3.63±0.88 ^a	3.0±0.4 ^b	12.90±0.51 ^b	900±35 ^b
荷木 S superba	60 d	CK	1.29±0.17 ^A	0.075±0.021 ^A	4.86±0.42 ^A	3.6±0.2 ^A	15.34±0.20 ^A	800±34 ^A
		L	1.06±0.15 ^{AB}	0.060±0.018 ^A	5.19±0.47 ^A	4.9±0.6 ^B	10.53±0.46 ^B	680±31 ^B
		H	0.96±0.14 ^B	0.062±0.016 ^A	5.58±0.51 ^A	5.7±0.6 ^B	9.38±0.34 ^C	640±29 ^B
	160 d	CK	1.42±0.11 ^a	0.082±0.021 ^a	5.03±0.31 ^a	4.6±0.5 ^a	11.74±0.38 ^a	820±35 ^a
		L	1.33±0.13 ^{ab}	0.072±0.018 ^a	5.08±0.42 ^a	6.3±1.1 ^b	8.86±0.61 ^b	680±37 ^b
		H	1.18±0.15 ^b	0.072±0.013 ^a	5.16±0.45 ^a	5.8±0.6 ^{ab}	8.27±0.34 ^b	680±32 ^b
华润楠 M chinensis	60 d	CK	1.93±0.21 ^A	0.110±0.021 ^A	3.68±0.41 ^A	4.5±0.3 ^A	8.51±0.17 ^A	600±36 ^A
		L	1.83±0.23 ^A	0.101±0.024 ^A	3.64±0.46 ^A	4.0±0.3 ^{AB}	8.35±0.17 ^A	600±43 ^A
		H	1.79±0.31 ^A	0.105±0.019 ^A	3.74±0.48 ^A	3.6±0.2 ^B	7.93±0.16 ^B	600±49 ^A
	160 d	CK	2.20±0.23 ^a	0.126±0.031 ^a	3.56±0.38 ^a	3.4±0.6 ^a	6.56±0.28 ^a	580±31 ^a
		L	2.09±0.24 ^a	0.113±0.025 ^a	3.67±0.42 ^a	4.9±1.4 ^{ab}	6.66±0.61 ^a	560±42 ^a
		H	2.01±0.29 ^a	0.106±0.023 ^a	3.04±0.47 ^a	5.7±0.6 ^b	7.03±0.26 ^a	560±29 ^a
黄果厚壳桂 C concinna	60 d	CK	1.08±0.19 ^A	0.042±0.014 ^A	4.01±0.44 ^A	6.0±0.9 ^A	7.24±0.41 ^A	640±29 ^A
		L	1.08±0.18 ^A	0.041±0.012 ^A	3.79±0.47 ^A	5.9±0.9 ^A	6.75±0.40 ^A	640±34 ^A
		H	1.09±0.16 ^A	0.044±0.015 ^A	3.25±0.51 ^A	6.4±0.8 ^A	6.92±0.34 ^A	640±41 ^A
	160 d	CK	1.13±0.17 ^a	0.050±0.013 ^a	4.12±1.66 ^a	3.8±0.6 ^a	5.90±0.25 ^a	620±32 ^a
		L	1.16±0.16 ^a	0.050±0.015 ^a	4.02±1.51 ^a	5.0±0.9 ^{ab}	6.12±0.39 ^a	620±46 ^a
		H	1.26±0.19 ^a	0.050±0.019 ^a	3.34±0.79 ^a	6.3±1.0 ^b	6.15±0.32 ^a	620±40 ^a

1) 不同的大写字母表示同种植物在处理 60 d 后在 P<0.05 水平上有显著性差异; 不同小写字母表示同种植物在处理 160 d 后在 P<0.05 水平上有显著性差异, LSD 检验 (n=5)。L 和 H 分别代表提高 20% 和 30% 的 UV—B 辐射, CK 是对照组 (当前大气的 UV—B 辐射)

表 2 增强 UV—B 辐射对植物的生长和生物量的影响¹⁾
Tab 2 Effects on growth and biomass by enhanced UV—B radiation

种类	处理		单位叶面						
			地茎 / cm	株高 / cm	积干质量 / (g m ⁻²)	叶生物量 / g	茎生物量 / g	根生物量 / g	冠根比
马占相思 A mangium	60 d	CK	1.29±0.14	137.8±14.4 ^A	181.2±14.2	78.5±5.0	77.5±4.2	27.4±4.0	5.79±0.75
		L	1.28±0.10	131.0±11.1 ^B	182.1±21.6	76.3±5.5	74.9±3.9 [*]	27.8±2.7	5.49±0.55
		H	1.26±0.09	131.6±11.1 ^B	183.5±31.2	77.8±4.2	74.5±2.6 [*]	27.7±3.8	5.60±0.84
	160 d	CK	1.87±0.32	199.1±28.2 ^a	181.5±14.2	203.8±12.9	200.2±7.1	67.8±9.8	6.06±0.84
		L	1.80±0.29	185.8±15.8 ^b	184.6±21.9	198.1±14.4	195.3±8.8	67.7±4.8	5.84±0.52
		H	1.76±0.15	181.4±19.8 ^b	185.2±10.2	199.8±10.7	194.4±6.2 [*]	65.9±8.2	6.07±0.80
荷木 S superba	60 d	CK	0.65±0.13	59.6±6.7 ^A	108.6±9.0	19.2±2.9	15.6±1.5	24.9±1.5	1.40±0.14
		L	0.61±0.13	55.0±7.5 ^{A*}	109.8±18.2	18.5±2.1	15.3±2.0	24.3±2.0	1.40±0.17
		H	0.61±0.13	54.6±7.5 ^{A*}	110.7±7.8	18.8±3.4	15.8±1.7	24.3±2.1	1.43±0.19
	160 d	CK	0.90±0.21	85.4±12.8 ^a	111.6±9.2	54.9±2.6	54.0±2.5	56.5±3.2	1.94±0.13
		L	0.85±0.22	76.1±15.3 ^{ab}	115.7±19.2	54.6±2.4	53.7±4.1	54.6±3.4	1.99±0.18
		H	0.84±0.22	76.7±15.4 ^{ab}	113.3±8.0	54.1±2.2	52.7±3.9	55.6±4.8	1.93±0.17
华润楠 M chinensis	60 d	CK	0.96±0.09	69.4±7.4 ^A	146.9±11.6	25.4±2.4	25.1±1.3	29.1±3.4	1.75±0.22
		L	0.98±0.09	68.6±7.2 ^A	145.1±10.2	25.6±2.4	24.6±2.3	28.5±2.4	1.77±0.17
		H	0.97±0.09	68.4±15.8 ^A	148.7±21.3	25.2±1.8	24.8±2.7	27.9±3.0	1.82±0.27
	160 d	CK	1.37±0.18	101.0±12.3 ^a	148.4±11.8	66.1±4.7	68.4±3.6	73.7±6.6	1.84±0.17
		L	1.33±0.11	100.5±17.0 ^a	150.8±10.6	66.1±6.1	66.8±6.4	72.9±6.0	1.83±0.18
		H	1.40±0.18	105.8±15.6 ^a	149.4±21.4	65.34.7	66.4±7.5	74.4±6.8	1.78±0.23
黄果厚壳桂 C concinna	60 d	CK	0.96±0.15	72.0±10.4 ^A	130.2±13.2	25.0±3.0	22.1±2.1	28.9±6.4	1.70±0.40
		L	0.94±0.12	74.8±10.4 ^A	137.9±25.5	23.7±1.8	22.4±1.2	29.2±2.5	1.59±0.14
		H	0.94±0.09	72.6±10.0 ^A	136.7±23.6	24.3±4.2	21.8±1.9	28.7±4.8	1.62±0.20
	160 d	CK	1.32±0.18	106.4±14.8 ^a	133.4±21.5	66.1±8.0	57.7±3.5	75.5±10.5	1.67±0.30
		L	1.30±0.12	112.4±13.6 ^a	139.5±52.1	64.1±4.9	55.6±3.3	75.7±7.1	1.59±0.15
		H	1.31±0.09	112.5±12.7 ^a	133.1±23.0	63.7±8.0	55.6±4.9	75.7±8.9	1.59±0.19

1) 不同大写字母表示同一种植物经不同强度的 UV—B 辐射处理 60 d 后有显著性差异 (P<0.05), 不同小写字母表示处理 160 d 后有显著性差异 (P<0.05), LSD 检验 (n=5)。

性差异 ($P<0.05$), *表示与对照组在 $P<0.1$ 水平上有较显著差异, 地茎、株高, $n=24$ 单位叶面积干质量, $n=32$ 生物量, $n=11$ CK、I 和 H 同表 1

增强 UV-B 辐射处理对马占相思的茎 (包括枝) 生物量有较显著的影响 ($P<0.1$), 而对叶和根生物量没有明显的影响 (表 2)。增强 UV-B 辐射处理 60 d 后, I 组和 H 组马占相思的茎生物量比 CK 组分别减少 3.4% 和 3.9% ($P<0.1$), 叶、根生物量和总生物量亦有减小的趋势, 但差异不显著。处理 160 d 后, H 组马占相思的茎生物量比 CK 组减小 2.9% ($P<0.1$), I 组与 CK 组没有明显的差异。CK、I 和 H 组间的叶和根的生物量以及总生物量也都没有显著差异。增强 UV-B 辐射处理对其它 3 种乔木的叶、茎和根的生物量以及总生物量都没有明显的影响。这说明增强 UV-B 辐射对马占相思的树高生长有较明显的影响, 这可能与马占相思的生理代谢对 UV-B 辐射较为敏感相关。

生物量分配也是 UV-B 辐射影响的主要指标, 从表 2 可知, 除马占相思外, 其它 3 种供试树种的叶、枝和根的生物量分配以及冠根比没有明显的差异。增强 UV-B 辐射处理对荷木、华润楠和黄果厚壳桂树种的生物量分配没有显著的影响。

3 结论与讨论

光合作用与植物生长和发育密切相关。通常情况下, 演替先锋种的 P_{max} 大于演替中后期种。先锋种往往适应演替早期的生境, 相反, 后期种却较适应中生性生境^[12]。在演替中后期, 耐荫性不强的植物逐步被耐荫性更强的物种取代。马占相思有较高的 P_{max} , 但 UV-B 辐射处理后其 P_{max} 下降幅度也很大, 达 25.5% ~ 29.3%。荷木也下降 16.3% ~ 26.0%, 高剂量 UV-B 辐射处理和延长处理时间都有加剧叶片光合速率下降的作用。而华润楠和黄果厚壳桂 P_{max} 的下降则不明显。同时 4 种树种的 AQY 都明显提升, 但华润楠和黄果厚壳桂比马占相思提升幅度大, 荷木居中 (表 1)。这说明演替中后期种对 UV-B 辐射有一定的调节能力, 通过调节自身的光能利用率来适应环境的变化, 而演替先锋种对 UV-B 的适应较弱, 容易受到伤害。

虽然木本植物不像作物和草本植物那样敏感, 但仍会表现叶绿体受损, 同化能力和气孔导度下降等现象^[13]。4 种树种研究结果显示, 增强 UV-B 辐射处理后, 马占相思的光合能力明显地下降, 同时 G 和 T 也明显下降, 其 Pn 受抑制可能与 G 降低相关, 马占相思为了适应 UV-B 辐射的变化, 减小了气孔开度, 从而限制外界 CO₂ 向叶组织扩散 (表 1)。此外, 光合器也可能受到 UV-B 辐射的部分损

害, 这反映在它们的 LSP 和叶绿素含量的降低 (数据未给出)。荷木的 Pn 和 T 也有明显的下降, 但其 G 并没有明显的变化, 这可能荷木对增强 UV-B 辐射变化不表现在气孔因素上, 非气孔因素占主要方面。UV-B 辐射下先锋树种的 Pn 变化明显, 华润楠和黄果厚壳桂对增强 UV-B 辐射的响应不明显, 这可能与它们的生物学特性相关。华润楠和黄果厚壳桂是演替中后期树种, 它们长期地与环境相适应的生长过程中, 可能产生了与环境变化相适应的防护机制能有效地减低 UV-B 辐射对其影响。

在植物群落中, 植物冠层不同部分的叶片所接受的 UV-B 辐射的量有很大的差异, 对马占相思林来说, 由于叶宽的显著增加, 会导致叶面积明显增加, 同时株高的变矮会不均匀地改变林分叶片的分布状况和林冠层的结构, 从而进一步会改变森林群落的冠层结构。马占相思植株的矮化和冠层结构改变, 这会使其个体在群落中的竞争力削弱。荷木是演替群落前期的优势种, 在增强 UV-B 辐射下也因为株高的减小, 可能会在群落的竞争中处于劣势。因此, 增强 UV-B 辐射可能会导致先锋种和演替前期树种种群加速衰退, 比正常条件下更早地退出生态系统的竞争; 相反, 演替中后期树种由于较能忍耐 UV-B 辐射而能竞争到更多的资源以利于其在群落竞争中占优势, 而保持更稳定的状态。

参考文献:

[1] MADRONICH S, MCKENZIE R L, BJÖRN L Q et al. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface [J]. Journal Photochemistry and Photobiology B: Biology 1998, 46: 5-19.

[2] United Nations Environment Programme (UNEP). Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2002 assessment. Published [R]. 2003.

[3] GEORGE P S. Is the temperature rising? the uncertain science of global warming [M]. Princeton: Princeton University Press, 2000: 1-259.

[4] HIDEKI J, KUMAGAI T, SUTHERLAND J C, SUTHERLAND B M. Ultraviolet B-sensitive rice cultivar deficient in cyclobutyl pyrimidine dimer repair [J]. Plant Physiology 1997, 113: 39-44.

[5] CALDWELL M M, BJÖRN L Q, BORNMAN J F et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 1998, 46: 40-52.

[6] FENG H Y, LI Z A, CHEN T et al. The effect of en-

- hanced ultraviolet-B radiation on growth Photosynthesis and stable carbon isotope composition (^{13}C) of two soybean cultivars (*Glycine max*) under field conditions [J]. *Environmental and Experimental Botany* 2003 49: 1-8
- [7] 陈章和, 朱素琴, 李韶山, 等. UV-B 辐射对南亚热带森林木本植物幼苗生长的影响 [J]. 云南植物研究, 2000 22(4): 467-474
- [8] 赵平, 曾小平, 孙谷畴. 陆生植物对 UV-B 辐射增量响应研究进展 [J]. 应用与环境生物学报, 2004 10(1): 122-127
- [9] 彭少麟. 南亚热带森林群落动态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996 1-20
- [10] 彭少麟, 郝艳茹. 森林演替过程中根系分布的动态变化 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005 44(5): 65-69
- [11] HORTON J L, NEUFELD H S. Photosynthetic responses of *Microstegium vimineum* (Trin.) A. Camus, a shade-tolerant C_4 grass, to variable light environments [J]. *Oecologia* 1998 114: 11-19
- [12] LAMBERS H, CHAPIN III F S, POST L. Plant Physiology Ecology [M]. New York: Springer, 1998
- [13] MICHAEL A S, JOHN H B, RONALD R, et al. Growth, leaf anatomy and physiology of *Populus* clones in response to solar ultraviolet-B radiation [J]. *Tree Physiology* 1997 17: 617-626

Growth and Photosynthetic Responses of Different Successional Tree Species in Low Subtropics to Enhanced UV-B Radiation in the Field

CAIX ian¹; PENG Shao-lin²; XIA Han-ping

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Better understanding of successional tree species responses to enhanced UV-B radiation is an important requirement. A pot experiment was conducted in the field to investigate the responses of plant growth and physiological process of 4 successional tree species at enhanced UV-B irradiance via artificial simulation. The biomass, leaf characteristics and ecophysiological characteristics of four species, including the pioneer species *Acacia mangium*, early successional stage species *Shima superba* and mesophilous tree species *Machilus chinensis* and *Cryptocarya concinna* in lower subtropical forest community were investigated under the treatment of enhanced ultraviolet-B (UV-B) radiation 20% (L) and 30% (H) (L was $4.78 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ of enhanced UV-B radiation and H was $7.24 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in low subtropics. The results showed that maximum photosynthesis rates ($P_{\max}$) of *A. mangium* and *S. superba* were significantly decreased by enhanced UV-B radiation, which were aggravated by high dose UV-B radiation irradiating and extending treatment time. The responses of their photosynthetic parameters of four tree species to enhanced UV-B radiation had very different, and the order from large to small was *A. mangium*, *S. superba*, *M. chinensis* and *C. concinna*. The photosynthetic responses of pioneers to enhanced UV-B radiation were larger than those of species in late successional stage. Compared with CK, the height and branch biomass of *A. mangium* and the height of *S. superba* were reduced visibly by enhanced UV-B radiation, while their diameter, total biomass and shoot to root ratio had reduced tendency. The results show that pioneer species *A. mangium* and early successional stage species *S. superba* were sensitive to enhanced UV-B radiation, while *M. chinensis* and *C. concinna* were tolerant. If the tendency of O_3 depletion were not reduced efficiently, that would lead to an increase in the level of solar UV-B radiation reaching the earth's surface. *A. mangium* and *S. superba* may decrease competition in plant community because the depression of ecophysiological processes induced by UV-B radiation and their individual height growth was prohibited. Hence, it could be concluded that pioneer and early successional stage species may accelerate degradation by enhanced UV-B radiation, as a result they have to exit ecosystem competition earlier due to the influence of enhanced UV-B radiation, the late successional stage species are more tolerant to UV-B radiation and therefore can compete more resource to keep dominance in ecosystem. Thus, the *A. mangium* and *S. superba* community may be replaced by late successional UV-B radiation tolerant species ahead of time.

Key words: photosynthesis; growth; enhanced UV-B radiation; successional tree species; low subtropics