

光照强度对广西地不容光合特性和生长的影响

蒋运生, 柴胜丰, 唐 辉*, 李 虹, 黄夕洋, 李 锋

(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: 以盆栽当年生广西地不容为材料, 研究不同光照强度(100%、50%、30%和 15%自然光强)对其光合特性和生长的影响。结果表明: 随着光照强度的降低, 广西地不容最大净光合速率($P_{\max}$)、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)先减小, 而后稍有增大; 表观量子效率(AQY)在 30%和 50%光强下显著高于 100%和 15%光强处理; 叶片叶绿素总量(Chl)、叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)、类胡萝卜素(Car)含量随光强的减弱而增大, Car/Chl 随光强的减弱而减小, Chla/Chlb 比值在各处理间无显著差异; 单叶面积随生长光强的减弱而增大, 比叶重(LMA)则随着生长光强的减弱而减小; 30%光强下广西地不容块根生物量最高, 光照过强和过弱都不利于其生物量的积累。广西地不容对光强的适应范围较广, 但光照过强或过荫均对生长造成不良影响, 光合速率降低, 生长减缓, 块根生物量积累下降, 30%光强是其当年生苗生长的最佳光强。

关键词: 广西地不容; 光照强度; 光合特性; 生长

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2009)06-0792-05

Effect of different light intensities on photosynthetic characteristics and growth of *Stephania kwangsiensis*

JIANG Yun-Sheng, CHAI Sheng-Feng, TANG Hui*,
LI Hong, HUANG Xi-Yang, LI Feng

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

Abstract: Potted *Stephania kwangsiensis* seedlings were grown under 100%, 50%, 30%, 15% of natural light intensity. It was found that with the reducing light intensity, the maximum net photosynthetic rate($P_{\max}$), light saturation point (LSP), light compensation point(LCP) showed a trend of decrease-to-increase, and the apparent quantum yield(AQY) under 30% and 50% of light intensity were significantly higher than those under 100% and 15% of light intensity. The contents of total chlorophyll(Chl), chlorophyll a(Chla), chlorophyll b(Chlb) and carotenoid(Car) in leaves increased with decreasing light intensity, while Car/Chl decreased under low light, and Chla/Chlb had no remarkably change. As the light intensity decreased, the single leaf area increased and leaf mass per area(LMA) decreased. The root tuber biomass was the highest under 30% of light intensity. Therefore, it seemed that *S. kwangsiensis* had a wide range of light adaptability, but its photosynthetic rate decreased when grown in either strong or weak light intensity, resulting in inhibition of growth and biomass. 30% of light intensity was the best light environment for seedlings on the current growth season.

Key words: *Stephania kwangsiensis*; light intensity; photosynthetic characteristics; growth

广西地不容(*Stephania kwangsiensis*)属防己科 落叶藤本植物。主产于广西西北部至西南部, 生于石
(Menispermaceae)千金藤属(*Stephania*)多年生草质 灰岩地区的山地灌丛(中国植物志编辑委员会,

收稿日期: 2009-03-15 修回日期: 2009-08-27

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(0992028-10); 广西植物研究所基本科研业务费(09005); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(2009-24)[Support by the Foundation for Scientific Research and Technology Development of Science and Technology Department of Guangxi(0992028-10); Special Fund for Basic Scientific Research of Guangxi Institute of Botany(09005); West Program for Fostering Personal Ability, Chinese Academy of Sciences(2009-24)]

作者简介: 蒋运生(1967-), 男, 广西恭城人, 副研究员, 主要从事濒危植物保护和药用植物栽培研究, (E-mail) JYS@gxib.cn.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: TH@gxib.cn)

1996)。其块根含丰富的生物碱,含量达3%~4%,目前已从中分离出12个异喹啉生物碱(闵庆大等,1980;邓业成等,2004)。广西地不容是一种重要的中草药,块根是生产中药颅痛定(1-四氢巴马亭)的重要原料,临床上用于镇痛、镇静、解热等(王宪楷等,1990)。最近,除了陆续分离到一些新的生物碱成分外,还发现其中的1-罗默碱对褐飞虱有触杀作用,为化学杀虫剂马拉硫磷触杀毒力的7.48倍(邓业成等,2005),是一种很有前景的低毒植物农药。随着相关研究的深入,越来越多的生物功效被发现,广西地不容的应用前景更为广阔,开发应用与物种资源紧缺的矛盾也显得日益突出,因此对广西地不容开展引种栽培,以满足市场的大量需求,显得尤为迫切。

光是影响植物生长的重要因子之一,它不仅能作为植物生长提供能量,还能以环境信号的形式作用于植物,通过光敏色素等作用途径调节植物的生长发育、生理代谢和形态建成(杨兴有等,2007)。我们已对广西地不容开展了初步的引种栽培试验,发现该物种在荫蔽条件下生长良好,在强光下则长势较差,说明光是影响其生长的一个重要因子。为了掌握广西地不容的需光特性,本试验采用人工遮光的方法,模拟不同的光照强度,探讨光强对其光合特性和生长影响,以期提出合理的光照栽培生态指标,从而为其引种驯化、规模化栽培种植提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料和处理

试验在广西植物研究所内进行。通过黑色尼龙网遮荫,建立相对光强分别为100%(不遮荫,对照)、50%、30%、15%的荫棚4个。试验材料为当年生广西地不容种子发育的实生苗,将幼苗栽种于内径30 cm、深25 cm的塑料花盆中,每盆一株,栽培基质由黄土:火土:猪粪按4:2:1混合而成。在相对光强为50%的荫棚中恢复生长1月后随机分成4组,每组20盆,5月初移到100%、50%、30%、15%光强下处理。每天傍晚浇足量的水,每月施复合肥一次,随时防治病虫害。7月中旬进行光合和生理指标的测定。

1.2 光响应曲线的测定

用Li-6400便携式光合系统(Li-Cor, Inc, 美国)测定成熟叶片的净光合速率(P_n),测量前将待测叶片在 $1\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下诱导30 min(仪器

自带的红蓝光源)以充分活化光合系统。使用开放气路,空气流速为 $0.5\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,叶片温度为 $27\ ^\circ\text{C}$, CO_2 浓度为 $360\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。设定的光强梯度为2 000、1 800、1 500、1 200、1 000、800、600、400、300、200、150、100、50、20、 $0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,测定时每一光强下停留3 min。以光量子通量密度(PFD)为横轴、净光合速率(P_n)为纵轴绘制光合作用光响应曲线(P_n -PFD曲线),依据Bassman & Zwier(1991)的方法拟合 P_n -PFD的曲线方程: $P_n = P_{\max}(1 - C_0 e^{\phi \text{PFD}/P_{\max}})$,其中 $P_{\max}$ 为最大净光合速率,即光合能力, ϕ 为弱光下光化学量子效率,即表观量子效率(AQY), C_0 为度量弱光下净光合速率趋于0的指标。通过适合性检验,若拟合效果良好,则可用下式计算光补偿点(LCP): $\text{LCP} = P_{\max} \ln(C_0)/\phi$,假定 P_n 达到 $P_{\max}$ 的99%的PFD为光饱和点(LSP),则 $\text{LSP} = P_{\max} \ln(100C_0)/\phi$ 。

1.3 光合色素含量的测定

在成熟叶片中部用打孔器取20片 $1\ \text{cm}^2$ 的小圆片,用80%丙酮提取,按Lichtenthaler方法(李合生,2000)测定提取液在波长663、646、和470 nm下的光密度值,按公式计算出叶绿素a(Chla)、叶绿素b(Chlb)和类胡萝卜素(Car)的含量及Chla/Chlb、Car/Chl的值。

1.4 单叶面积和比叶重的测定

取10片成熟叶片,先用Li-3000叶面积仪测定其叶面积,在 $110\ ^\circ\text{C}$ 下处理30 min, $80\ ^\circ\text{C}$ 烘干24 h后,用电子天平称干重,计算比叶重(LMA)(单位面积叶干重, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)。

1.5 块根生长动态和生物量的测定

试验开始之日起,每隔半个月测定一次块根直径,直至11月底试验结束。试验结束后,测定各处理块根生物量。比较不同生长光强对广西地不容生长和块根生物量的影响。

1.6 数据处理

用SPSS13.0统计软件对数据进行方差分析,并用Duncan法对各参数平均值进行多重比较,用SigmaPlot9.0和Excel2003软件绘图。

2 结果与分析

2.1 生长光强对光合一光响应曲线的影响

广西地不容经遮荫处理后对光强的响应与全光照(对照)基本一致,光合速率随光强上升而升高,到

达光饱和点后,均趋于平稳(图 1)。随生长光强的减弱,叶片 P_{max} 先减小,而后稍有增加(表 1),100%光强下最高,显著高于 30%和 15%光强处理,30%光强下最低,但与 15%光强下的值差异不显著(表 1)。

随着光照强度的减弱,广西地不容 LSP 和 LCP 与 P_{max} 表现出相同的变化趋势,与 100%光强相比,50%、30%、15%光强下 LSP 分别下降 14.24%、30.45%、13.51%,LCP 下降 32.41%、59.48%、53.93%。100%光强下 LSP 和 LCP 显著高于其它

处理,30%光强下 LSP 显著低于其它处理,LCP 则显著低于 100%光强和 50%光强处理,与 15%光强处理无显著差异(表 1)。

表观量子效率(AQY)指植物每吸收一个光子所固定的 CO_2 或释放 O_2 的分子数,是表示光合作用光能利用效率高低的参数(张进忠等;2005)。不同的生长光强对广西地不容 AQY 有显著影响,30%光强下最高,50%光强居中,而 100%和 15%光强下较低,表明光强过高和过低,都不利于光能利用效率提高。

表 1 不同生长光强下广西地不容的气体交换参数
Table 1 Gas exchange parameters of *S. kwangsiensis* grown under different light intensities

相对光强 RI(%)	最大净光合速率 $P_{max}(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	表观量子效率 $AQY(\mu mol \cdot \mu mol^{-1})$	光饱和点 $LSP(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	光补偿点 $LCP(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$
100	$8.77 \pm 0.99a$	$0.044 \pm 0.005ab$	$946.02 \pm 87.60a$	$22.16 \pm 3.14a$
50	$8.23 \pm 0.37ab$	$0.048 \pm 0.004a$	$811.33 \pm 70.22b$	$14.98 \pm 4.30b$
30	$6.92 \pm 0.45b$	$0.049 \pm 0.002a$	$657.96 \pm 17.89c$	$8.98 \pm 3.05c$
15	$7.32 \pm 0.92b$	$0.042 \pm 0.006b$	$818.24 \pm 40.80b$	$10.21 \pm 4.38bc$

注:数据为平均值±标准误(n=3-5)。不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上差异显著。下同。
Note: Data were means±SE(n=3-5). Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same below. RI: Relative irradiance; P_{max} : Maximum net photosynthetic rate; AQY: Apparent quantum yield; LSP: Light saturate point; LCP: Light compensation point.

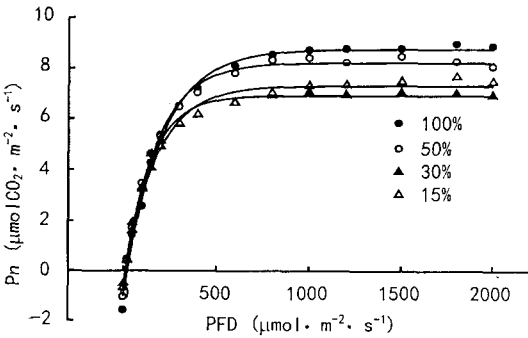


图 1 不同生长光强下广西地不容的光合-光强响应曲线
Fig. 1 Photosynthesis-light response curves of *Stephania kwangsiensis* grown under different light intensities

2.2 生长光强对叶片光合色素含量的影响

叶片中光合色素是叶片光合作用的物质基础,环境因子的改变可以引起光合色素的变化,光合色素含量的高低在很大程度上反映了植物的生长状况和叶片的光合能力(朱小龙等,2007)。随着生长光强的减弱,广西地不容叶片叶绿素总量、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量增加,15%光强处理显著高于其它处理,100%光强处理显著低于其它处理,30%光强处理和 50%光强处理间则无显著差异。类胡萝卜素含量随光强的减弱有增大的趋势,类胡萝卜素与叶绿素的比值随光强的减弱有减小的趋势,叶绿素 a/b 在各处理间差异并不显著(表 2)。

表 2 不同生长光强下广西地不容叶片光合色素含量及比例

Table 2 Concentration and ratio of photosynthetic pigments in leaves of *S. kwangsiensis* grown under different light intensities

相对光强 RI (%)	Chla ($mg \cdot g^{-1} DW$)	Chlb ($mg \cdot g^{-1} DW$)	Chl(a+b) ($mg \cdot g^{-1} DW$)	Car ($mg \cdot g^{-1} DW$)	Cha/Chb	Car/Chl
100	$4.78 \pm 0.32c$	$1.33 \pm 0.09c$	$6.12 \pm 0.40c$	$1.76 \pm 0.17b$	$3.60 \pm 0.13a$	$0.289 \pm 0.018a$
50	$7.60 \pm 0.28b$	$2.01 \pm 0.10b$	$9.61 \pm 0.38b$	$2.06 \pm 0.02b$	$3.79 \pm 0.04a$	$0.215 \pm 0.006b$
30	$8.20 \pm 1.20b$	$2.15 \pm 0.29b$	$10.35 \pm 1.49b$	$1.95 \pm 0.31b$	$3.82 \pm 0.14a$	$0.189 \pm 0.004c$
15	$10.60 \pm 1.01a$	$2.88 \pm 0.26a$	$13.48 \pm 1.27a$	$2.60 \pm 0.36a$	$3.68 \pm 0.03a$	$0.192 \pm 0.138c$

2.3 生长光强对单叶面积和比叶重的影响

在不同光强下生长的广西地不容单叶面积和比叶重存在显著差异(表 3)。单叶面积随着生长光强的减弱而增大,50%、30%、15%光强下的叶面积分别为 100%光强下的 1.73、2.24、2.35 倍;比叶重则随着

生长光强的减弱而减小,分别为对照的 83.33%、72.22%、69.44%,说明光强减弱,叶片厚度降低。

2.4 光照强度对块根生长和生物量的影响

在不同生长光强下,广西地不容块根直径生长呈现出“慢—快—慢”的特点,其生长量最终表现为

30%光强>50%光强>15%光强>100%光强(图 2)。块根在前期生长较慢,于 6 月份进入快速生长期,此后植株生长旺盛,块根迅速生长,11 月以后,叶片逐渐枯萎脱落,块根生长减缓。不同生长光强对广西地不容块根生物量有显著影响(表 4),30%光强最大,100%光强最小,30%和 50%光强下块根生物量显著高于 15%和 100%光强处理。

表 3 不同生长光强下广西地不容单叶面积和比叶重
Table 3 Single leaf area and leaf mass per area of *Stephania kwangsiensis* grown under different light intensities

相对光强 RI(%)	单叶面积(cm ²) Single leaf area	比叶重(g·cm ⁻²) Leaf mass per area
100	57.56±5.01c	0.0036±0.0004a
50	99.82±13.72b	0.0030±0.0002b
30	129.19±10.85a	0.0026±0.0002c
15	135.23±16.46a	0.0025±0.0001c

表 4 不同光照强度下广西地不容块根生物量
Table 4 Root tuber biomass of *Stephania kwangsiensis* grown under different light intensities

相对光强 RI(%)	生物量 Biomass (g)
100	43.28±9.49b
50	59.36±11.44a
30	65.17±7.29a
15	48.75±9.21b

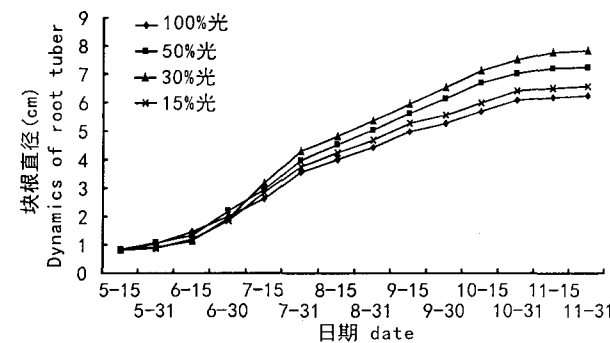


图 2 不同光照强度下广西地不容块根直径生长动态
Fig. 2 Growing dynamics of *Stephania kwangsiensis* root tuber grown under different light intensities

3 结论与讨论

光照条件直接影响植物的光合作用、水分供需和代谢产物的分配等,从而影响植物的生长发育(潘瑞炽,2001)。前人在多种植物上的研究表明,光照强度对植物的生长及光合特性有明显影响(范燕萍等,1998;彭建宗等,1992;齐欣等,2004),本试验研

究表明,在不同生长光强下,广西地不容光合特性、叶片光合色素含量、单叶面积、比叶重、块根生长和生物量积累等都有显著差异。

植物光合作用光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)显示了植物叶片对强光和弱光的利用能力,代表了植物的需光特性和需光量(张旺锋等,2005)。本试验中,50%、30%、15%光强下广西地不容 LSP 和 LCP 显著低于自然光强条件,这是植物对低光环境的适应性反应,表明广西地不容是一种耐荫植物。表观量子效率(AQY)是光合作用中光能转化最大效率的一种度量,可以正确地反映光合机构机能的变化,也可以反映叶片对弱光的利用能力(黄俊等,2006)。50%和 30%光强下的广西地不容 AQY 显著高于 100%和 15%光强处理,说明光照过强或过荫,都不利于其光合效率的提高。

一般而言,随着光照强度的减弱,植物为更好的利用环境光能以对生长进行补偿,通常叶绿素含量会增加,而且在弱光下,叶绿素 a 和叶绿素 b 的比例也会发生改变(黄俊等,2006)。随着生长光强的减弱,广西地不容叶片叶绿素总量、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量显著增加,说明降低光强有利于叶绿素的合成,适度遮荫处理可以降低强光对叶绿素的破坏,而在过度遮荫下,叶绿素继续增加,是植物处于光胁迫环境下形成的一种生理适应性,使其在弱光下可吸收较多的光能,供光合需要,这与前人的研究结果一致(吴能表等,2005;徐燕等,2007;于国华等,1994);叶绿素 a/b 在各处理间无明显差异,这与异株荨麻、茴香、烤烟等植物叶绿素 a/b 随遮荫程度的提高而下降有所不同(黄俊等,2006;肖艳辉等,2007;乔新荣,2007)。随着光照强度的增强,Chl、Car 含量均下降,由于 Car 的稳定性高于 Chl,其下降幅度小于 Chl,Car 在光合色素中的比例相对升高,Car/Chl 亦有升高的趋势。强光下,Car 含量相对升高,有利于保护光合机构,防止 Chl 的光氧化破坏(Demmig-Adams,1996)。

耐荫植物对弱光照的适应性表现在叶面积的增加和非同化器官相对重量的减少,这有助于同化有机物质的增长和呼吸消耗的降低(王绍辉等,1998),随着光照强度的降低,广西地不容叶面积增大,这是植物叶片对弱光适应性的一种表现。LMA 与植物叶片长期生长的光环境密切相关(Rosati 等,2001)。广西地不容弱光环境下 LMA 降低,单位干重的叶面积增大、捕光能力增强,增加叶片同化组织对输导

组织和结构组织的相对比(Poorter, 1989), 利于碳的净积累(Pearcy & Sim, 1994), 是植物对弱光环境做出的典型的形态学反应(冯玉龙等, 2002)。本试验中, 30%和 50%光强下广西地不容块根生物量显著高于 100%光强和 15%光强处理。表明光照过强和过弱都不利于生物量的积累。光照过强, 可能出现光抑制而降低光合作用, 生长速率下降, 碳水化合物积累下降; 光强太弱, 供光利用的能量不足, 净光合速率下降, 植株干物质积累减小。

广西地不容对光强的适应范围较广, 在 100%至 15%光强条件下均能生长, 但光照过强或过弱, 都会对其生长造成不良影响, 光合速率降低, 生长减缓, 块根生物量积累下降, 30%光强是当年生幼苗生长的最佳光强。在广西地不容的引种栽培过程中要特别注意光环境, 适当的遮荫能促进幼苗的生长。本试验以当年生苗为试验材料, 其多年生植株对不同生长光强的适应特性还有待进一步研究。

参考文献:

- 中国科学院中国植物志编辑委员会. 1996. 中国植物志(第 30 卷第 1 分册)[M]. 北京: 科学出版社, 40—70
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 134—137
- 潘瑞炽. 2001. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 55—98
- Bassman J, Zwier JC. 1991. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *P. deltoides* and *P. trichocarpa* × *P. deltoides* clone[J]. *Tree Physiol*, 8: 145—159
- Boardman NK. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 28: 355—377
- Demmig-Adams B, WW Adams III. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis[J]. *Trends in Plant Sci*, 1: 21—26
- Deng YC(邓业成), Xu HH(徐汉虹). 2004. Alkaloids from the tubers of *Stephania kwangsiensis* (广西地不容块根生物碱成分研究)[J]. *J Guangxi Normal Univ* (广西师范大学学报), 22(4): 73—77
- Deng YC(邓业成), Xu HH(徐汉虹). 2005. Studies on insecticidal activities and active ingredients of *Stephania kwangsiensis* (广西地不容的杀虫活性及有效成分研究)[J]. *J China Agric Univ* (中国农业科学), 38(3): 523—527
- Fan YP(范燕萍), Yu RC(余让才), Guo ZH(郭志华). 1998. Effects of shading on the growth and photosynthetic characteristics in *Spathiphyllum palls* (遮荫对匙叶天南星生长及光合特性的影响)[J]. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 25(3): 270—274
- Feng YL(冯玉龙), Cao KF(曹坤芳), Feng ZL(冯志立), et al. 2002. Effects of nocturnal chilling temperature on chlorophyll fluorescence parameters in seedlings of two ravine rainforest species grown under different light intensities (夜间低温对不同光强下生长的两种热带树幼苗光合作用的影响)[J]. *J Plant Physiol Mol Biol* (植物生理与分子生物学学报), 28(6): 433—440
- Huang J(黄俊), Guo SR(郭世荣), Wu Z(吴震), et al. 2006. Photosynthetic characteristics of six *Brassica campestris* ssp. *chinensis* varieties (6 个不结球白菜品种光合作用特性的研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), 26(6): 1 183—1 189
- Li XZ(李晓征), Hao RM(郝日明), Ren Y(任燕). 2006. Effects of shading on growth and photosynthetic characteristics of *Daphniphyllum macropodum* in different ages (遮荫处理对不同苗龄交让木的生长和光合特性的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), 26(5): 499—502
- Min ZD(闵知大), Zhong SM(钟守明). 1980. Studies on the alkaloids from *Stephania kwangsiensis* (广西地不容生物碱的研究)[J]. *Acta Pharm Sin* (药学报), 15(9): 532—537
- Pearcy RW, Sim DA. 1994. Photosynthetic acclimation to changing light environments; scaling from the leaf to the whole plant [M]//Caldwell MM, Pearcy RW (eds). *Exploitation of environmental heterogeneity by plants; ecophysiological processes above- and below ground*. San Diego: Academic Press
- Peng JZ(彭建宗), Chen ZP(陈兆平). 1992. Effect of shading on the growth and photosynthesis of *Arachis pintoi* (遮荫对多年生花生生长的影响)[J]. *J South China Normal Univ* (Nat Sci Edi) (华南师范大学学报·自然科学版), (2): 92—94
- Poorter H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate; on ecological causes and physiological consequences [A]. In: Lambers H, Cambridge ML, Konings H (eds). *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants* [M]. Netherlands: Academic Publishing
- Qi X(齐欣), Cao KF(曹坤芳), Feng YL(冯玉龙). 2004. Photosynthetic acclimation to different growth light environments in seedlings of three tropical rainforest *Syzzygium* species (热带雨林蒲桃属 3 个树种的幼苗光合作用对生长光强的适应)[J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 28(1): 31—38
- Qiao XR(乔新荣), Guo QY(郭桥燕), Liu GS(刘国顺), et al. 2007. Effects of light intensity on growth and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco (光强对烤烟生长发育及光合特性的影响)[J]. *Acta Agric Boreali Sin* (华北农学报), 22(3): 76—79
- Rosati A, Badeck FW, Dejong TM. 2001. Estimating canopy light interception and absorption using leaf mass per unit leaf area in *Solanum melongena* [J]. *Ann Bot*, 88: 101—109
- Wang SH(王绍辉), Hao CL(郝翠玲), Zhang ZX(张振贤). 1998. The study and advance in the shade effect of plant (植物遮荫效应的研究与进展)[J]. *J Shandong Agric Univ* (山东农业大学学报), 29(1): 130—134
- Wang XK(王宪楷), Zhao TF(赵同芳). 1990. The distribution and bioactivity of alkaloids in genus *Stephania* (千金藤属植物中生物碱成分的分布及其生物活性)[J]. *Chin Pharm J* (中国药理学杂志), 25(1): 3—5
- Wu NB(吴能表), Tan F(谈锋), Xiao WJ(肖文娟), et al. 2005. Effects of light intensity on morphologic and physiological indexes and safrol content of *Cinnamomum pauciflorum* seedlings (光强因子对少花桂幼苗形态和生理指标及精油含量的影响)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 25(5): 1 159—1 164
- Xiao YH(肖艳辉), He JM(何金明), Wang YM(王羽梅). 2007. Effect of light intensity on plant growth, contents and components of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare*) (光照强度对茴香植物生长以及精油的含量和成分的影响)[J]. *Plant*

力,并能正常开花结实(图版I:3,4)。野外环境中仅出现于洞穴等特殊微环境,其原因可能是其与其它植物的竞争能力弱,而对弱光照、长时间的干旱、长时间的土壤高含水量、规律性干旱交替、以及高 CO₂ 浓度等恶劣生长环境条件的适应能力强,在其它植物对这类环境适应不良的前提下成为洞穴内某一特殊地段上的优势物种。该洞穴附近由于地势险峻,涉足的人不多,但不远处已开垦为种植玉米、甘薯等作物的田地,人为干扰很容易使李氏唇柱苣苔陷于危险境地。

致谢 承蒙李振宇研究员、韦毅刚副研究员、张启翔教授和李家美博士鉴定、审阅标本确立新种并提出参考意见;张启翔教授指导;李爱莉绘制插图;张鑫协助制作标本;黄再艳首次野外发现并拍摄、记录,在此一并致谢。并谨以此献给李月和女士、李振宇先生、李湛东先生与高波先生。

参考文献:

- 李振宇,王印政. 2004. 中国苦苣苔科植物[M]. 郑州:河南科技出版社,171—261
- 王文采,潘开玉,李振宇. 1990. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,69:340—407
- Cao M(曹明),Lin CR(林春蕊),Tang SC(唐赛春),et al. 2003. Pollen morphology of some species of Gesneriaceae from Guangxi (广西苦苣苔科植物花粉形态)[J]. *Guihaia*(广西植物),23(2):139—142
- Fang D(方鼎),Qing DH(覃德海). 2004. *Wentsaiboea* D. Fang & D. H. Qin, a new genus of the Gesneriaceae from Guangxi, China [J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报),42(6):533—536
- Li ZY(李振宇),Li YB(李渊博),Xing Quan(邢全). 2006. *Chirita tribracteata* var. *zhuana* Z. Y. Li, Q. Xing & Y. B. Li (Gesneriaceae), a new variety from Guangxi, China(广西唇柱苣苔属(苦苣苔科)一新变种——光华唇柱苣苔)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报),44(6):649—650
- Wang WT(王文采). 1987. Species nova chiritae e Guangxi(广西唇柱苣苔属一新种)[J]. *Guihaia*(广西植物),7(2):125—126
- Wang WT, Pan KY, Li ZY. 1998. *Chirita*[M]//Wu ZY & Raven PH(eds). *Flora of China* 18:310. Science Press, Beijing and Botanical Garden Press, St. Louis, Missouri
- Wei YG. 2004. *Paralagarosolen* Y. G. Wei, a new genus of the Gesneriaceae from Guangxi, China[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报),42(6):528—532
- Yan ZJ, Li ZY. 2003. Pollen morphology of genus *Chirita*(Gesneriaceae) in China and its systematic significance[J]. *Guizhou Science*, 21(3):1—8
- Physiol Commun*(植物生理学通讯),43(3):551—554
- Xu Y(徐燕),Zhang YB(张远彬),Qiao YZ(乔匀周),et al. 2007. Effects of light intensity on the traits of photosynthesis and Chlorophyll fluorescence of red birch seedlings in subalpine area, western China(光照强度对川西高山红桦幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响)[J]. *J Northwest Fore Univ*(西北林学院学报),22(4):1—4
- Yang XY(杨兴有),Ye XF(叶协锋),Liu GX(刘国顺),et al. 2007. Effects of light intensity on morphological and physiological characteristics of tobacco seedlings(光强对烟草幼苗形态和生理指标的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),18(11):2 642—2 645
- Yu GH(于国华),Qing HM(苘辉明),Luo WX(罗文惠). 1994. Effect of light intensity on photosynthetic characteristics, nutritive components and yield of American ginseng(不同光照强度对西洋参光合特性、营养成分和产量的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),5(1):57—61
- Zhang JZ(张进忠),Lin GZ(林桂珠),Lin ZF(林植芳),et al. 2005. Response of photosynthesis to growth light intensity in some south subtropical woody plants(几种亚热带木本植物光合作用对生长光强的响应)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(亚热带植物学报),13(5):413—418
- Zhang WF(张旺锋),Fan DY(樊大勇),Xie ZQ(谢宗强),et al. 2005. The seasonal photosynthetic responses of seedlings of the endangered plant *Cathaya argyrophylla* to different growth light environments(濒危植物银杉幼树对生长光强的季节性光合响应)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性),13(5):387—397
- Zhu XL(朱小龙),Li ZJ(李振基),Lai ZH(赖志华),et al. 2007. Effects of water stress on *Tsuga longibracteata* seedlings under varied light intensity(不同光照下土壤水分胁迫对长苞铁杉幼苗的作用)[J]. *J Beijing Fore Univ*(北京林业大学学报),29(2):77—81

(上接第 796 页 Continue from page 796)