

文章编号:1001-1498(2004)03-0305-05

扶芳藤、紫藤等 7 种藤本植物光能利用特性及耐荫性比较研究

王 雁, 马武昌

(中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091)

摘要:采用镝灯人工光源,于温室内对盆栽的紫藤、美国凌霄、地锦、五叶地锦、山荞麦、扶芳藤、金银花进行了光-光响应曲线和 CO₂ 响应曲线的测定,对比分析了 7 种藤本植物的光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、最大净光合速率(Pn)、最大表观量子效率()、CO₂ 补偿点和 RuBP 羧化酶的相对活性,并对 7 种藤本植物 Pn、与植物耐荫性的相关关系及 7 种藤本植物 CO₂ 利用能力与耐荫性的相关关系进行了多元回归分析。结果表明,(1) 7 种藤本植物的光能利用特性不同。扶芳藤、金银花、五叶地锦的 LCP 和 LSP 都低,能够充分利用弱光并具有较强的耐荫性;山荞麦 LCP 较低,但 LSP 却较高,对有效光能辐射的利用范围较宽,对弱光具有一定的忍耐能力的同时又表现出一定的喜光性;地锦、紫藤、美国凌霄 LCP 高,同时 LSP 也较高,均为喜光藤本植物。(2) 植物 LCP 高低是评价植物耐荫性能力的最直接指标,7 种藤本植物 LCP 与 Pn 呈正相关,与 呈负相关;与 CO₂ 补偿点呈微弱的负相关,与 RuBP 羧化酶相对活性呈正相关关系。(3) 7 种藤本植物的耐荫能力由强到弱顺序为扶芳藤、金银花(五叶地锦)、山荞麦、紫藤、地锦、美国凌霄。

关键词:扶芳藤;紫藤;藤本植物;光能利用特性;耐荫性

中图分类号:S731.2 **文献标识码:**A

藤本植物通过缠绕、卷攀、吸附、依附等方式向上生长,占地少,生长快,可以用于快速绿化,具有独特的绿化、美化效果;可以与城市树木进行水平混交或垂直混交,创造森林群落结构,求得更好地绿化效益。尤其在目前可直接用于绿化的城市土地越来越少,城市绿化面临着向空间发展的紧迫性;以藤本植物绿化建筑物、构筑物立面,对于降低城市热岛效应更具有现实意义^[1]。我国虽然拥有可栽培利用的藤本植物约 1 000 余种^[2],但除农业上开发应用的猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch.)、葡萄(*Vitis vinifera* L.)^[3]和林业开发应用的紫藤(*Wisteria sinensis* Sweet.)^[4]等有限的几个种类外,藤本植物几乎不为世人所知。对藤本植物的生物学特性认识的不足,特别是对绿化应用藤本植物的光能利用特性研究的空白,是限制藤本植物合理开发利用的主要原因之一。本文针对北京市城市绿化中的 7 种藤本植物进行光能利用特性及其耐荫性的研究,以期对藤本植物在城市绿化中的合理应用提供理论上的依据。

收稿日期:2003-08-06

基金项目:科技部十五攻关课题(2002BA516A15)部分内容

作者简介:王雁(1969—),女,黑龙江哈尔滨人,副研究员。

1 材料准备

材料为北京市城市绿化常用的藤本植物紫藤、美国凌霄 (*Campsis radicans* (L.) Seen)、地锦 (*Parthenocissus tricuspidata* (Sieb. et Zucc) Planch.)、五叶地锦 (*P. quinquefolia* (L.) Planch.)、山荞麦 (*Polygonum aubertii* L. Henry)、扶芳藤 (*Euonymus fortunei* (Turcz.) Hand.-Mazz.)、金银花 (*Lonicera japonica* Thunb.)，苗龄为 4 年生，各 5 株，均盆栽 3 个月，在温室中遮光栽培 1 周，消除前置光效应后进行各项指标的测定，并于测定前日傍晚充分浇水，以避免由于水分供应不足引起的净光合速率误差。

2 研究方法

2002 年 7 月选用镉灯人工光源，美国 Lambda 公司 Li-6200 便携式光合作用分析系统，上午 9:00—11:00 进行测定，随机选取大枝条中上部小枝条上的当年生、叶色浓绿、成熟的功能叶。采用在叶室窗口用白纱布遮光的方法来获得递变的光量子通量密度和相应的净光合速率值。在光饱和点光照 ($1\ 600\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$) 条件下，以向叶室吹气的方法获得递变的 CO_2 浓度及相应的净光合速率值。每株植物测定 3~5 个样品单位，最后取测定的平均值做光-光响应曲线和 CO_2 响应曲线。以对数曲线拟合光-光响应曲线和 CO_2 响应曲线^[5]，将光-光响应曲线在低光量子通量密度下的净光合速率做直线回归，求得各植物的最大表观量子效率^[6-8]。将 CO_2 响应曲线的初始部分，以直线方程拟合低浓度下的净光合速率，求得各植物的 RuBP 羧化酶的相对活性^[6]。

3 结果与分析

3.1 光补偿点(LCP)

植物光补偿点的高低直接反映了植物对弱光的利用能力大小，是植物耐荫性评价的重要指标。表 1 表明藤本植物对光能的利用范围较宽，7 种藤本植物的 LCP 变化范围较大，以美国凌霄的 LCP 最高，为 $115\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ ，扶芳藤的 LCP 最低，为 $17\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ 。说明藤本植物作为自然植物群落中的层间植物，对环境的适应性导致生活类型丰富，不同植物的 LCP 具有较大的差异。美国凌霄具有极强的喜光性，而五叶地锦、金银花、扶芳藤对弱光量子通量密度的环境表现出了极强的适应性。

表 1 不同植物的光能利用特性及光-光响应曲线回归方程

植物	光补偿点/ ($\mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)	光饱和点/ ($\mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol}\ \text{CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)	回归方程	相关系数 (R^2)
美国凌霄	115	1 110	11.49 \pm 0.44	$y = 4.433\ln(x) - 21.018$	0.982 9
地锦	80	600	7.03 \pm 0.23	$y = 2.403\ln(x) - 10.534$	0.981 6
紫藤	51	590	7.52 \pm 0.51	$y = 2.352\ln(x) - 9.262$	0.967 2
山荞麦	34	650	10.02 \pm 0.29	$y = 2.608\ln(x) - 9.223$	0.995 8
五叶地锦	21	290	3.98 \pm 0.62	$y = 1.148\ln(x) - 4.527$	0.992 6
金银花	21	450	6.54 \pm 0.33	$y = 1.787\ln(x) - 5.453$	0.993 5
扶芳藤	17	330	4.78 \pm 0.45	$y = 1.308\ln(x) - 3.688$	0.967 9

注：x——光量子通量密度；y——最大净光合速率。

3.2 7 种藤本植物最大净光合速率(P_n)、最大表观量子效率()与植物耐荫性的相关关系

植物光合作用曲线变化的不同程度是不同植物所具有的特性^[10,11]。 LCP 、 LSP 、光饱和点(LSP)、 P_n 等的变化,都具有一定的植物种的遗传稳定性,研究证明^[5],耐荫植物较喜阳植物具有较低的 LCP 、 LSP 、 P_n ,大部分耐荫植物的 LCP 较喜阳植物大,但也有不变或减小的情况存在。

从表 1 可以看出,7 种藤本植物的 P_n 以美国凌霄最高($11.49 \pm 0.44 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、其次为山荞麦、紫藤、地锦、金银花、扶芳藤,五叶地锦最低($3.98 \pm 0.62 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),表明不同植物对光能的利用效率具有差异。可以看出,具有高 LCP 的植物其 P_n 也较高,如美国凌霄,其光能利用效率最高;相反,具有低 LCP 的植物其 P_n 也相对较低,如五叶地锦、扶芳藤、金银花的光能利用效率较低。 LCP 的高低与 P_n 大小并不呈现绝对一致性,说明植物 P_n 的大小不仅仅取决于 LCP 的高低,还受到植物叶片解剖结构、光合色素含量以及能量转移效率等多因子的共同影响^[12]。 LSP 最高和最低的植物分别为美国凌霄($1100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和五叶地锦($290 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。一方面,表明具有高 LCP 的藤本植物一般具有相对较高的 LSP ,相反地, LCP 较低的植物其 LSP 也相应较低;另一方面,7 种藤本植物对光量子通量密度有效利用范围的不同,说明各种植物适生的光环境条件不同。

表 2 表明,7 种藤本植物中最大的为扶芳藤(0.036 8),最小为五叶地锦(0.016 4)。该结果与余叔文^[6]论述的在自然条件下,叶片光合的 P_n 通常在 0.02 ~ 0.05 范围相符。具有低 LCP 的扶芳藤、金银花在弱光下的 P_n 较高,说明耐荫植物具有较高的捕获光量子用于光合作用的能力,这与 Lee 等^[13]和 Osborne 等^[10]的研究结论是一致的。

7 种藤本植物的 P_n 、 LSP 与 LCP 的多元回归方程为:

$$Y = 0.897 2 + 9.647 3 X(1) - 936.748 1 X(2)$$

其中, $X(1)$ 为 P_n ; $X(2)$ 为

两因子对 Y 的偏相关系数分别为:

$$X(1) = 0.718 231 8$$

$$X(2) = - 0.305 828 6$$

复相关系数 $R(3) = 0.745 073 3$

因此,7 种藤本植物的 LCP 与 P_n 呈正相关,与 LSP 呈负相关。

表 2 不同植物的最大表观量子效率及回归方程

植物	最大表观量子效率	弱光范围/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	回归方程	相关系数(R^2)
扶芳藤	0.036 8	8 ~ 44	$y = - 0.732 9 + 0.036 8x$	0.991 9
金银花	0.034 3	24 ~ 99	$y = - 0.448 2 + 0.034 3x$	0.946 9
美国凌霄	0.026 2	88 ~ 245	$y = - 3.501 4 + 0.026 2x$	0.999 6
山荞麦	0.021 7	42 ~ 205	$y = - 0.029 8 + 0.021 7x$	0.998 3
紫藤	0.019 3	30 ~ 165	$y = - 1.033 3 + 0.193 0x$	0.918 4
地锦	0.018 7	88 ~ 213	$y = - 1.497 2 + 0.018 7x$	0.980 8
五叶地锦	0.016 4	27 ~ 95	$y = - 1.030 5 + 0.016 4x$	0.925 5

注: x —— 光量子通量密度; y —— 最大净光合速率。

3.3 7 种藤本植物 CO_2 利用能力与耐荫性的相关关系

植物光合特性也直接与植物吸收 CO_2 的能力有关, CO_2 由大气进入叶表、叶肉、叶绿体,受

到扩散阻力以及羧化酶活性、ATP、电子传递活性等的影响。从表 3 可以看出,7 种藤本植物中紫藤 CO_2 补偿点最高,为 $224.13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,扶芳藤的 CO_2 补偿点最低,为 $113.71 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

从表 4 可以看出具有相对高的 *LCP* 的植物也具有相对较高的 RuBP 羧化酶相对活性,如地锦、紫藤和美国凌霄;相反,扶芳藤、金银花等 *LCP* 相对较低的植物其 RuBP 羧化酶相对活性也较低。

表 3 不同植物的 CO_2 补偿点及 CO_2 响应曲线回归方程

植物	CO_2 补偿点/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	回归方程	相关系数 (R^2)
山荞麦	196.04	$y = 14.272\ln(x) - 78.575$	0.978 8
地锦	187.06	$y = 24.964\ln(x) - 136.509$	0.948 8
五叶地锦	139.05	$y = 11.251\ln(x) - 58.978$	0.947 2
美国凌霄	121.01	$y = 19.622\ln(x) - 100.893$	0.923 2
紫藤	224.13	$y = 24.871\ln(x) - 139.614$	0.963 2
金银花	220.93	$y = 12.875\ln(x) - 76.178$	0.965 5
扶芳藤	113.71	$y = 17.871\ln(x) - 98.461$	0.943 4

注: x —— CO_2 浓度; y —— 最大净光合速率。

表 4 不同植物的 RuBP 羧化酶相对活性及回归方程

植物	CO_2 浓度/($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	RuBP 羧化酶相对活性	回归方程	相关系数(R^2)
地锦	173 ~ 428	0.062 1	$y = 0.062 1x - 14.854$	0.988 5
紫藤	237 ~ 424	0.050 7	$y = 0.050 7x - 13.572$	0.985 0
美国凌霄	111 ~ 530	0.045 6	$y = 0.045 6x - 7.919$	0.981 1
扶芳藤	147 ~ 540	0.038 6	$y = 0.038 6x - 10.735$	0.997 0
山荞麦	198 ~ 410	0.031 0	$y = 0.031 0x - 7.675$	0.978 5
五叶地锦	124 ~ 412	0.026 7	$y = 0.026 7x - 5.548$	0.985 8
金银花	282 ~ 519	0.022 3	$y = 0.022 3x - 8.440$	0.973 3

注: x —— CO_2 浓度; y —— 最大净光合速率。

7 种藤本植物 CO_2 补偿点、RuBP 羧化酶相对活性与 *LCP* 的多元回归方程为:

$$Y = 9.508 4 - 0.139 4X(1) + 1 764.331 X(2)$$

其中 $X(1)$ 为 CO_2 补偿点; $X(2)$ 为 RuBP 羧化酶相对活性

两因子对 Y 的偏相关系数分别为:

$$X(1) = -0.239 475 4; X(2) = 0.689 201 4$$

复相关系数 $R(3) = 0.699 997 3$

因此,7 种藤本植物的 *LCP* 与 CO_2 补偿点呈微弱的负相关,与 RuBP 羧化酶相对活性呈正相关关系。

4 小结

(1) 植物 *LCP* 高低是评价植物耐荫性能力的最直接指标,7 种藤本植物 *LCP* 与 P_n 呈正相关,与 P_n 呈负相关。(2) 7 种藤本植物 *LCP* 与 CO_2 补偿点呈微弱的负相关,与 RuBP 羧化酶相对活性呈正相关关系。(3) 7 种藤本植物的光能利用特性不同。扶芳藤、金银花、五叶地锦的 *LCP* ($< 40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 和 *LSP* 都低,能够充分利用弱光,具有较强的耐荫性;山荞麦的 *LCP* 较低,但 *LSP* 却较高,对有效光能辐射的利用范围较宽,对弱光具有一定的忍耐能力的同时又表现出一定的喜光性;地锦、紫藤、美国凌霄 *LCP* 高 ($> 50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),同时 *LSP* 也较高,均为喜光藤本植物。

参考文献:

- [1] 臧得奎,周树军.攀援植物与垂直绿化[J].中国园林,2000,16(5):79~81
- [2] 王玉华,王丽芸.藤本花卉[M].北京:金盾出版社,1999
- [3] 张大鹏.葡萄不同栽培方式叶幕光能利用的综合评估参数——叶幕受光指数[J].园艺学报,1995,22(4):323~330
- [4] 黄成林,周大跃,徐济中,等.木本攀援植物在现代城市垂直绿化中的应用[J].安徽农业大学学报,1995,22(1):48~52
- [5] [苏]I.O.采列尼克著(王世绩译).木本植物耐荫性的生理学原理[M].北京:科学出版社,1986
- [6] 余叔文.植物生理与分子生物学[M].北京:科学出版社,1992
- [7] Osborne B A, Raven J A. Light absorption by plants and its implications for photosynthesis[J]. Bio Rev,1986,61:1~61
- [8] 许大全.光合作用效率[J].植物生理学通讯,1988(5):1~7
- [9] 李立人,王维光,翰祺.苜蓿二磷酸核酮糖(RuBP)羧化酶体内活性作用的调节[J].植物生理学报,1986,12(1):33~39
- [10] Bjorkman O, Hølmgren P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitat [J]. Physiol Plantarum,1963,16(4):889~914
- [11] Gaul E. Differential photosynthetic performance of *Solanum Dulcamara* ecotypes form shaded and exposed habitat [J]. Carnegie Inst. Yearbook,1967—1968,67:482~487
- [12] 王雁,苏雪痕,彭镇华.植物耐荫性研究进展[J].林业科学研究,2002,15(3):349~355
- [13] Lee D W, Bone R A, Tarsis S L, et al. Correlates of leaf optical properties in tropical forest sun and extreme-shade plants[J]. Amer J Bot, 1990,77(3):370~380

Comparative Studies on Light Utilization Characteristics and Shade Tolerance of 7 Climbing Shrub Species

WANG Yan, MA Wuchang

(Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The light-light curve and CO₂ curve of 7 potted climbing shrub species, *Wisteria sinensis*, *Euonymus fortunei*, *Parthenocissus tricuspidata*, *P. quinquefolia*, *Polygonum aubertii*, *Campsis radicans* and *Lonicera japonica*, were determined by Dysprosium light illumination. Light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), P_n, CO₂ compensation point and RuBisco relativity of the 7 climbing shrub species were analyzed comparatively. The correlation of shade tolerance with P_n and CO₂ utilization ability were discussed by multi-factor analyzing. The results showed that different climbing shrub specie had different light utilization characteristics. *Euonymus fortunei*, *Lonicera japonica* and *Parthenocissus quinquefolia* had low LCP, meanwhile they had lower LSP. They could use low light quantum, and had strong shaded-tolerance. *Polygonum aubertii* had limited shaded-tolerance because of its low LCP and high LSP, broader light quantum could be used effectively. *Wisteria sinensis*, *Campsis radicans* and *Parthenocissus tricuspidata* had higher LCP and LSP, they were sun climbing shrub. A significantly positive correlation was found between LCP and P_n, LCP and RuBisco relativity. A negative correlation was found between LCP and . The ability of shade-tolerance of the 7 climbing shrub species followed the order of *Euonymus fortunei* > *Lonicera japonica* = *Parthenocissus quinquefolia* > *Polygonum aubertii* > *Wisteria sinensis* > *Parthenocissus tricuspidata* > *Campsis radicans*.

Key words: *Euonymus fortunei*; *Wisteria sinensis*; Climbing shrub; light utilization characteristics; shade-tolerance