

6 种常春藤品种的光合生理特性比较

张 婷^{1,2}

(1. 上海植物园, 上海 200231; 2. 上海城市植物资源开发应用工程技术研究中心, 上海 200231)

摘 要:比较不同常春藤品种的光合特性,以便对常春藤的引种、栽培和应用提供参考。以 6 种常春藤品种为对象,对其叶片的叶绿素含量、光合反应指标和叶绿素荧光参数等进行测量及分析。结果表明,常春藤幼苗极为耐阴,供试常春藤品种中绿叶品种的光适应范围、最大净光合速率和 PS II 反应中心的电子传递效率整体明显高于供试的花叶品种。其中绿叶品种 Shamrock 光化学转化效率和光合作用能力相对其他品种高,具有一定耐强光的生理基础。而花叶品种中的 Mini Kolibri 具有相对较高的光适应范围和高光效潜能。

关键词:英国常春藤;叶绿素含量;叶绿素荧光;光合作用

中图分类号:S688.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2019)06-0062-06

Comparison of Leaf Photosynthetic and Physiological Characteristics
of 6 *Hedera helix* Cultivars

ZHANG Ting^{1,2}

(1. Shanghai Botanical Garden, Shanghai 200231, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Sustainable Plant Innovation, Shanghai 200231, China)

Abstract: In order to compare photosynthetic characteristics of ivy to provide references for the introduction and application of the plant. Six ivy cultivars were used as materials to measure their chlorophyll contents, photosynthetic indices, and chlorophyll fluorescence characteristics of the leaves. The results indicated that juvenile ivy seedlings were extremely shade-tolerant. Cultivars with pure green leaves had better adaptation to irradiance, higher photosynthetic rates and electron transfer efficiency of PS II, in which cultivar Shamrock had higher photochemical transformation efficiency, photosynthesis and light compensation point than other cultivars. Cultivar Mini Kolibri exhibited better adaptation to irradiance and higher light efficiency potential among all the cultivars with mosaic leaves.

Key words: English ivy; chlorophyll contents; chlorophyll fluorescence; photosynthesis

常春藤是五加科常春藤属(*Hedera*)常绿藤本植物。其气生根较为发达,枝条蔓延性好,广泛应用于城市立体景观及室内绿化,发挥降温增湿等生态效益^[1]。常春藤较易突变,叶色、叶形差异较大,目前全球常春藤属共 14 个,品种约 500 个,其中英国常春藤(*Hedera helix*)为主要类群,多达 400 多品种^[2]。尽管常春藤品种丰富但城市绿化中所用的品种不超过 10 个^[3],大量的不同叶色叶形的常春藤尚未得到开发应用。常春藤是阴生植物,阳光直射下

生长受限,叶片易出现枯焦,由于城市立体绿化中光照环境不同,因此研究比较不同品种常春藤的光合特性,可为筛选适用于不同光照环境下优良立体绿化材料提供理论参考,为常春藤栽培及配置应用提供依据。

目前已有部分学者对常春藤的光合特性开展研究。岳桦等^[4]发现常春藤在 18~28℃及湿度 31%~70%室内条件下,光照 3.1~834.3 μmol·m⁻²·s⁻¹可以生长。尤扬等^[5]发现常春藤秋季净光合速

率日变化呈双峰曲线但午休现象不明显。夏江宝等^[6]研究发现干旱胁迫会使得常春藤净光合速率的日均值及最大值下降显著,净光合速率日动态由“单峰”向“双峰”型变化。张觉等^[7]通过光响应曲线及其特征参数等研究发现常春藤在传统栽培基质中的总体干旱适应性最强。以上相关研究对象为少数若干常见常春藤品种,鲜有关于多个常春藤品种关于光适应性、光合特性等方面的对比研究。

本研究以 6 个常春藤品种为对象,研究其叶片叶绿素含量、光合作用特征和叶绿素荧光特性,比较不同品种对光适应范围和对光能的利用能力,为筛选和栽培优良常春藤品种并推广应用提供依据。

1 试验地与试验材料

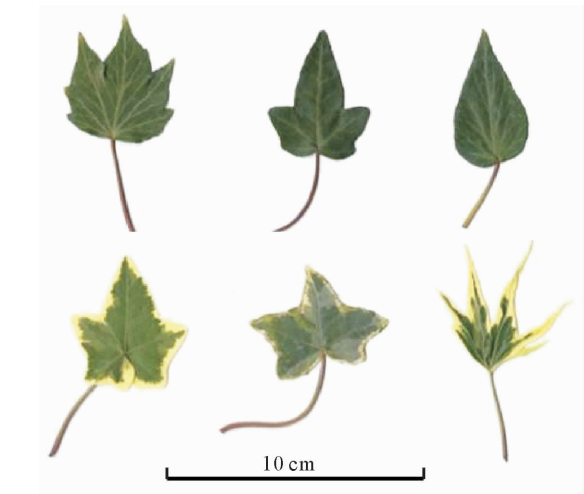
1.1 试验地概况

试验于 2018 年 7—9 月在上海植物园科研基地育苗圃中进行,育苗圃内进行遮阴处理(遮阴度约 60%),年平均气温 18.5℃,7—8 月平均气温为 28.7℃。

1.2 试验材料

选用 6 种不同品种常春藤(*Hedera helix*) 1.5 年生盆栽扦插苗(盆径 15 cm,栽培基质为珍珠岩:

泥炭:粗砂体积比为 2:2:1)作为试供材料,包括 Jessica、Teardrop、Shamrock、Goldchild、Yellow Ripple、Mini Kolibri,品种详细信息见表 1、图 1。每个品种测定 3 盆,每盆挑选健壮且长势一致的成熟叶片 2 片进行测定,每片叶子读取 3 次读数。



注:1. Jessica, 2. Shamrock, 3. Teardrop, 4. Goldchild, 5. Mini Kolibri, 6. Yellow Ripple。

图 1 6 个常春藤品种的叶片形态
Fig. 1 The leaves of 6 ivy cultivars

表 1 6 个常春藤品种信息
Table 1 The Phenotypes of 6 ivy cultivars

品种	叶色	品种特征
Jessica	绿叶	中型常春藤,叶片深绿色、似铲形,茎或叶柄呈绿紫色。冬季不变色
Shamrock	绿叶	小型常春藤,叶色深绿,3 个卵圆形裂叶(偶见 5 个),侧叶有时与顶叶重叠。冬季不变色
Teardrop	绿叶	中型常春藤,叶片深绿色,叶顶端细尖、形似泪滴,叶脉明显。冬季叶缘变红色
Goldchild	花叶	中大型常春藤也,叶中心深绿色或亮绿色,凉爽环境下叶缘金边、叶中央绿色洒灰,炎热环境下叶缘变成乳白色。冬季不变色
Mini Kolibri	花叶	小型常春藤,叶中心绿色、叶片上有状奶白色或浅绿色的泼溅斑纹。叶柄紫红色。冬季基本不变色
Yellow Ripple	花叶	中型常春藤,叶中心绿色、叶缘黄色,叶片光泽、叶脉清晰。叶柄绿色。冬季叶色变浅黄

2 研究方法

2.1 叶绿素含量的测定

从每盆常春藤中采集新鲜叶片,去叶脉后剪碎并称取 0.1 g 作为测量样品。采用乙醇丙酮混合液浸提法对各个品种的叶绿素含量进行测定^[8]。

2.2 光响应相关指标的测定

采用 Li-6400 便携式光合仪测定各常春藤品种的光合指标。光响应测定于天气晴朗的 9:00—11:30 进行测定,设定光量子通量密度(PPFD)的梯度为 0、20、50、80、100、150、200、400、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,设定叶室温度为 28℃,叶室二氧化碳浓度为 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,记录瞬时净光合速率(P_n)。日进程

测定选择晴朗无云的天气 7:00—17:00,利用自然光源和空气中的二氧化碳浓度,每 2 h 对每个品种叶片的 P_n 测定。

2.3 叶绿素荧光参数测定

采用 Li-6400 便携式光合仪叶绿素荧光叶室测定叶片的叶绿素荧光参数。测量于 9:00—11:00 进行。测量前先将样品暗适应 1 h 后测定 PSⅡ反应中心关闭状态下初始荧光(F_o)。然后用饱和脉冲 6 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 持续 0.8 s 测定 PSⅡ应中心的最大光化学量子产量(F_v/F_m)和最大荧光(F_m)。然后将供试材料放于 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的卤素灯下活化 30 min 后,等基本稳定后测定稳态下荧光产量 F_s 、光适应下最大荧光值 F_m' 、光适应下最小荧光值 F_o' 、有效光化学量子产量 F_v'/F_m' 。Li-6400 自

动完成光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(NPQ)和光量子产量(Φ iPSII)的计算。

2.4 数据统计分析

采用 Excel 2010 对数据进行整理处理并绘制图表。使用 SPSS17.0 采用非直角双曲线模型对样品的光响应曲线进行拟合,并在辐射 $0\sim150\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内直线回归,计算各常春藤品种的光饱和点(LSP),光补偿点(LCP),最大光合速率(A_{max}),表观量子效率(AQY)和暗呼吸速率(R_{day})等,然后对各参数结果进行方差分析和多重比较。

3 结果与分析

3.1 6 种常春藤光合生理特性总体比较

6 个常春藤品种的叶绿素 b 含量、叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量比值的种间差异不显著,而叶绿素 a 含量、总叶绿素含量种间差异极显著($P<0.01$)。品种间 LCP、LSP、 A_{max} 、AQY 均达到极显著差异($P<0.01$), R_{day} 达到显著差异($P<0.05$)。品种间 NPQ 无显著差异, F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 qP 、 Φ iPS2 呈现极显著差异($P<0.01$)(表 2)。

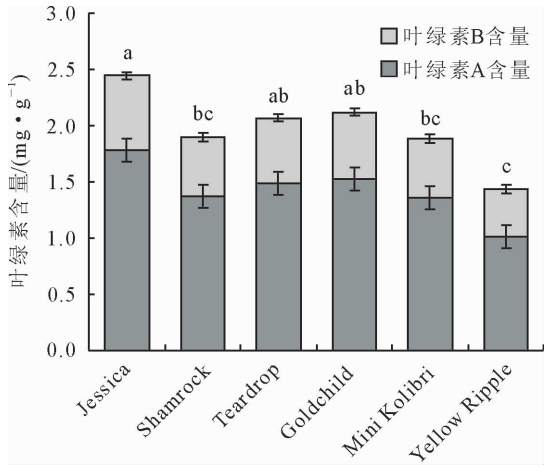
表 2 6 种常春藤叶片光合生理特征参数方差分析

Table 2 Variance analysis of leaf photosynthetic and physiological parameters of 6 ivy cultivars				
指标	平方和	均方	F 值	显著性水平
叶绿素 a 含量	0.969	0.194	6.749	0.003
叶绿素 b 含量	0.098	0.020	2.725	0.072
叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量	0.148	0.030	0.810	0.564
总叶绿素含量	1.683	0.337	5.417	0.008
LCP	215.452	43.090	12.341	0.001
LSP	215.452	43.090	12.341	0.000
A_{max}	18.316	3.663	5.579	0.006
AQY	0.000	0.000	5.945	0.001
R_{day}	0.114	0.023	5.391	0.016
F_o	10 334.306	2 066.861	8.347	0.001
F_m	205 253.750	41 050.750	5.915	0.006
F_v/F_m	0.007	0.001	6.769	0.003
qP	0.132	0.026	6.657	0.003
Φ iPSII	0.032	0.006	16.838	0.000
NPQ	3.114	0.623	2.474	0.092

3.2 6 种常春藤叶片的绿叶素含量比较

不同品种常春藤的叶片总叶绿素含量从高到低依次为 Jessica>Goldchild>Teardrop>Shamrock>Mini Kolibri>Yellow Ripple(图 2)。Jessica(绿叶品种)的叶片总叶绿素含量最高,其次是 Goldchild(花叶品种)和 Teardrop(绿叶品种)。Yellow Ripple(花叶品种)的叶片总叶绿素含量最低。供试的绿叶品种和花叶品种相比:尽管叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量均未达到显著性差异,但叶绿素 a 的含

量差异较叶绿素 b 含量差异大,叶绿素 a 也成为影响总叶绿素含量的重要因素。供试的绿叶品种叶片的总叶绿素含量平均值为 $2.14\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比供试花叶品种叶片的总叶绿素含量平均值高 18.2%。供试常春藤叶绿素 a 含量和叶绿素 b 含量的比值在 $2.40\sim2.69$,平均值为 2.58。



注:不同字母表示数据之间的差异显著性($P<0.05$)。

图 2 6 种常春藤品种叶片的叶绿素 a 和叶绿素 b 含量

Fig. 2 Contents of chlorophyll-a and -b in the leaves of 6 ivy cultivars

3.3 6 种常春藤光合作用日变化趋势

6 个常春藤品种光合日动态均呈现双峰型,在 11:00 进入休眠(图 3)。净光合速率的峰值主要集中在 9:00 左右,而下午不同品种下午峰值出现的时间有所不同,Shamrock 和 Teardrop 的峰值出现在 13:00 左右,较早于其他品种下午的峰值出现时间 15:00,且上午峰值显著高于下午峰值。各品种 P_n 的日变化幅度为 $2.23\sim4.24\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 不等。

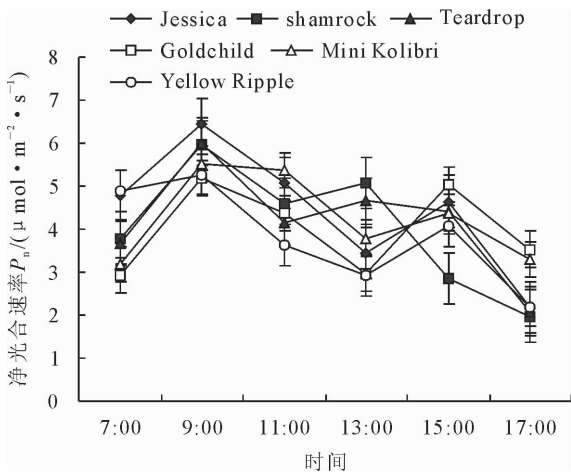


图 3 6 种常春藤品种的净光合速率日变化曲线

Fig. 3 Diurnal variation curve of net photosynthetic rate about 6 ivy cultivars

3.4 6 种常春藤光合反应相关指标比较

6 个常春藤品种的光响应曲线变化趋势整体较为一致,3 个绿叶品种的最大净光合速率平均值高于花叶品种,绿叶品种 Jessica 的最大净光合速率最高(图 4)。在较低的光照强度范围内(0~200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), P_n 随着光照强度的增加而显著增大;而当光照强度达到一定的范围后(200~400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), P_n 随着光照强度增大而缓慢增大,直至接近饱和或达到饱和;当光照强度超过一定的范围(400~2000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), P_n 值几乎不变,维持在饱和状态。当各个常春藤品种叶片的光合作用均达到饱和水平时,6 种常春藤叶片的 P_n 值从高到低依次为:Jessica>Teardrop>Shamrock>Goldchild>Yellow Ripple>Mini Kolibri。

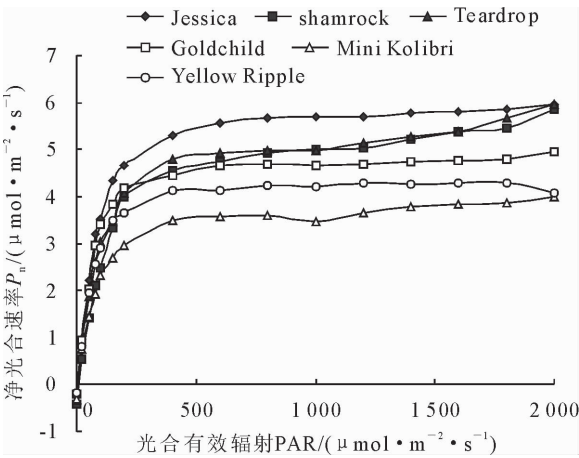


图 4 6 种常春藤品种的光响应曲线

Fig. 4 Light responses curve of 6 ivy cultivars

不同品种的光适应范围存在一定差异,主要是由于 LSP 的差异所致(表 3)。试验结果显示,供试品种的 LCP 主要集中在 6~16 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最低为 Jessica,最高为 Goldchild。不同品种间 LSP 主要集中在 170~263 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 且种间差异显著。Shamrock 的 LSP 显著高于其他品种,其次是 Teardrop,最低为 Goldchild。由此可得,6 个常春藤品种都属于极耐阴植物,其中光适应范围相较最广是 Shamrock。

同时,数据显示不同品种的 A_{max} 呈显著差异,从高到低排序为 Jessica>Teardrop>Shamrock>Goldchild>Yellow Ripple>Mini Kolibri,排序最高的 Jessica 比最低的 Mini Kolibri 高 59.7%。就 AQY 指标而言,全部品种集中在 0.24~0.37 $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,除 Shamrock 和 Mini Kolibri 较低,其他品种的 AQY 均在 0.3 $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 以上。同时,不同品种的 R_{day} 差异显著,最高为 Shamrock,最低为 Jessica。比较绿叶常春藤品种和花叶常春藤品种的光合生理指标,结果显示 2 类常春藤的 LCP、AQY、 R_{day} 并无显著差异,而 LSP 和 A_{max} 存在极显著差异。

3.5 6 种常春藤叶绿素荧光参数比较

叶绿素荧光指标在一定程度上能够反映植物叶片光合系统的调节及适应过程。比较不同品种间各叶绿素荧光指标(表 4),种间 F_o 的差异显著,分布在 156~225。绿叶品种 Jessica 和花叶品种 Goldchild 的 F_o 最高,而花叶品种 Yellow Ripple 的 F_o 最低。 F_m 反映 PS II 的电子传递情况,3 个绿叶品种的 F_m 值均高于 3 个花叶品种,其中花叶品种

表 3 6 个常春藤品种的光合生理指标

Table 3 Photosynthetic physiological parameters of 6 ivy cultivars

品种	LCP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LSP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	A_{max} /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	AQY /($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	R_{day} /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)
Jessica	6.564±1.25c	192.478±23.89bc	6.808±1.09a	0.037±0.001a	0.239±0.040d
Shamrock	16.155±1.50a	263.518±15.09a	6.004±0.97abc	0.024±0.005cd	0.391±0.059a
Teardrop	11.013±1.56b	206.550±1.67b	6.287±0.28ab	0.032±0.002ab	0.356±0.071abc
Goldchild	11.585±0.85b	170.992±1.78c	5.129±0.26bcd	0.032±0.001ab	0.372±0.029ab
Mini Kolibri	12.324±3.06b	191.881±14.99bc	4.263±0.634d	0.024±0.001d	0.289±0.058bcd
Yellow Ripple	19.411±1.68bc	169.834±5.67c	4.775±0.536cd	0.030±0.004bc	0.277±0.025cd

表 4 不同常春藤品种的叶绿素荧光参数

Table 4 Chlorophyll fluorescence parameters of different cultivars

品种	F_o	F_m	F_v/F_m	PhiPSII	qP	NPQ
Jessica	225.22±8.35a	913.93±82.34a	0.752±0.022c	0.055±0.009d	0.220±0.034d	1.823±0.300a
Shamrock	189.95±17.50bc	967.33±81.83a	0.803±0.014a	0.169±0.042a	0.403±0.110ab	0.768±0.134b
Teardrop	209.92±7.51ab	980.08±7.73a	0.786±0.007ab	0.127±0.011b	0.357±0.057bc	1.148±0.205ab
Goldchild	211.48±7.72ab	890.72±36.01a	0.762±0.017bc	0.112±0.008bc	0.347±0.033bc	1.384±0.097ab
Mini Kolibri	172.13±15.52cd	846.29±61.10a	0.797±0.004a	0.170±0.014a	0.478±0.053a	1.515±0.193ab
Yellow Ripple	156.36±27.44d	659.88±151.90b	0.761±0.013bc	0.082±0.002cd	0.261±0.059cd	2.027±1.146a

Yellow Ripple 的 F_m 最低。6 种常春藤品种叶片的 F_v/F_m 值在 0.752~0.803,其中 Shamrock 和 Mini Kolibri 的 F_v/F_m 明显高于其他 4 个品种,说明这 2 个品种 PSⅡ能够较高效的捕获光能。不同品种的 PhiPSⅡ和 qP 的数值大小趋势较为一致,其中 Mini Kolibri 和 Shamrock 的 PhiPSⅡ和 qP 均较高,说明在饱和光强下这 2 种常春藤也有较高的光量子比例。各品种之间的 NPQ 并没有显著差异。比较绿叶常春藤品种和花叶常春藤品种的叶绿素荧光参数,2 种常春藤的 F_o 值差异显著($P<0.05$)、 F_m 值差异极显著($P<0.01$),而 2 种常春藤的 F_v/F_m 、PhiPSⅡ、 qP 、 NPQ 均无显著差异。

4 讨论

植物的光补偿点和光饱和点是评估其光适应性的重要指标。植物的光饱和点越高且光补偿点越低,则表示其对光的适应范围较大,光适应性较强。供试的 6 个常春藤品种的光补偿点均值为 $11.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光饱和点均值为 $199.21 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,本研究结果所测得的光补偿点与夏宝江、黄成林、邓沛怡、王海艳等^[6,9-11]的研究结果($6\sim38 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 不等)较为接近,所测得的光饱和点则明显低于以上上述研究结果($600\sim1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 不等),而与 D. M. Yeh^[12]的研究结果相近。这主要是由于本研究中所用常春藤为 1 年生幼苗,苗龄较小所致。Bauer 等^[13]研究发现,常春藤的幼苗叶片比成年叶片的光合速率较低,幼苗对强光的适应力较成苗弱。藤本植物由于不能直立生长,幼年时处于光照较弱的植被低层,因而藤本幼苗比其成苗具有更强的耐阴性^[14]。

植物叶片叶绿素含量和植物生理状态及其光合能力密切相关^[15]。本研究发现供试的常春藤品种中,Jessica、Goldchild 和 Shamrock 的总叶绿素含量最高,其 A_{max} 、 F_o 、 F_m 值较高于其他品种。供试的 3 个绿叶品种常春藤和 3 个花叶品种常春藤相比,前者总叶绿素含量较后者的高,两者的 LCP 并无显著差异,而前者的 LSP 和 A_{max} 显著高于后者,说明前者的光适应性较强、光合作用能力较强,从而更能高效的进行光合作用,利于有机物的积累和植物生长。本结果在一定程度上初步证实了 D. M. Yeh 的推测,绿叶品种和花叶品种在植物生长和光适应性方面存在不同^[12]。6 个常春藤品种间叶片叶绿素 a 的含量差异较叶绿素 b 含量差异更为显著,因此叶绿素 a 含量高低成为影响总叶绿素含量的重要因素。Brugnoli 和 Rose 等^[16]研究发现,英国常春藤品种中黄色或白色叶片部分的光合速率为负值,需

要由绿色叶片给予光合作用支持。

叶绿素荧光参数指标能够反映植物在光合作用过程中对光吸收、耗散和分配等方面的内在联系和变化。 F_o 是暗反应下的初始荧光,反映的是植物叶片的光合中心光系统Ⅱ在完全开放状态下的荧光产量,与植物叶片的叶绿素浓度有关^[17]。本研究将总叶绿素含量比叶绿素荧光指标进行相关性分析,结果发现 F_o 和 F_m 与植物叶片的总叶绿素含量存在显著正相关,即总叶绿素含量越高, F_o 和 F_m 的值也越高。 F_v/F_m 是在暗适应情况下测得,是光合中心光系统Ⅱ(PSⅡ)的最大光化学量子产量,反映的是 PSⅡ的光能转化效率^[18],Shamrock 和 Mini Kolibri 的该值较高,即表明这 2 个品种分别为供试绿叶品种和花叶品种中在 PSⅡ的潜在活性最大。在低于植物光饱和点的光照强度下,植物叶片所吸收的光量子主要用于光合反应,而在高光强下,植物叶片吸收的光量子有较高比例通过热耗散形式而散失,因而 PhiPSⅡ实际反映的是在光照条件中植物的 PSⅡ反应中心部分关闭后的实际光化学效率。 qP 是光化学淬灭值,反映的是 PSⅡ吸收的光能中用于光化学电子传递的比例,在 PSⅡ反应中心开放的状态下 qP 值较高,电子传递活性越大。PhiPSⅡ与 qP 存在极显著正相关。而 NPQ 是非光化学淬灭值,是 PSⅡ吸收的光能但不用于光合电子传递、而是通过热耗散的形式耗散的光能,是植物为免遭强光破坏的一种自身保护机制^[19]。PhiPSⅡ和 qP 越大,而 NPQ 越小,则说明叶片对光能利用力较高,光合作用的效率也较高。6 个常春藤品种中 Shamrock 的 PhiPSⅡ和 qP 的值较高,而 NPQ 最低,即推断 Shamrock 的光合效率较高,在较高光强下通过依靠加大光合电子传递速率来促进化合作用。尽管 Jessica 和 Shamrock 的 A_{max} 最相近,但前者 PhiPSⅡ和 qP 的值明显比后者低,且 NPQ 为 6 个品种中最高,说明 Jessica 在较高光强下是通过热耗散的形式来抵御强光较高。尽管同是绿叶常春藤,不同品种间在强光环境下抵御光抑制的机制不尽相同。

6 个不同品种的常春藤在叶绿素含量、光合作用参数、叶绿素荧光参数等指标的高低程度不完全一致。这主要是由于光合作用中各光电子传递、光能转发等过程较为复杂,且常春藤品种差异较大。基因型造成不同品种在光合作用过程中差异较大,这种差异在花叶品种中更为明显存在^[20-21]。

5 结论

常春藤幼苗极其耐阴,供试的 6 种常春藤幼苗光适应范围为 $6\sim263 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3 个绿叶

品种和 3 个花叶品种相比较,前者较后者有更广的光适应范围,较高的光合效率,在最大净光合速率和 PSⅡ 反应中心的电子传递效率方面前者整体高于后者。绿叶品种中 Shamrock 具有较高的光合潜力和较强抗光性。而花叶品种的情况较绿叶品种的复杂,Goldchild 在适宜光强下具有较高光合速率,但不耐强光,而 Mini Kolibri 尽管净光合速率较低但能够通过加大光呼吸和热耗散来耐晒一定强光。可进一步开展不同常春藤品种在强光或高温胁迫下的研究,为常春藤的选育、拓展其应用范围提供参考。

参考文献:

[1] 吴玲,杨金雨露,谢园园,赖齐贤. 上海垂直绿墙植物材料的调查[J]. 西北林学院学报,2014,29(2):252-256.
WU L,YANG J Y L,XIE Y Y,*et al.* Survey on the plant species of living wall in Shanghai[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(2):252-256. (in Chinese)

[2] HUGH M,ROSALYN M. *Hedera*: the Complete[M]. Peterborough:The Royal Horticulture Society Media,2017:398.

[3] 秦吉中,童开林. 6 种藤本植物的生态效应比较[J]. 西北林学院学报,2013,28(5):63-65.
QIN J Z,TONG K L,Contrast of ecological benefit on six vines [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(5):63-65. (in Chinese)

[4] 岳桦,谭帅,林蕊. 常春藤在室内生长适宜光照范围的研究[J]. 植物研究,2004,24(2):179-183.
YUE H,TAN S,LIN R. A study on the growth of *Hedera helix* in radiation (PAR) scope were conducted indoors[J]. Bulletin of Botanical Research,2004,24(2):179-183. (in Chinese)

[5] 尤扬,刘香坤,刘梅,等. 常春藤秋季光合日变化特性研究[J]. 湖北农业科学,2012,51(11):2245-2247.
YOU Y,LIU X K,LIU M,*et al.* Photosynthetic characteristics of *Hedera nepalensis* var. *sinensis* Rehd. in autumn[J]. Hubei Agricultural Sciences,2012,51(11):2245-2247. (in Chinese)

[6] 夏江宝,张光灿,许景伟,等. 干旱胁迫下常春藤净光合速率日变化及其影响因子分析[J]. 水土保持通报,2010,30(3):78-82.
XIA J B,ZHANG G C,XU J W,*et al.* Diurnal variation of net photosynthetic rate and influencing environmental factors of *Hedera nepalensis* var. *sinensis* under drought stress[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2010,30(3):78-82. (in Chinese)

[7] 张觉,吴初平,沈柏春,等. 干旱胁迫对不同栽培基质下常春藤光合特性的影响[J]. 浙江林业科技,2018,38(1):69-76.
ZHANG J,WU C P,SHEN B C,*et al.* Effect of different cultivation medium on photosynthetic properties of *Hedera nepalensis* var. *sinensis* under drought stress[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology,2018,38(1):69-76. (in Chinese)

[8] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2003:268-270.

[9] 邓沛怡,周杰良,陶抵辉,等. 干旱胁迫对 6 种藤本植物光合作

用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2015,41(3):263-270.

DENG P Y,ZHOU J L,TAO D H,*et al.* Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of six kinds of lianas[J]. Journal of Hunan Agricultural University:Natural Sciences,2015,41(3):263-270. (in Chinese)

[10] 黄成林,傅松玲,梁淑云,等. 五种攀缘植物光合作用与光因子关系的初步研究[J]. 应用生态学报,2004,15(7):1131-1134.
HUANG C L,FU S L,LIANG S Y,*et al.* Relationships between light and physiological characters of five climbing plants[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2004,15(7):1131-1134. (in Chinese)

[11] 王海艳,喻理飞. 不同光环境下 3 种藤本植物幼苗的光合特性[J]. 浙江林学院学报,2010,27(6):858-864.
WANG H Y,YU L F. Photosynthetic characteristics of three species of liana seedlings in different light environments [J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2010,27(6):858-864. (in Chinese)

[12] YEH D M,HSU P Y. Differential growth and photosynthetic response of selected cultivars of English ivy to irradiance[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology,2004,79(4):633-637.

[13] BAUER H,BAUER U. Photosynthesis in leaves of the juvenile and adult phase of ivy (*Hedera helix*) [J]. Physiologia Plantarum,1980,49:366-372.

[14] 夏江宝,张淑勇,张光灿. 几种北方藤本植物光合作用效率及水分生态特征[M]. 北京:中国林业出版社,2015.

[15] ASHRAF M,HARRIS PJC. Photosynthesis under stressful environments:an overview[J]. Photosynthetica,2013,51(2):163-190.

[16] LI J H,GALE J,VOLOKITA M,*et al.* Effect of leaf variegation on acclimation of photosynthesis and growth response to elevated ambient CO₂[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology,2000,75:679-83.

[17] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报,1999,16(4):444-448.
ZHANG S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. Chinese Bulletin of Botany,1999,16(4):444-448. (in Chinese)

[18] DEMMIG-ADAMS B,ADAMS III WW,BARKER D H,*et al.* Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation[J]. Physiologia Plantarum,1996,98:253-264.

[19] BRUGNOLI E,SCARTAZZAS A,DE-TULLIO M C,*et al.* Zeaxanthin and non-photochemical quenching in sun and shade leaves of C3 and C4 plants[J]. Physiologia Plantarum,1998,104:727-734.

[20] ROSE P Q. The gardener's guide to growing ivies[M]. Portland:Timber Press,1996.

[21] STAMPS R H. Effects of shade level and fertilizer rate on yield and vase life of aspidistra elation ‘variegata’ leaves[J]. Journal of Environmental Horticulture,1995,13:137-139.