

邢 强,胡永红,秦 俊. 冬季不同光照度对室内绿墙植物光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):147-152.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.033

冬季不同光照度对室内绿墙植物光合特性的影响

邢 强,胡永红,秦 俊

(上海辰山植物园,上海 201602)

摘要:为探讨室内长期弱光环境对绿墙植物生长的影响,针对 4 种常见室内已经生长 2 年的绿墙植物—一叶兰 (*Aspidistra elatior*)、袖珍椰子 (*Chamaedorea elegans*)、吉祥草 (*Reineckia carnea*)、阔叶麦冬 (*Liriope platyphylla*) 开展光合生理试验,探讨其对不同光照度的适应特性。结果表明,4 种植物在室内 250 ~ 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度范围内,随光照度的减弱,基本都表现为表观量子效率 (AQY) 增大,光补偿点 (LCP) 和暗呼吸速率 (R_d) 减小,从而保证植物的正常生长;但极度弱光 0 ~ 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,严重制约植物的光合作用,抑制其生长。其中,一叶兰和袖珍椰子对光照度变化理论适应性较强,表现为其表观量子效率、光补偿点和饱和点、最大净光合速率和暗呼吸速率受光照影响波动较小,且均处于较高水平;而实际情况下一叶兰和阔叶麦冬的存活率高于其他 2 种植物,整体适应性较强,袖珍椰子的适应性最弱,主要体现为存活率、光合能力、日固碳量低,推测除光照影响外,冬季夜间低温也是影响因素之一。因此,建议筛选室内绿墙植物时应充分考虑植物对整体小气候环境的适应性,尽量开发兼备功能和适应性强的乡土植物,避免资源浪费。

关键词:垂直绿墙;光响应曲线;光合日进程;日固碳量;光合特性;光照度

中图分类号: Q948.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)10-0147-06

绿色建筑作为人们生活、办公的理想场所,是建筑和绿化 2 个领域有效结合的产物^[1]。其中,立体绿墙作为绿色建筑的主要组成部分,其占地面积小、形式灵活多样,是改善城市生态环境质量的重要措施之一,也是用地紧张的中心城区绿化主要的拓展点和后续力^[2],是可持续发展理念在城市建设中的具体应用和实践。上海作为国际性大都市,土地资源日趋紧张,立体绿化可有效补充地面绿化的不足^[3]。上海市“十三五”规划已提出建设 200 万 m^2 立体绿化的目标。但目前,在立体绿墙的设计和建造时,普遍存在可用植物种类少、后期植物更换成本高等不可持续问题^[4-8]。其中,光照是植物正常生长不可缺少的因素,不同植物对光照度的要求不一,

太弱或太强都不利于植物的生长。目前针对光照对植物影响的研究主要集中在室外自然光照条件对植物的影响,有少部分研究针对遮阴环境下的植物。已知的研究表明,适度弱光环境能够促进耐阴植物资源的光合作用,进而促进耐阴植物生长发育,如短期遮阴处理 (14 ~ 60 d) 能够有效地促进麻栎 (*Quercus acutissima*)、木荷 (*Schima superba*)、绣球 (*Hydrangea macrophylla*) 和烟草 (*Nicotiana tabacum*) 等植物的光合作用^[9-12];部分植物能很好地适应光照条件变化,但在特定时期也呈现出弱光条件下生长发育较好、存活率较高的情况,如林窗和林下的长蕊木兰 (*Alcimandra cathcartii*) 幼苗存活率和生长发育状况显著好于林缘和林外个体^[13]。因此,本研究针对室内绿墙这种极度弱光的特殊生境下植物出现极高死亡率的情况,以上海市室内绿墙应用频率最高的一叶兰 (*Aspidistra elatior*)、袖珍椰子 (*Chamaedorea elegans*)、吉祥草 (*Reineckia carnea*)、阔叶麦冬 (*Liriope platyphylla*) 为研究对象,在 2016 年植物出现大量死亡的时间段,从 4 种植物的光合特征入手,分析光照度对植物表观量子效率、光补偿点和饱和点、最大净光合速率和暗呼吸速率的影响,结合植物实际固碳效率和死亡率进行系统分析,深入探究光照度对植物生长发育的影响,以期垂直绿墙植物的筛选及推广应用提供参考方法和理论依据。

收稿日期:2017-12-26

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划(编号:16DZ1204900、16DZ1204901、17DZ2252000);上海市崇明区科学技术委员会科研计划(编号:CK2017-08)。

作者简介:邢 强(1984—),男,山西晋中人,硕士,高级工程师,主要从事城市园艺和生态研究。Tel:(021) 37792288;E-mail:xingqiang0731@126.com。

通信作者:秦 俊,博士,教授级高级工程师,主要从事环境园艺技术研究。E-mail:qinjun@csnbgsh.cn。

[10] 黄渊泽,王光灿,蔡大昌. 云南茶叶中的微量元素分析[J]. 微量元素与健康研究,1997,14(2):38-40.

[11] Matsuura H, Hokura A, Katsuki F, et al. Multielement determination and speciation of major - to - trace elements in black tea leaves by ICP - AES and ICP - MS with the aid of size exclusion chromatography[J]. Analytical Sciences, 2001, 17(3):391-398.

[12] Mierzwa J, Sun Y C, Chung Y T, et al. Comparative determination of Ba, Cu, Fe, Pb and Zn in tea leaves by slurry sampling electrothermal

atomic absorption and liquid sampling inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. Talanta, 1998, 47(5):1263-1270.

[13] 刘小文,高晓余,何月秋,等. 几种微量元素对茶树生理及茶叶品质的影响[J]. 广东农业科学,2010,37(6):162-165.

[14] 秦玉燕,时鹏涛,于艳萍,等. 四种金花茶组植物叶片金属元素含量及富集特性研究[J]. 广西植物,2016,36(12):1416-1421,1444.

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验地位于上海国际贸易中心,属于半室内的特殊空间,植物幕墙的墙面高度为34 m、宽度为15 m,绿墙510 m²。从高层到底层分4个处理,按照光强变化可将绿墙从上至下分为4个不同光照处理组:处理1为光合有效辐射600~1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,处理2为光合有效辐射100~600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,处理3为光合有效辐射50~250 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,处理4为光合有效辐射0~100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。绿墙植物所处室内的白天平均温度为19.3 $^{\circ}\text{C}$,夜间平均温度为6.0 $^{\circ}\text{C}$,不同楼层间均无差异;土壤为同一批配制的轻型介质,理化性质相同;水分由同一浇灌系统统一供给。

1.2 试验材料

该绿墙建于2015年3月,日常维护观察发现,绿墙植物存活率逐年下降,不同光照条件下死亡率存在差异,但均呈现出冬季死亡率最高的特点。为探究绿墙植物对不同光照环境的适应特征及冬季大量死亡的原因,以一叶兰、袖珍椰子、吉祥草、阔叶麦冬的3年生实生苗为研究对象,于2017年1月开展试验。4种植物为多年生常绿草本观叶植物,适生温度为20~30 $^{\circ}\text{C}$,其中,一叶兰、吉祥草和阔叶麦冬为上海市常见室内外绿化植物,而袖珍椰子在上海市多见于温室环境。本研究中4种植物均为同批次同龄植物,上盆时采用同一介质,上盆后采取统一滴灌的形式进行灌溉,4种植物在4个不同光照环境中均有分布。

1.3 试验方法

1.3.1 环境光照和温度的测量 有效光照采用LI-6400便携式光合系统(LI-6400XT,美国),温度采用手持气象站(Kestrel4000NV,美国)测定。

1.3.2 光响应曲线测定及拟合 光响应曲线的测量时间段为09:00—11:00。选择5株长势正常且一致的植株,每个植株选1张旗叶进行测量。光合有效辐射设定为0、20、50、80、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度设定为19 $^{\circ}\text{C}$,参比室的CO₂浓度稳定在400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。诱导光强为1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,诱导时间为30 min,每个光照度等待3 min。采用非直角双曲线拟合方程求出最大净光合速率(maximum net photosynthetic rate, P_{max})、光补偿点(light compensation rate, LCP)和光饱和点(light saturation rate, LSP)、暗呼吸速率(dark respiratory rate, R_d),将0~200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 范围内的测定值进行直线回归,斜率即为表观量子效率(apparent quantum yield, AQY)。

1.3.3 光合日进程测定 光合日进程于2017年1月天气晴朗时进行。测定时段为09:00—15:00,之所以选取该时段是因为本绿墙除处理1和处理2在中午有日光照射外其余楼层均靠上班日光灯照射补光,其余时间无有效光辐射。每种植物每个光处理下设置独立重复5组,每组测定3张叶片的瞬时净光合值。绿墙周围环境日间气温为19 $^{\circ}\text{C}$,夜间气温为6 $^{\circ}\text{C}$ 。测定项目主要包括光合有效辐射(PAR)、净光合速率(P_n)。日固CO₂量值(L_s) = 净光合速率(P_n) $\times 44 \times 3\ 600 \times 2/10\ 000$ 。

1.3.4 存活率统计 自2015年3月安装结束后,分别在

2015年3月16日、2015年8月16日、2016年1月16日、2016年8月16日、2017年1月16日共计5次统计绿墙植物的存活率情况。植物绿墙采用一体化模块式绿化方式。横向从左到右每3 m为一竖条,共分5档;纵向从上到下,每2 m为一横条,共分17档;在横、竖向钢结构形成子框。分别从上、中、下3层随机选取3个子框统计植物的存活率。

1.4 数据处理

利用Excel和SPSS 18.0进行数据处理和分析,差异性分析采用单因素方差分析。

2 结果和分析

2.1 不同处理条件下光照变化

因处于半室内环境,不同处理层的光合有效辐射差异较大,按照光照度变化可将绿墙从上至下分为4个不同光照梯度处理组。其光合有效辐射日变化曲线均为单峰曲线,上午11:00左右光合有效辐射最大(图1)。

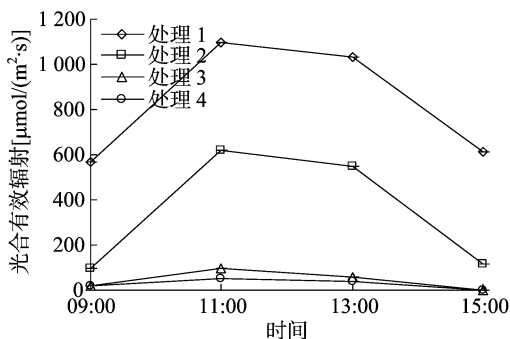


图1 不同光环境下的光合有效辐射日变化曲线

2.2 植物存活率的比较

由图2可见,自绿墙建成后,4种植物的存活率均随时间的推移明显下降。对同种植物而言,一叶兰、袖珍椰子和阔叶麦冬在处理1、处理2和处理3条件下的存活率自2015年8月起明显高于处理4,自2016年1月起吉祥草的存活率也呈现出相似趋势;同种植物在处理1、处理2和处理3中的存活率均无明显差异。对同一处理中不同植物存活率的研究发现,自2016年1月起随时间推移不同植物的存活率差异明显,相同时间点存活率由高到低依次为一叶兰、阔叶麦冬、吉祥草、袖珍椰子。

2.3 光响应曲线及光合特征参数的比较

由图3可见,在光合有效辐射从0上升到1 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 过程中,不同处理条件下4种植物的净光合速率均呈现先增大后稳定或稍有下降的趋势。袖珍椰子在处理1、处理2和处理3条件下的光响应曲线差异不大;而吉祥草和阔叶麦冬则在处理3条件下个体的光响应曲线稳定值较高。

由表1可知,环境光照度对表观量子效率影响显著,其中一叶兰、袖珍椰子和阔叶麦冬表观量子效率均呈现随光照度降低而整体下降,一叶兰与袖珍椰子光照度为处理3、处理4与处理1、处理2差异显著($P < 0.05$),而阔叶麦冬仅处理4显著低于其他处理组($P < 0.05$);吉祥草的表观量子效率随外界环境光照度下降呈现先增大后降低的趋势,最大值在处理2。一叶兰与袖珍椰子的最大净光合速率和暗呼吸速率也呈现随外界光照度下降而降低的趋势,而吉祥草和阔叶麦冬

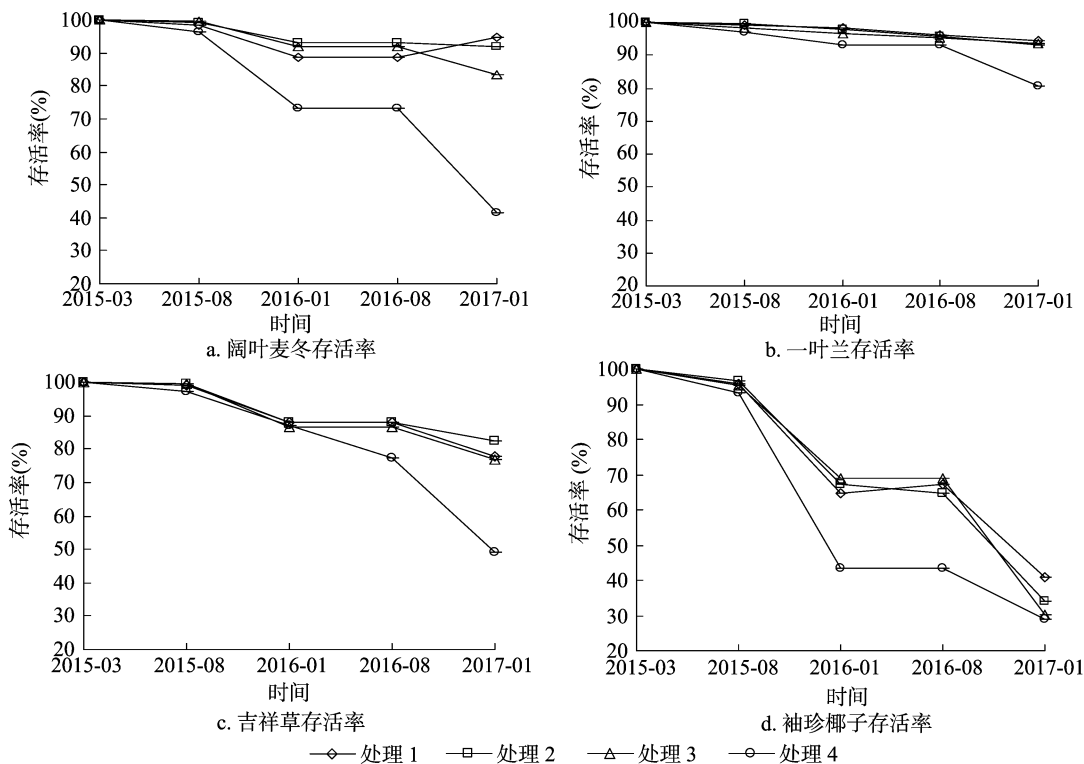


图2 不同光照度处理下4种植物的存活率

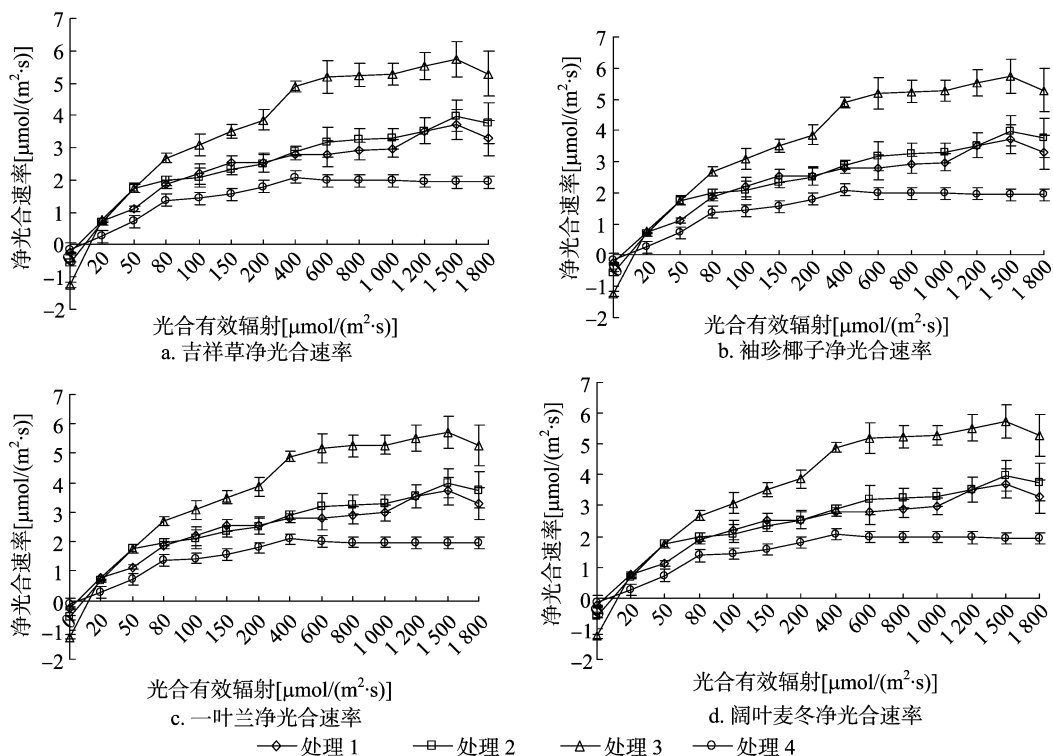


图3 不同光照度处理下4种植物的光响应曲线

则呈现先增大后降低的趋势,且最大值均出现在处理3。对光补偿点的研究表明,不同处理条件下4种植物的光补偿点均低于 $20.00 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,一叶兰和袖珍椰子的光补偿点在不同处理下均无显著性差异,而吉祥草和阔叶麦冬则呈现出随外界光照度降低其光补偿点整体显著上升的趋势。对光

饱和点的研究表明,不同处理条件下4种植物的光饱和点均随环境光照度的降低而整体显著升高。

由表1可见,相同处理条件下4种植物的光响应曲线特征值存在差异。对处理1和处理2中4种植物的研究表明,一叶兰和袖珍椰子的表观量子效率、最大净光合速率、暗呼吸

表 1 不同光照度处理下 4 种植物的光响应光合特征参数值

植物	处理	光补偿点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光饱和点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	表观量子效率	最大净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
一叶兰	1	11.106 ± 2.170a	72.027 ± 4.746b	0.115 ± 0.001a	7.626 ± 0.322a	1.377 ± 0.271a
	2	9.424 ± 0.380a	70.638 ± 0.972b	0.118 ± 0.002a	7.203 ± 0.163b	1.109 ± 0.059ab
	3	8.464 ± 1.994a	67.525 ± 4.604b	0.095 ± 0.003b	5.587 ± 0.165c	0.800 ± 0.179b
	4	17.778 ± 10.039a	141.415 ± 67.886a	0.027 ± 0.017c	2.658 ± 0.198d	0.380 ± 0.071c
袖珍椰子	1	9.581 ± 1.431a	55.963 ± 3.458bc	0.115 ± 0.000a	5.798 ± 0.253a	1.198 ± 0.179a
	2	9.608 ± 1.067a	50.736 ± 2.842c	0.115 ± 0.000a	5.141 ± 0.222b	1.201 ± 0.133a
	3	10.133 ± 0.799a	69.073 ± 11.169b	0.078 ± 0.013b	4.506 ± 0.092c	0.785 ± 0.103b
	4	17.958 ± 9.095a	179.703 ± 9.680a	0.010 ± 0.001c	1.671 ± 0.081d	0.189 ± 0.105c
吉祥草	1	8.12 ± 0.615c	49.970 ± 4.640b	0.096 ± 0.013b	3.983 ± 0.161b	0.774 ± 0.047b
	2	6.715 ± 0.209d	39.000 ± 0.168c	0.113 ± 0.002a	4.014 ± 0.013b	0.835 ± 0.033b
	3	16.624 ± 0.057a	90.988 ± 0.313a	0.083 ± 0.004b	6.197 ± 0.259a	1.385 ± 0.060a
	4	13.538 ± 0.942b	53.322 ± 1.196b	0.060 ± 0.003c	2.374 ± 0.128c	0.808 ± 0.072b
阔叶麦冬	1	3.308 ± 0.576b	54.483 ± 10.409c	0.090 ± 0.031a	4.425 ± 0.736b	0.287 ± 0.054c
	2	4.621 ± 1.866b	53.261 ± 10.334c	0.102 ± 0.028a	4.790 ± 0.596b	0.435 ± 0.050b
	3	8.781 ± 1.712a	73.704 ± 3.131b	0.118 ± 0.012a	7.652 ± 0.696a	1.023 ± 0.092a
	4	6.260 ± 0.721a	106.913 ± 2.385a	0.020 ± 0.001b	2.014 ± 0.131c	0.126 ± 0.021d

注:表中数据均为平均值 ± 标准差,同列数据后不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$)。

速率、光补偿点和光饱和点均明显高于吉祥草和阔叶麦冬;对处理 3 研究表明,此光照度下吉祥草和阔叶麦冬的特征值均大于一叶兰和袖珍椰子;而处理 4 中 4 种植物的特征值存在显著差异 ($F_1 = 269.565, P_1 < 0.001; F_2 = 45.804, P_2 < 0.001; F_3 = 84.794, P_3 < 0.001; F_4 = 129.56, P_4 < 0.001$),但未表现出任何规律性变化,且表观量子效率、最大净光合速率和暗呼吸速率均显著低于其他 3 个处理。

2.4 光合日进程及日固碳量对比

由图 4 可见,对光合日进程研究表明,处理 1、处理 2 和处理 3 中 4 种植物的光合日进程均呈现先增大后降低的趋势,同种植物在处理 1 和处理 2 中的相同时间点的净光合速率无明显差异,且均高于处理 3 中相同时间点的净光合速率;处理 4 中 4 种植物的净光合速率均为负值,最小值均出现在 13:00 左右。

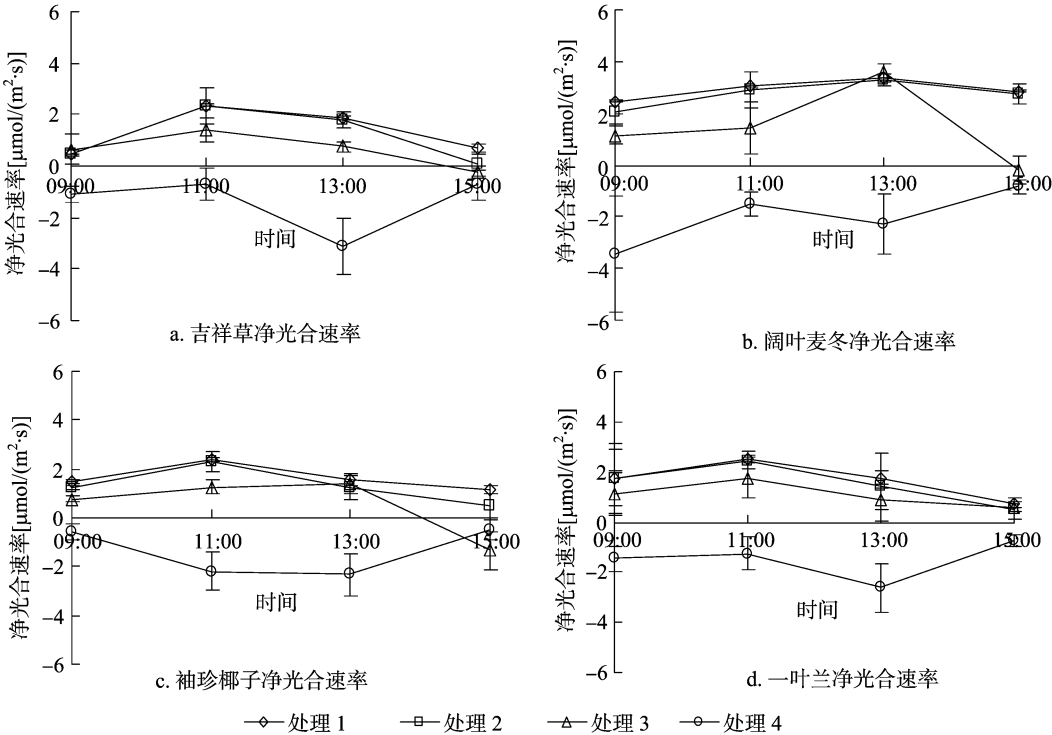


图 4 不同光照度处理下 4 种植物的光合日进程

由表 2 可见,同种植物日固碳量在不同处理中差异极显著 ($P < 0.01$),4 种植物在处理 4 条件下的日固碳量均极显著低于其他 3 个处理条件下的个体 ($P < 0.01$)。一叶兰和吉祥

草在处理 1、处理 2 和处理 3 条件下各自均未表现出极显著差异;袖珍椰子和阔叶麦冬在处理 1 和处理 2 条件下各自均未表现出极显著差异,但均极显著高于处理 3。对统一处理

表 2 不同光照处理下 4 种植物日固碳量对比

处理	日固碳量(g)			
	一叶兰	袖珍椰子	吉祥草	阔叶麦冬
1	21.37 ± 3.14Ba	20.82 ± 1.31Ba	16.99 ± 0.87Ca	33.99 ± 0.23Aa
2	19.28 ± 9.28Ba	16.62 ± 4.61Ba	14.83 ± 4.92Ba	34.52 ± 5.42Aa
3	13.95 ± 7.89Aba	6.59 ± 4.55Bb	8.02 ± 4.27Ba	19.04 ± 7.10Ab
4	-19.17 ± 7.15Ab	-17.77 ± 7.49Ac	-17.97 ± 8.21Ab	-25.72 ± 12.88Ac

注:表中数据均为平均值 ± 标准差,同行数据后不同大写字母表示同一处理不同品种之间差异显著($P < 0.05$),同列数据后不同小写字母表示同一品种不同处理之间差异极显著($P < 0.01$)。

条件下 4 种植物的日固碳量研究表明,处理 1 中阔叶麦冬日固碳量显著高于其他 3 种植物,一叶兰和袖珍椰子次之,吉祥草最低,差异达显著水平($P < 0.05$);处理 2 中阔叶麦冬的日固碳量也显著高于其他 3 种植物,但其他 3 种植物之间无显著差异;处理 3 中一叶兰、阔叶麦冬的日固碳量显著高于袖珍椰子和吉祥草($P < 0.05$);处理 4 中 4 种植物的日固碳量均无显著差异。

3 讨论

3.1 光照度对植物适应性的影响

植物的存活率是其适应生存环境的最终体现,存活率越高说明其适应性越强^[14]。本研究室内绿墙的同种植物在不同处理下存活率表明,4 种植物对光照变化有一定的适应性,适宜范围内光照变化(处理 1、处理 2 和处理 3 的光照条件)不会影响其存活率,而超出此范围的弱光(处理 4 的光照条件)会严重降低植物的成活率。相同处理下不同植物的存活率研究表明一叶兰和阔叶麦冬的适应能力较高,袖珍椰子的适应能力最差,已有研究表明袖珍椰子的最低适生温度为 10℃^[15-16],而本研究夜间最低温度为 6℃,推测袖珍椰子在每年 1 月份存活率骤降是由于低温导致的。

3.2 光照度对植物光响应曲线及其特征值的影响

光是植物生长发育的基本环境因素^[17],植物的干物质 90% 来自光合作用,光能利用率的大小是决定植物生产力高低的重要因素,目前研究普遍认为健康植物的表观量子效率下限为 0.04 ~ 0.07^[18]。按照此标准,本研究中处理 1、处理 2 和处理 3 中 4 种植物的生长势较为健康,而处理 4 中 4 种植物的生长势均较差。处理 1、处理 2 和处理 3 中一叶兰和袖珍椰子的表观量子效率呈现下降的趋势,吉祥草的表观量子效率却随光照度降低先增大后减小,阔叶麦冬的表观量子效率无明显差异。说明阔叶麦冬能适应不同光照度环境,而吉祥草对低强度光照的利用率较高,一叶兰和袖珍椰子对高强度的光照利用率较高。

最大净光合速率反映植物在一定条件下所能表现出的最大光合能力,处于适宜条件下的植物所表现的潜在最大光合能力较大^[19],本研究中一叶兰和袖珍椰子的最大净光合速率出现在处理 1,而吉祥草和阔叶麦冬的最大净光合速率出现在处理 3。暗呼吸在植物生理生态中占据重要位置,作为植物正常生长发育的物质和能量源泉,暗呼吸速率越大说明植物生长越旺盛^[20],本研究中一叶兰和袖珍椰子的暗呼吸速率随环境光照度降低而减弱,而吉祥草和阔叶麦冬的暗呼吸速率随光照度降低呈先增大后减小的趋势。以上对最大净光合速率和暗呼吸速率的研究均表明超出植物最适光照条件的

照度均会抑制其生长。

植物光合作用的补偿点和饱和点分别代表了其对弱光和强光的利用能力,代表了植物的需光特性和需光量^[21]。本研究中 4 种植物的光补偿点均低于典型阳性植物[20 ~ 40 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],说明 4 种植物皆为典型的阴生植物,对弱光环境具有较强的适应能力。在处理 1、处理 2 和处理 3 条件下,4 种植物的光饱和点在 39 ~ 90 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且在达到光饱和点后仍具有较高的净光合速率,说明其光适应范围较宽。植物光合作用的光补偿点和光饱和点是其适应外界环境条件表现出来的特征,光补偿点低且光饱和点高的植物适应性较强^[22-23]。本研究中 4 种植物的光合作用光饱和点最大值均出现在光照度较低的处理中,这是植物为适应环境条件做出的反应^[24]。植物光合生理参数的光响应表现出的可塑性决定其对光强的适应能力及对逆境的潜在适应能力^[25]。一叶兰和袖珍椰子的光补偿点不受光照度的影响,光饱和点随光照度降低分别增大约 75 和 129 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;吉祥草和阔叶麦冬的光补偿点随光照度降低而增大,光饱和点随光照度降低增大约 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表明一叶兰和袖珍椰子对光照度变化的适应性强于吉祥草和阔叶麦冬。

本研究中所得出的结论与一些研究光照度对植物光合特性影响的研究所得出的结论存在一定差异是由以下 3 个方面原因导致的:(1)不同研究设置光照度不同。魏明月等研究光照对烟草影响时设定了 400 ~ 1 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照度,表明光照度降低能促进烟草生长发育^[12];徐飞等设置了 56 ~ 544 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照度研究其对麻栎和刺槐光合特征的影响,表明遮阴促进了植物生长发育但极度弱光严重制约了植物的生长发育^[9];白宇清设置了 15 933 ~ 84 967 lx 的光照梯度表明半遮阴条件下植物生长发育最为旺盛^[26]。(2)处理时间存在差异。马加芳等对长蕊木兰的研究为生境条件下的研究,植物适应时间较久,而其他为 14 ~ 60 d 的遮阴处理下的研究,植物适应时间较短^[13]。(3)植物状态存在差异。短时间遮阴处理的植物均为一到二年生幼苗状态,生境地的研究多为多年生样本。

3.3 光照度对植物光合日进程及固碳效率的影响

光通过光质、光照度及光照时间影响植物的生长发育^[27],而光合日进程反映植物在特定环境中的真实光合能力,同时也是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段^[28]。光合作用日进程主要由 2 个方面因素决定:一是植物本身生长状况,二是外界条件。本研究处理 1、处理 2 和处理 3 中净光合速率的差异均出现在光照度较强的 11:00 和 13:00,4 种植物的净光合速率无显著差异且均远小于其最大净光合效率,虽然此时光照度均高于其光饱和点,但净光合速

率并未达到光响应曲线相同光照度的水平,这是由于缺乏诱导导致气孔导度较低而制约的^[29];处理 4 中 4 种植物的光合日进程与光照变化无关且均为负值,说明此时影响其光合日进程的主要因素是植物本身的生长状况。

植物的固碳效应是营建绿墙的初衷,也是其光合日进程和生长状况的具体体现^[30~31],4 种植物在处理 1、处理 2 和处理 3 中日固碳量虽存在差异但均为正值,说明生长势虽存在差异但整体均较为健康,而处理 4 中 4 种植物的日固碳量均为负值说明其生长势较差。

4 结论

光照度会影响绿墙植物的潜在光合能力,主要体现在对光响应曲线和其特征值的影响。植物能适应适度范围内的光照条件变化,但极度弱光会严重制约其生长发育。

绿墙植物的适应性是受其本身适应能力和环境条件决定的:一叶兰和袖珍椰子对光照度变化的光适应性显著高于吉祥草和阔叶麦冬;但袖珍椰子不能适应上海市的冬季低温,而导致其存活率低;一叶兰受冬季低温制约其适应性未能达到理论高度;阔叶麦冬能更好地适应低温环境从而导致其固碳效率和存活率较高。

过弱的光照度会严重制约植物的生长势,对于光照度极弱的室内环境应适当补充有效光源,保证植物的健康生长;在绿墙应用中因充分考虑其制约条件(如温度、湿度、光照等),加大适宜植物资源的筛选应用是营建可持续性低碳绿墙的根本之路。

参考文献:

- [1] 冯小平,邹 昀,龙惟定. 居住建筑耗能设备的相关调查和统计分析[J]. 节能技术,2006,24(1):28-32.
- [2] 中国科学院可持续发展战略研究组. 绿色发展与创新[M]. 北京:科学出版社,2010:1-5.
- [3] 叶子易,胡永红. 2010 年世博主题馆植物墙的设计和核心技术[J]. 中国园林,2012,28(2):76-79.
- [4] 符秀玉,陈 力,陈德进. 临沂市垂直绿化现状与发展对策[J]. 黑龙江农业科学,2010(8):159-162,172.
- [5] 尚全明. 深圳地区垂直绿化现状及植物墙技术发展探析[J]. 中国园艺文摘,2012,28(7):43-48.
- [6] 何健聪,张太平,李跃林,等. 我国城市垂直绿化现状与垂直绿化新技术[J]. 城市环境与城市生态,2003(6):289-291.
- [7] 蔡丽敏,孙大明,王有为. 浅议建筑垂直绿化[J]. 城市环境与城市生态,2009,22(2):16-18,23.
- [8] 王 雪,任吉君,梁朝信. 城市垂直绿化现状及发展对策[J]. 北方园艺,2006(6):104-105.
- [9] 徐 飞,郭卫华,徐伟红,等. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响[J]. 生态学报,2010,30(12):3098-3107.
- [10] 朱婷婷,王懿祥,朱旭丹,等. 遮光对木荷和枫香光合特性的影响[J]. 浙江农林大学学报,2017,34(1):28-35.
- [11] 蔡建国,韦孟琪,章 毅,等. 遮阴对绣球光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物生态学报,2017,41(5):570-576.
- [12] 魏明月,云 菲,刘国顺,等. 不同光环境下烟草光合特性及同化产物的积累与分配机制[J]. 应用生态学报,2017,28(1):159-168.
- [13] 马加芳,李贵祥,柴 勇,等. 不同生境的长蕊木兰幼苗春季的光合特性[J]. 东北林业大学学报,2017,45(4):43-48.
- [14] 任 帅. 常用绿化植物对屋顶绿化适应性的研究[D]. 晋中:山西农业大学,2013:9-11.
- [15] 孟继森. 盆栽袖珍椰子养护管理[J]. 天津农林科技,2013(6):14.
- [16] 于淑玲. 袖珍椰子的盆栽[J]. 花木盆景:花卉园艺,2010(4):16-17.
- [17] 许大全,高 伟,阮 军. 光质对植物生长发育的影响[J]. 植物生理学报,2015,51(8):1217-1234.
- [18] 封焕英,范少辉,苏文会,等. 不同经营方式下毛竹光合特性分异研究[J]. 生态学报,2017,37(7):2307-2314.
- [19] 张 斌,罗小浪. 不同温度对钩栗光响应曲线拟合的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(12):55-60.
- [20] Yamori W, Hikosaka K, Way D A. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation[J]. Photosynthesis Research,2014,119(1/2):101-117.
- [21] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:46-53.
- [22] 冷平生,苏淑钗,王天华,等. 光强与光质对银杏光合作用及黄酮苷与萜类内酯含量的影响[J]. 植物资源与环境学报,2002,11(1):1-4.
- [23] 张淑勇,周泽福,夏江宝,等. 不同土壤水分条件下小叶扶芳藤叶片光合作用对光的响应[J]. 西北植物学报,2007,27(12):2514-2521.
- [24] 黄志玲,姜 英,郝海坤,等. 不同光照度对红锥光响应曲线的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(8):30-33.
- [25] 吕 扬,刘廷玺,闫 雪,等. 科尔沁沙丘-草甸相间地区黄柳和小叶锦鸡儿光合速率对光照度和 CO₂ 浓度的响应[J]. 生态学杂志,2016,35(12):3157-3164.
- [26] 白宇清,谢利娟,王定跃. 不同遮阴、土壤排水处理对毛棉杜鹃幼苗生长及光合特性的影响[J]. 林业科学,2017,53(2):44-53.
- [27] 柯 学,李军营,李向阳,等. 不同光质对烟草叶片生长及光合作用的影响[J]. 植物生理学报,2011,47(5):512-520.
- [28] Xiao J L, Wang G J, Zhao M, et al. Effect of cultivation pattern on the light radiation of group canopy and yield of spring soybean (*Glycine Max* L. Merrill)[J]. American Journal Plant Science, 2013,4(6):1204-1211.
- [29] van de Weg M J, Meir P, Grace J, et al. Photosynthetic parameters, dark respiration and leaf traits in the canopy of a Peruvian tropical montane cloud forest[J]. Oecologia,2012,168(1):23-34.
- [30] Tuittila E S, Vasander H, Laine J. Sensitivity of C sequestration in reintroduced *Sphagnum* to water - level variation in a cutaway peatland[J]. Rest Ecol,2004,12(4):483-493.
- [31] 张 娇,施拥军,朱月清,等. 浙北地区常见绿化树种光合固碳特征[J]. 生态学报,2013,33(6):1740-1750.