

深圳城市公园不同栽植环境对毛棉杜鹃生长的影响

张银凤¹, 蔡洪月¹, 彭金根¹, 刘学军^{1*}, 谢利娟¹, 张华¹, 王艳梅²

(1. 深圳职业技术学院建筑工程学院, 广东 深圳 518000; 2. 河南农业大学林学院, 河南 郑州 450000)

摘要:【目的】研究毛棉杜鹃(*Rhododendron moulmainense*)在深圳城市公园不同环境下的生长适应性, 为其引入城市进行观赏种植提供参考。【方法】选择长势一致的10年生毛棉杜鹃, 在深圳市香蜜公园选择了临水、高地、平地3个栽植环境并各为半光照和全光照两个环境, 分为6个试验样地进行种植, 测定植株开花情况、生长量、叶绿素含量、光响应曲线的变化和光合特性日变化等。【结果】①不同栽植环境对毛棉杜鹃的形态和生长量均有不同程度的影响, 临水环境-半光照环境中毛棉杜鹃的花芽数量、新梢粗度、新梢体积、新梢数量显著高于($P < 0.05$)其他试验样地; ②平地-全光照环境中毛棉杜鹃叶片的叶绿素a(Chla)、叶绿素b(Chlb)、总叶绿素(Chlt)含量显著高于其他试验样地, 而平地-半光照环境中Chla、Chlb、Chlt含量均出现最低值。高地-半光照环境下类胡萝卜素(Car)、叶绿素a与叶绿素b质量比(Chla/Chlb)、总叶绿素与类胡萝卜素质量比(Chlt/Car)显著高于其他样地; ③临水-半光照和临水-全光照环境下毛棉杜鹃的最大净光合速率($P_{n,max}$)、光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)均高于其他试验样地, 高地-半光照环境中毛棉杜鹃的表现量子效率(AQY)最高, 平地-半光照的暗呼吸速率(Rd)最高。【结论】土壤含水量较高或排水不畅时会导致毛棉杜鹃叶绿素含量下降, 光照强度过高时会导致其株高、花芽数量、新梢数量等降低; 反之, 环境中光照强度减弱时, 对毛棉杜鹃新梢枝条的生长、花芽形成等具有促进作用, 表明在城市公园种植毛棉杜鹃时应选择有适当的遮阴和具有一定透水性能的土壤环境。

关键词: 毛棉杜鹃; 光照; 土壤含水量; 光合特性; 城市公园

中图分类号: S718.43

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2006(2023)02-0197-08



Effects of different planting environments on the growth of *Rhododendron moulmainense* in Shenzhen urban parks

ZHANG Yinfeng¹, CAI Hongyue¹, PENG Jinggen¹, LIU Xuejun^{1*},
XIE Lijuan¹, ZHANG Hua¹, WANG Yanmei²

(1. School of Construction Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518000, China;

2. College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: 【Objective】The growth adaptability of *Rhododendron moulmainense* in different environments in Shenzhen urban parks was studied to provide a reference for its introduction into urban areas as an ornamental tree species. 【Method】Ten-year-old *R. moulmainense* with the same growth statuses, and three planting environments, including waterfront, highland and flatland, were selected in Shenzhen Xiangmi Park. These trees were planted under two irradiance environments, such as half-light and full light, and divided into six experimental plots. The trees flowering rate, growth rate, chlorophyll content, changes of light response curves and diurnal changes of photosynthetic characteristics were determined. 【Result】(1) Different planting environments had different effects on the morphology and growth of *R. moulmainense*. The number of flower buds, thickness of new shoots, volume of new shoots and number of new shoots of *R. moulmainense* in the waterfront half-light plot were significantly higher than those in other test plots

收稿日期 Received: 2022-03-22

修回日期 Accepted: 2022-08-31

基金项目: 深圳市梧桐山风景区管理处委托项目(6019260135K)。

第一作者: 张银凤(zyf18235696108@163.com)。* 通信作者: 刘学军(liuxuejun@szpt.edu.cn), 副教授。

引文格式: 张银凤, 蔡洪月, 彭金根, 等. 深圳城市公园不同栽植环境对毛棉杜鹃生长的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(2): 197-204. ZHANG Y F, CAI H Y, PENG J G, et al. Effects of different planting environments on the growth of *Rhododendron moulmainense* in Shenzhen urban parks[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(2): 197-204. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202203044.

($P < 0.05$). (2) The content of the chlorophyll a (Chla), chlorophyll b (Chlb) and total chlorophyll (Chlt) in the leaves of *R. moulmianense* on the flatland-full light plot were significantly higher than those on other test plots, while the Chla, Chlb and Chlt in the flatland half-light plot showed the lowest values. The carotenoid content (Car), Chl a/Chl b (mass ratio, the same below), and Chlt/Car in the highland half-light plot were significantly higher than those on other plots. (3) The maximum net photosynthetic rate ($P_{n,max}$), light compensation point (LCP), and light saturation point (LSP) of leaves in the waterfront full-light plot were higher than those on other test plots, the apparent quantum efficiency (AQY) of highland half-light was the highest, and the dark respiration rate (Rd) of leaves in flatland half-light was the highest. 【Conclusion】The chlorophyll content of *R. moulmianense* will decrease when the soil water content is high or the drainage is not smooth. The plant height and the number of flower buds and new shoots decreased when the light intensity was too high. On the contrary, the growth of new shoots and the formation of flower buds of *R. moulmianense* were promoted when the light intensity in the environment was weakened, indicating that the soil environment with appropriate shading and water permeability should be considered when planting *R. moulmianense* in urban parks.

Keywords: *Rhododendron moulmianense*; light; soil water content; photosynthetic characteristics; urban park

光照是植物生长不可或缺的条件之一,在植物的生长发育、生理结构以及形态建成等方面起着重要作用。国内外研究者对不同光照环境下植物的生长、生理、产量等方面的响应做了大量的研究。李浩铭等^[1]在研究中指出,30%光照处理下伯乐(*Bretschneidera sinensis*)树与株高地径增长量最高;孙欣欣^[2]研究表明遮阴能够促进胡桃楸(*Juglans mandshurica*)苗高、地径生长量、干物质积累量等指标提高;王健健等^[3]在研究光照强度对钩藤(*Uncaria rhynchophylla*)生长及有效成分含量的影响时,发现适当的遮阴可以使钩藤幼苗株高、基径、植株(根、茎、叶、钩)生物量高于其他处理;孙玉明等^[4]研究表明弱光处理下甜菊(*Stevia rebaudiana*)单株地上部干质量、叶茎比、比叶质量、叶片叶绿素相对含量及单株叶片和茎中氮素积累量总体上显著降低。

同光照一样,土壤水分与植物光合作用、水分代谢和营养物质运转等过程密切相关,土壤水分亏缺能够对植物的光合作用造成严重的影响^[5],是影响植物生长发育和生理生态的又一重要因素。杨萍等^[6]在研究土壤含水量对羌活(*Notopterygium incisum*)植株生长的影响,发现土壤水分质量分数为70%~100%时有利于羌活植株生长,其有效成分积累会随着土壤含水量的减少而下降。刁海欣等^[7]在研究土壤含水量对白芨(*Bletilla striata*)叶片的影响时发现,叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均随着土壤含水量的减少而下降。阎尚博等^[8]研究土壤含水量对4种委陵菜属(*Potentilla*)植物的影响,发现随着土壤含水量减少株高显著下降。

除此之外,不同的土壤水分和光照条件对植物

的影响存在互作效应。生境中生态因子的交互作用,使植物在形态、功能性状、生物量分配格局及生理方面产生可塑性响应,以适应变化的环境^[9--11]。杨虎彪等^[12]在研究不同光照和水分对吊罗山藁草(*Carex diaoluoshanica*)生长的影响时,发现强光照和低水分对吊罗山藁草的影响较大,不利于其生长,适当的遮阴有助于减少水分亏缺对其造成的伤害。张茜^[13]在研究光照和水分对三叶草(*Trifolium repens*)生长发育的影响时,发现花的数量在不同光照和水分交互作用下差异极显著。

毛棉杜鹃(*Rhododendron moulmianense*)为杜鹃花科(Ericaceae)常绿灌木或小乔木,具有极高的观赏价值和园林应用价值^[14]。其自然分布区域为我国长江以南及印度东北部、印尼、马来西亚半岛、缅甸等地海拔400~1500m的丛林、灌丛及岩石旁^[15],目前尚未在城市园林绿地中推广应用。毛棉杜鹃自然分布于气候凉爽、湿度较大的山地、山谷、林缘或灌丛中,深圳市梧桐山的毛棉杜鹃大部分分布于植物群落林冠层的下层乔木中与山坡上,而在林下极少有毛棉杜鹃幼苗的分布,且在上层乔木郁闭度高的区域毛棉杜鹃不开花或开花量很少^[16],说明毛棉杜鹃适宜在适度遮阴和土壤排水良好的环境生长。为了将毛棉杜鹃引种到深圳市区,课题组前期进行了引种试验,通过对苗圃地光照和土壤含水量两个因子的控制试验,得出50%的遮阴和高垄处理适宜毛棉杜鹃生长^[17],为了进一步探究毛棉杜鹃在深圳城市自然栽培环境中的生长情况和适应性,本研究以栽植于深圳城市公园不同栽植环境下的毛棉杜鹃为材料,通过分析植株生长形态指标、光合生理指标与不同栽培环境的相互关系,得出毛棉杜鹃引种深圳城市公园的适宜生

长条件,为其在深圳城市园林中的推广应用奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究地位于深圳市福田区香蜜公园(114°02'85"E,30°57'22"N),属南亚热带海洋性气候。夏季高温多雨,其余季节天气较为干燥,气候温和。年平均气温22.4℃,最高气温38.7℃、最低气温0.2℃。雨量充足,每年4—9月为雨季,年降雨量1933.3mm。平均每年受热带气旋(台风)影响4~5次。土壤为红壤,pH为6.3^[18]。

1.2 试验材料与试验设置

本试验采用10年生的毛棉杜鹃实生苗,试验前该批种苗生长于深圳职业技术学院西丽湖校区毛棉杜鹃苗圃,株高1.40~1.67m。前期研究表明光照强度和土壤含水量对毛棉杜鹃的生长发育影响最大^[17],因此,本试验通过对深圳市福田区香蜜公园环境的实地观测,于2020年11月下旬进行种植,选取了临水(距离水岸线4m左右)、高地(园内土丘)、平地(园内平坦地面)3种栽植环境。

根据3个样地周围有无乔木遮挡,将其各分为半光照(周围有乔木遮挡)和全光照(无乔木遮挡)两类环境。设置6个试验样地,分别是临水-半光照样地(S1)周围遮阴植物为凤凰木(*Delonix regia*)和欧洲夹竹桃(*Nerium oleander*),高地-半光照样地(S2)周围遮阴植物为粉花风铃木(*Handroanthus impetiginosus*),平地-半光照样地(S3)周围遮阴植物为鸡冠刺桐(*Erythrina cristagalli*),临水-全光照样地(S4)、高地-全光照样地(S5),平地-全光照样地(S6)。

在12:00—13:00采用Li-250光照计(美国)测定不同栽植环境的光照强度,同时在每个植株的根系外围采集0~20cm深的土样,每个土样采集500g,测定其土壤含水量,分别测5次取平均值,得出临水土壤含水量最高,高地次之,平地最低,但高地和平地的土壤含水量之间无显著差异。样地光照强度和土壤含水量详见表1。

6个试验样地面积均为15m²,每个试验样地种植6株,每株的株占地面积为0.85m²,进行常规管理。

1.3 试验方法

1.3.1 形态指标测定

种苗移栽之后12d均成活,于每月4日分别采用游标卡尺(精确到0.01mm)、直尺(精确到0.1

cm)测量每个试验样地毛棉杜鹃的地径、株高、冠幅,植株地径测量部位在地表以上10cm处。

表1 试验样地的基本信息

Table 1 Basic information on experimental plot

样地 plot	光照强度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) light intensity	土壤含水量/% soil moisture content	土壤 pH
S1	856.15±41.16 e	19.59±0.00 a	5.9±0.13 cd
S2	746.83±42.28 d	16.38±0.02 ab	6.9±0.13 a
S3	703.67±47.59 e	14.41±0.02 bc	6.1±0.18 bc
S4	1228.72±7.23 ab	18.05±0.01 ab	5.6±0.19 d
S5	1257.17±11.96 a	15.14±0.02 bc	6.6±0.06 ab
S6	1211.25±4.03 b	11.89±0.00 c	6.7±0.17 a

新梢枝条停止生长后,于2021年8月测量6个样地每植株的新梢枝条长度(L)、粗度(D)和数量(N)。新梢体积 $V=\pi(D/2)2L$ 。新梢枝条长度用皮尺测定,mm,取长度之和;新梢粗度用游标卡尺测定,mm,取平均值。

2021年11月中旬观测记录每株毛棉杜鹃的花芽数量。

1.3.2 光响应曲线的测定

2021年6月选择晴朗天气,采用Li-6400便携式光合仪(美国)测定不同栽植环境下毛棉杜鹃的光响应曲线。每个样地测定3株,每个样株从下向上选取第2轮功能叶片进行测定。测定前采用500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 光强对叶片进行光诱导20min。设定CO₂浓度为400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ (采用CO₂小钢瓶控制),叶室温度为25℃,相对湿度为50%~65%,气体流速为500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光合有效辐射强度(PAR)设置梯度为2000、1500、1200、900、400、150、40、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。每个光强下稳定200s后记录数据,测定时间为9:00—16:00。光响应曲线测定方法参考文献[19]。

1.3.3 叶片光合色素的测定

光响应曲线测定完成后,立即将叶片取下,液氮冷冻,-80℃低温保存,用于叶绿素含量的测定。总叶绿素(Chl_t)、叶绿素a(Chl_a)、叶绿素b(Chl_b)、类胡萝卜素(Car)含量采用乙醇提取法测定^[20]。

根据Photosynthesis软件(美国LI-COR公司)拟合光响应曲线,计算出光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、最大净光合速率($P_{n,\text{max}}$)、暗呼吸速率(R_d)等。

1.3.4 数据处理

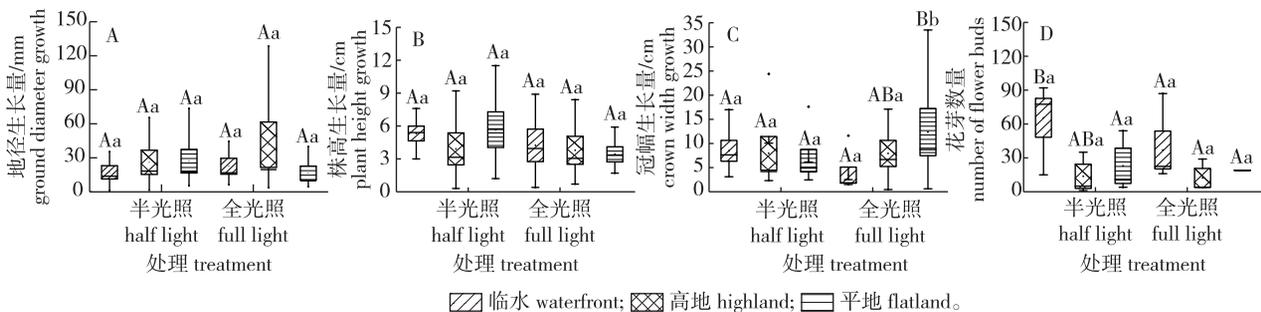
对不同栽植环境下毛棉杜鹃的生长形态指标和光合特性指标进行双因素方差分析,利用多重比

较对不同栽植环境下毛棉杜鹃的相关指标进行显著性分析,将显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。运用 SPSS 20.0 进行方差分析,用 Origin 作图。

2 结果与分析

2.1 毛棉杜鹃植株生长特性

由不同栽植环境下毛棉杜鹃形态指标差异



根据双因素方差分析结果,不同字母表示显著差异 ($P < 0.05$),大写字母表示不同土壤含水量的对比,小写字母表示不同光照的对比。下同。According to the results of the two-factor analysis of variances, there was a significant difference between the expressions with the different letter ($P < 0.05$), the uppercase letter represented the comparison of different soil water content, and the lowercase letter represented the comparison of different illumination. The same below.

图1 不同栽植环境下毛棉杜鹃形态指标

Fig.1 Morphological indexes of *Rhododendron moulmainsense* under different planting environments

由不同栽植环境下毛棉杜鹃枝条生长量情况(图2)可知,在不同光照环境下,临水-全光照新梢长度显著高于其他试验样地 ($P < 0.05$),这说明当土壤水分充足时可以通过水分的补充来解决过高的光照强度给植物带来的伤害。不同光照环境下,

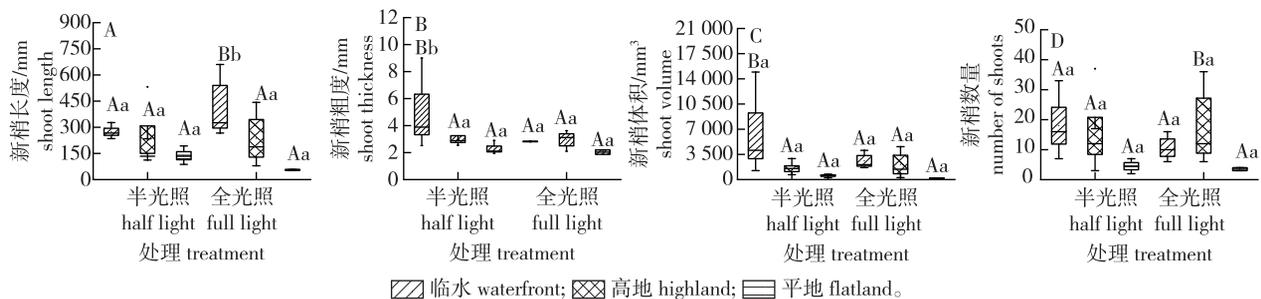


图2 不同栽植环境下毛棉杜鹃枝条新梢生长情况

Fig.2 The branch growth of *R. moulmainsense* under different planting environments

2.2 毛棉杜鹃叶片光合色素特征

叶片中的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。

由各处理光合色素含量情况(图3)可见,在不同栽植环境下,毛棉杜鹃叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素、总叶绿素/类胡萝卜素(质量比,下同)均有显著性差异 ($P < 0.05$),但不同

(图1)可知,临水-半光照的花芽数量最高,且显著高于其他试验样地 ($P < 0.05$),表明光照强度的减弱和适宜的土壤含水量有助于花芽的形成。在不同栽植环境下光照强度和土壤含水量对毛棉杜鹃的地径和株高的交互作用无明显差异,而平地-全光照的冠幅显著高于与其他栽植环境 ($P < 0.05$)。

临水-半光照的毛棉杜鹃新梢粗度和新梢体积显著高于其他试验样地 ($P < 0.05$)。不同光照环境下,毛棉杜鹃新梢数量差异不明显。不同土壤含水量环境下,平地-全光照新梢数量显著低于其他栽植环境。

栽植环境下毛棉杜鹃叶片的叶绿素 a/叶绿素 b 质量比无显著差异。在不同栽植环境下,临水-全光照的毛棉杜鹃叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素、总叶绿素/类胡萝卜素均显著低于其他栽植环境 ($P < 0.05$)。而平地-全光照处毛棉杜鹃叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素显著高于其他栽植环境 ($P < 0.05$),高地-半光照处的类胡萝卜素/总叶绿素显著高于其他试验样地 ($P < 0.05$)。

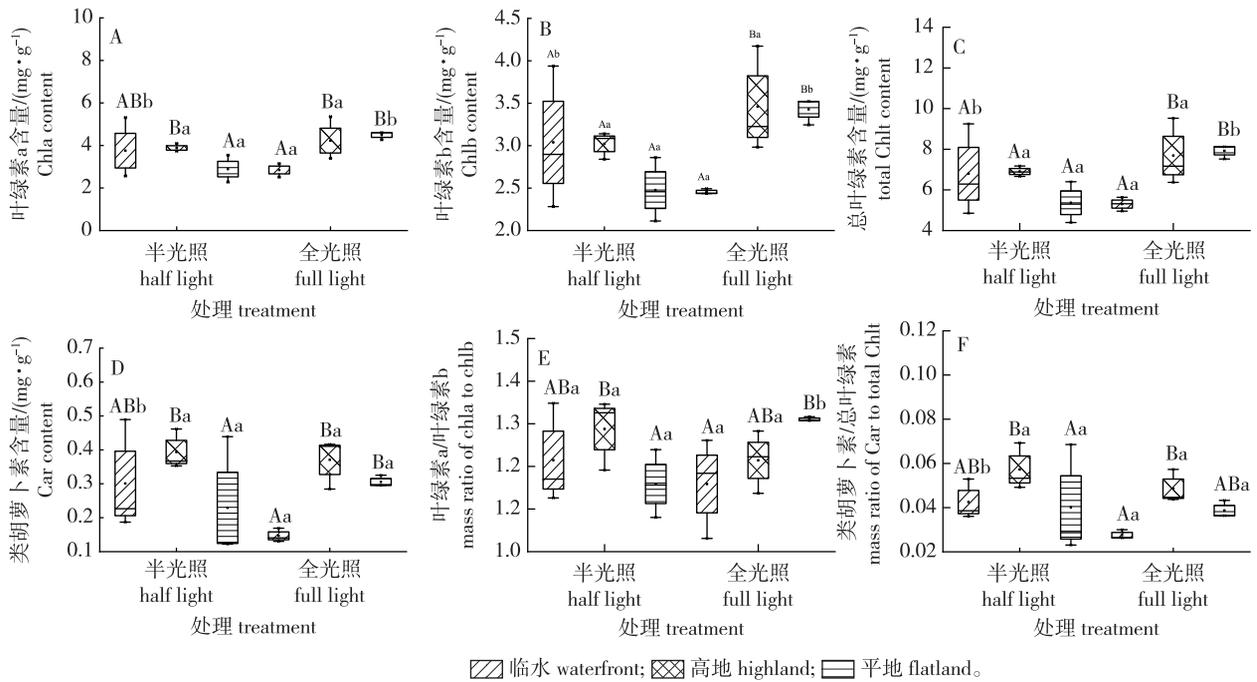


图 3 不同栽植环境下毛棉杜鹃光合色素的含量

Fig.3 Contents of photosynthetic pigments in *R. moulmainense* under different planting environments

2.3 毛棉杜鹃叶片光响应曲线特征

由光响应曲线(图 4)可知,不同栽植环境下毛棉杜鹃的 P_n 随着 PAR 的增强的变化趋势基本一致。PAR 从 0 增至 $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,叶片 P_n 随着 PAR 的升高而快速增加;当 PAR 高于 $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 随 PAR 的增速逐渐减慢,最后达到光饱和。

由光合响应曲线特征参数(图 5)可知,在不同栽植环境下,临水-全光照的毛棉杜鹃叶片的 LSP (光饱和点)显著高于其他试验样地 ($P < 0.05$),临水-半光照叶片的 LCP (光补偿点)显著高于 ($P < 0.05$)其他试验样地。不同栽植环境下, $P_{n,\text{max}}$ (最大净光合速率)按从高到地依次为临水-全光照 > 临水-半光照 > 平地-半光照 > 平地-全光照 > 高地-全

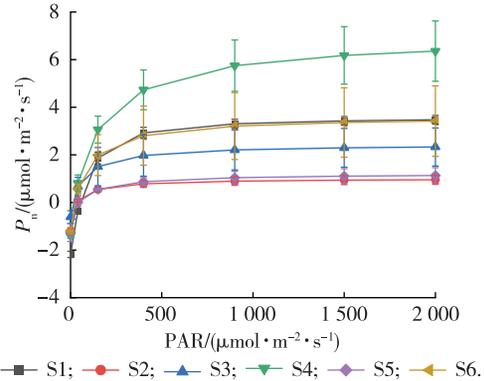


图 4 不同栽植环境下毛棉杜鹃的光响应曲线
Fig.4 Light response curves of *R. moulmainense* in different planting environments

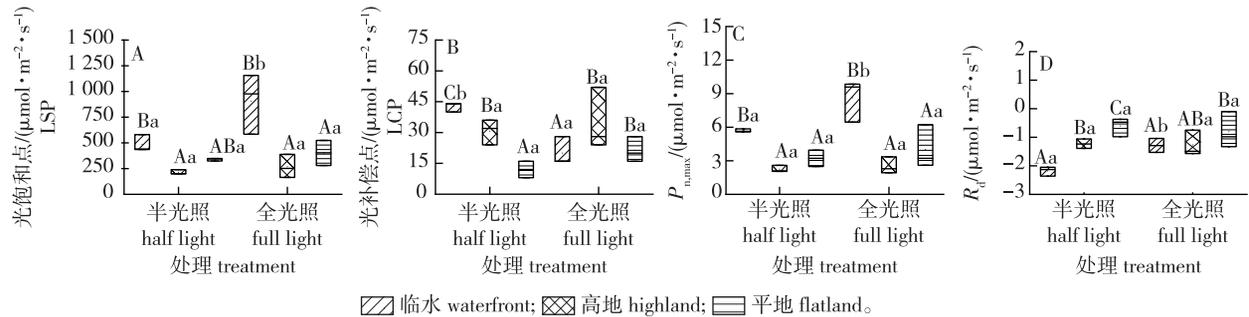


图 5 不同栽植环境下毛棉杜鹃的光合响应曲线特征参数

Fig.5 Characteristic parameters of photosynthetic response curves of *R. moulmainense* under different planting environments

光照>高地-半光照,且临水-半光照和临水-全光照显著高于其他栽植环境($P<0.05$)。不同土壤含水量环境下,临水-半光照叶片的Rd(暗呼吸速率)显著低于其他栽植环境($P<0.05$)。

3 讨论

上述结果表明,光照强度和土壤含水量对毛棉杜鹃生长量和光合特性具有较大的影响。光照和水分等为植物生长所必须,也是影响植物生长和发育的重要因子^[21]。受不同季节气候变化的影响,光照强度和土壤含水量都有不同程度的变化,光照太强或太弱都会影响植物光合作用的进行,土壤含水量过高或者过低同样会引起植物光合作用的下降和升高,并会影响到植物的成活。因此在自然条件下,光照强度和土壤含水量等各环境因素不只是作为单一因子影响,而是综合影响植物对环境的适应情况^[22]。

3.1 不同栽植环境对毛棉杜鹃生长的影响

在不同栽植环境中,光是植物生长最主要能量来源,对植物生长发育和形态结构等至关重要^[23],土壤含水量在植物生长发育中也起到很大作用,且两者对植物的影响是交互的。在公园中将毛棉杜鹃分别种植在不同栽植环境下,毛棉杜鹃的花芽、株高、地径、冠幅、新梢枝条生长状况发生了不同的变化,其中6个处理在植株地径生长量和株高生长量上无显著差异,同一水分条件下,半光照的花芽数量、新梢粗度和新梢体积均显著高于全光照。同一光照下,随着土壤含水量的增加,毛棉杜鹃的新梢长度、粗度和体积也有所提高。这是因为适当的遮阴可以促进毛棉杜鹃新梢的生长,减少土壤水分的蒸发,为毛棉杜鹃生长发育提供足够的水分,而过强的光照会抑制毛棉杜鹃的生长,这说明适宜的光照有利于植物光合产物的合成和累积,进而影响生物量的大小^[24]。反之,过强的光照会导致植物叶片不能及时利用和消耗吸收的光能,进而导致植物光合能力下降,有机物积累减少,对光合系统进行破坏,最终导致植物生长不良甚至死亡^[25]。通过本次试验,说明了水分和光照对毛棉杜鹃生长的影响具有一定的补偿效应,即在适宜的环境条件下,保证充足的水分供应可以降低光照不足时对毛棉杜鹃生长的不利影响。

3.2 不同栽植环境对毛棉杜鹃光合特性的影响

3.2.1 对毛棉杜鹃光合色素的影响

叶绿素是叶片进行光合作用的物质基础,环境因子的改变可引起叶绿素含量的变化,因此,叶绿

素含量的高低能够在很大程度上反映植物的生长状况和叶片的光合能力^[26]。本试验表明,随着土壤含水量的增加,半光照处理下的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量均有所提高,而全光照处理下则表现为高地处理的最高,这与白宇清^[17]在毛棉杜鹃引种低海拔研究时的结果一致。同一水分条件下,半光照的叶绿素含量要高于全光照叶绿素含量,这是因为遮阴环境下,植物为了更有效地捕获光能,会相应地增加叶内的叶绿素含量,这与童龙等^[27]研究不同遮阴对多花黄精(*Polygonum cyrtoneura*)生理生长的影响发现叶绿素含量随着遮阴强度的增加而增加的结果一致,同时一定的遮阴可以抵消夏季高温引起水分缺失给毛棉杜鹃带来的影响。此外,在遮阴条件下,总叶绿素和叶绿素b含量增加,而叶绿素a/b值降低是植物利用弱光能力强的判断指标^[28]。本试验中临水-半光照时毛棉杜鹃的总叶绿素、叶绿素b含量均增加,而叶绿素a/b值降低,表明毛棉杜鹃在临水-半光照环境下有较强的弱光适应能力。

3.2.2 对毛棉杜鹃光响应曲线的影响

植物光响应曲线反映了植物的光化学效率,为了解植物光合作用光反应过程的效率非常重要。植物叶片的光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)分别代表了光照强度与光合作用关系的上限和下限临界指标,反映了植物对环境因子中光照条件的要求,是判断植物耐阴性的一个重要指标^[29]。同一光照条件下,LSP和 $P_{n,max}$ 均随土壤含水量的降低而降低,而临水-半光照处理下毛棉杜鹃的LCP显著高于其他试验样地,且Rd显著低于其他试验样地,这说明土壤含水量是影响毛棉杜鹃光响应曲线特征参数的主要因素之一。在同一土壤含水量条件下,半光照下的毛棉杜鹃光饱和点均低于全光照,这与张云等^[30]对堇叶紫金牛(*Ardisia violacea*)的研究结果一致,说明遮阴处理下毛棉杜鹃幼苗叶片通过降低LCP和LSP,最大限度地利用弱光进行光合作用。本研究显示,不同栽植条件下,临水-半光照和临水-全光照处的毛棉杜鹃的 $P_{n,max}$ 大于其他试验样地,这说明在该条件下有利于毛棉杜鹃生长。

3.3 不同栽植环境下毛棉杜鹃生长指标与光合特性的相关性分析

通过对毛棉杜鹃的生长指标和光合特性的测定综合分析得出,在不同栽植环境下,新梢枝条生长量、光响应曲线、光饱和点、光补偿点、最大净光合速率均在临水-半光照处达到最大值,而光合色

素含量、暗呼吸速率等日变化在临水-半光照处数值较低或最低。临水-全光照处理的新梢枝条生长量、光饱和点、最大净光合速率、暗呼吸速率相比高地-全光照和平地-全光照较高或最高,光响应曲线受土壤含水量的影响逐渐升高,而光合色素含量最低。因此,在种植毛棉杜鹃时,应根据其对光照和土壤水分的要求,选择适度遮阴和土壤含水量高且排水性好的地势,这样既可以减少土壤水分的蒸发从而有足够的土壤水分对毛棉杜鹃生长进行补给,还可以解决土壤因水分胁迫引起短暂内涝而导致叶片叶绿素含量低的情况。

3.4 毛棉杜鹃在深圳城市公园栽植的生长适应性

植物从原生环境引种到其他地方时,应考虑植物的自然生境和引种地的生态差异,创造适宜生境。通过本试验和前人对毛棉杜鹃的研究,在栽培试验过程中发现其叶片有变黄、灼烧等现象,而且在雨后排水不畅及雨后烈日暴晒后,会出现植株叶片干枯或整株死亡的现象,表明光照和土壤含水量对毛棉杜鹃生长有显著影响。白宇清^[17]研究毛棉杜鹃在低海拔地区引种适应性,通过不同遮阴和不同土壤排水两种处理方式,对比毛棉杜鹃的生长量、光合特性以及生理指标的结果,得出毛棉杜鹃适宜在遮阴 50% 的土壤排水性好的生境中生长。因此在城市公园种植毛棉杜鹃时应注意光照的过强过弱和土壤含水量和排水性。

光照和土壤水分是影响生长、分布的重要环境因子。本试验通过研究毛棉杜鹃在深圳城市公园不同栽植环境下的生长情况,发现适度的遮阴和较高土壤水分对毛棉杜鹃的生长有利,临水-半光照是其最适宜生长的环境。通过本研究了解到过高的光照环境和较低的土壤水分会导致毛棉杜鹃叶片出现了不同程度的脱落、灼伤、变黄等现象,这是因为土壤水分的充足和适当的遮阴也可以帮助毛棉杜鹃的新梢生长、花芽形成,促使叶绿素含量增加,光合产物积累。由此可见,在深圳城市公园种植时毛棉杜鹃应考虑为其提供适当的遮阴和充足的土壤水分。

参考文献(reference):

- [1] 李浩铭,余著成,陈卓,等.光照强度对伯乐树幼苗生长及相关生理指标的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(3):23-30.LI H M, YU Z C, CHEN Z, et al. Effects of light intensity on the growth and related physiological indexes of *Bretschneidera sinensis* [J]. J Southwest For Univ (Nat Sci), 2021, 41(3): 23-30. DOI: 10.11929/j.swfu.202007040.
- [2] 孙欣欣.遮阴对胡桃楸和紫椴苗木形态和生理的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.SUN X X. Effect of shading on morphology and physiology in *Juglans mandshurica* and *Tilia amurensis* seedlings [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [3] 王健健,姬拉拉,邓小红,等.光照强度对钩藤生长及有效成分含量的影响[J].中国中药杂志,2019,44(23):5118-5123. WANG J J, JI L L, DENG X H, et al. Effects of light intensity on growth and content of active components of *Uncaria rhynchophyll* [J]. China J Chin Mater Med, 2019, 44(23): 5118-5123. DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20191009.103.
- [4] 孙玉明,张婷,徐晓洋,等.氮素和光照对甜菊生长、氮素吸收和甜菊糖苷相关指标的影响[J].植物资源与环境学报,2021,30(2):12-18,34.SUN Y M, ZHANG T, XU X Y, et al. Effects of nitrogen and light on growth, nitrogen uptake, and steviol glycosides related indexes of *Stevia rebaudiana* [J]. J Plant Resour Environ, 2021, 30(2): 12-18, 34.
- [5] AWASTHI R, KAUSHAL N, VADEZ V, et al. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea [J]. Funct Plant Biol, 2014, 41(11): 1148-1167. DOI: 10.1071/FP13340.
- [6] 杨萍,王红兰,张燕,等.土壤水分含量对羌活植株生长及有效成分积累的影响[J].中国中药杂志,2018,43(24):4824-4830. YANG P, WANG H L, ZHANG Y, et al. Effects of soil water content on growth and accumulation of active ingredients of *Notopterygium incisum* [J]. China J Chin Mater Med, 2018, 43(24): 4824-4830. DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20181025.009.
- [7] 刁海欣,黄清俊,苗利媛,等.土壤含水量对白芨与菌根真菌共生关系的影响[J].江苏农业科学,2020,48(22):122-130. DIAO H X, HUANG Q J, MIAO L Y, et al. Influence of soil water content on symbiotic relationship between *Bletilla striata* and mycorrhizal fungi [J]. Jiangsu Agric Sci, 2020, 48(22): 122-130. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.023.
- [8] 阎尚博,钱永强,张艳,等.土壤含水量对4种委陵菜属植物生长及生理影响[J].草业科学,2020,37(1):98-105. YAN S B, QIAN Y Q, ZHANG Y, et al. Effects of soil moisture content on morpho-physiological of four *Potentilla* [J]. Pratacultural Sci, 2020, 37(1): 98-105. DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0512.
- [9] ALBERT K R, RO-POULSEN H, MIKKELSEN T N, et al. Interactive effects of elevated CO₂, warming, and drought on photosynthesis of *Deschampsia flexuosa* in a temperate heath ecosystem [J]. J Exp Bot, 2011, 62(12): 4253-4266. DOI: 10.1093/jxb/err133.
- [10] POORTER L, BONGERS F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species [J]. Ecology, 2006, 87(7): 1733-1743. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[1733:lt-agpo]2.0.co;2.
- [11] SACK L, GRUBB P J. The combined impacts of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings [J]. Oecologia, 2002, 131(2): 175-185. DOI: 10.1007/s00442-002-0873-0.
- [12] 杨虎彪,林鹏,刘国道.不同光照和水分对吊罗山蕙草生长的影响[J].热带作物学报,2021,42(9):2623-2630. YANG H B, LIN P, LIU G D. Effect of light intensity and water content on the seedling growth and physiological characteristics of *Carex diaoluoshanica* [J]. Chin J Trop Crops, 2021, 42(9): 2623-2630. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2021.09.025.
- [13] 张茜.光照与水分条件对三叶草生长发育策略的研究[D].太谷:山西农业大学,2019. ZHANG Q. Research on growth and development strategies of light and moisture conditions on clover

- [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [14] 史佑海, 李绍鹏, 梁伟红, 等. 海南野生杜鹃花属植物种质资源调查研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(4): 551-555. SHI Y H, LI S P, LIANG W H, et al. Germplasm resources of *Rhododendron* in Hainan[J]. Chin J Trop Crops, 2010, 31(4): 551-555. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2010.04.009.
- [15] 赵富群, 尹茜, 洪文君, 等. 毛棉杜鹃的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学报, 2017, 53(9): 1666-1672. ZHAO F Q, YIN Q, HONG W J, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Rhododendron moulmainense* [J]. Plant Physiol J, 2017, 53(9): 1666-1672. DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2017.0155.
- [16] 刘永金, 陈世清, 袁银, 等. 深圳梧桐山毛棉杜鹃林天然更新调查[J]. 亚热带植物科学, 2015, 44(1): 42-46. LIU Y J, CHEN S Q, YUAN Y, et al. Natural regeneration of *Rhododendron moulmainense* forest in Wutong Mountain of Shenzhen [J]. Subtrop Plant Sci, 2015, 44(1): 42-46. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7791.2015.01.008.
- [17] 白宇清. 毛棉杜鹃繁殖生物学与低海拔地区引种适应性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017. BAI Y Q. Reproductive biology of *Rhododendron moulmainense* Hook f. and its adaptability of introduction at low altitude areas [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017.
- [18] 沈华山, 孙逊. 园林植物新品种在深圳香蜜公园的应用及初步评价[J]. 中国园林, 2018, 34(S2): 151-154. SHEN H S, SUN X. The application and preliminary evaluation of new garden plant varieties in Shenzhen Honey Park [J]. Chin Landsc Archit, 2018, 34(S2): 151-154.
- [19] 白宇清, 谢利娟, 王定跃. 不同遮荫、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. BAI Y Q, XIE L J, WANG D Y. Influences of different shading and soil water drainage on growth and photosynthetic characteristics of *Rhododendron moulmainense* [J]. Sci Silvae Sin, 2017, 53(2): 44-53. DOI: 10.11707/j.1001-7488.20170206.
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [21] LI Y G, JIANG G M, NIU S L, et al. Gas exchange and water use efficiency of three native tree species in hunshandak sandland of China [J]. Photosynthetica, 2003, 41(2): 227-232. DOI: 10.1023/B:PHOT.0000011955.12025.dc.
- [22] 陈香波, 田旗, 张丽萍, 等. 不同透光率和土壤含水量对夏蜡梅枝条生长量及叶片部分生理指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(4): 70-77. CHEN X B, TIAN Q, ZHANG L P, et al. Influences of different transmittance and water contents in soil on branch increment and some physiological indexes in leaf of *Sinocalycanthus chinensis* [J]. J Plant Resour Environ, 2010, 19(4): 70-77. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2010.04.011.
- [23] 黄川腾, 林玲, 陈飞飞, 等. 遮荫和施肥对油丹幼苗光合作用的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(6): 173-177. HUANG C T, LIN L, CHEN F F, et al. Effects of shading and fertilization on photosynthesis of *Alseodaphne hainanensis* seedlings [J]. J Southwest For Univ (Nat Sci), 2019, 39(6): 173-177. DOI: 10.11929/j.swfu.201902047.
- [24] 张宇阳, 于涛, 马文宝, 等. 不同郁闭度对野外回归的梓叶槭幼树形态和生理特征的影响[J]. 生物多样性, 2020, 28(3): 323-332. ZHANG Y Y, YU T, MA W B, et al. Physiological and morphological effects of different canopy densities on reintroduced *Acer catalpifolium* [J]. Biodivers Sci, 2020, 28(3): 323-332. DOI: 10.17520/biods.2019190.
- [25] 贾虎森, 李德全, 韩亚琴. 高等植物光合作用的光抑制研究进展[J]. 植物学通报, 2000, 35(3): 218-224. JIA H S, LI D Q, HAN Y Q. Advances in studies on photoinhibition in photosynthesis of higher plants [J]. Chin Bull Bot, 2000, 35(3): 218-224. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3466.2000.03.004.
- [26] 朱小龙, 李振基, 赖志华, 等. 不同光照下土壤水分胁迫对长苞铁杉幼苗的作用[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 76-81. ZHU X L, LI Z J, LAI Z H, et al. Effects of water stress on *Tsuga longibracteata* seedlings under varied light intensity [J]. J Beijing For Univ, 2007, 29(2): 76-81. DOI: 10.3321/j.issn:1000-1522.2007.02.013.
- [27] 童龙, 张磊, 高勇军, 等. 不同遮阴处理对多花黄精生理生长的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(3): 68-75. TONG L, ZHANG L, GAO Y J, et al. Growth and physiological characteristics of *Polygonatum cyrtoneuma* under different shading treatments [J]. J Southwest For Univ (Nat Sci), 2020, 40(3): 68-75. DOI: 10.11929/j.swfu.201906024.
- [28] 李军超, 苏陕民. 黄花菜耐阴特性的初步研究[J]. 生态学报, 1994, 14(4): 444-446. LI J C, SU S M. Preliminary study on the shade tolerance of *Hemerocallis citrina* Plant [J]. Acta Ecologica Sinica, 1994, 14(4): 444-446.
- [29] 尚海琳, 李方民, 林玥, 等. 桃儿七光合生理特性的地理差异研究[J]. 西北植物学报, 2008(7): 1440-1447. SHANG H L, LI F M, LIN Y, et al. Photosynthetic characteristics of *Sinopodophyllum hexandrum* from different distribution areas in China [J]. Acta Botanica Borealis Occidentalia Sinica, 2008(7): 1440-1447.
- [30] 张云, 夏国华, 马凯, 等. 遮阴对蔓叶紫金牛光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(7): 1940-1948. ZHANG Y, XIA G H, MA K, et al. Effects of shade on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of *Ardisia violacea*. [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(7): 1940-1948. DOI: 10.13287/j.1001-9332.20140425.001.

(责任编辑 吴祝华)