

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.05.008

涝害对桢楠幼树生长及光合生理特性的影响

谭飞²,熊河先²,郭浩¹

(1.四川农业大学林学院,四川成都 611130;2.凉山州林业调查规划设计院,四川西昌 615000)

摘要:为探讨土壤水分含量过度对桢楠幼树生长特性和光合生理的影响,以来源于同一母树种子育苗,同年生且长势基本一致的桢楠幼树为材料,栽种于四川农业大学教学科研园区内(四川盆地西缘的华西雨屏区),观察测定栽植3年后、排水良好和排水不良地块对桢楠幼树生长及光合生理的响应,分别于2014年4月、6月、8月和10月测定形态指标;6月、8月和10月测定光合生理指标。结果显示株高和地径实际生长指标表现为:排水好的桢楠>中度水涝的桢楠>重度水涝的桢楠。几次测得的光合指标也显示出排水好的桢楠幼树的光合效率高于其他两组。综上所述,桢楠幼树在水分相对良好的地段其生长发育好于水涝相对严重的地段,这对于桢楠造林时正确选择立地和进行科学的水分管理具有重要的意义。

关键词:土壤水分;桢楠;光合特性;生长特性

中图分类号:S792.24 文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)05-0038-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Flood on Growth Characteristics and Photosynthetic Physiology of *Phoebe zhennan* Saplings

TAN Fei^{1,2} XIONG He-xian² GUO Hao¹

(1. School of Forestry, Sichuan Agriculture University, Chengdu 611130, China;

2. Forestry Survey and Planning and design Institute of Liangshan Administrative district, Xichang 615000, China)

Abstract:To investigate effects of soil moisture content on the growth and photosynthetic physiological characteristics, *Phoebe zhennan* saplings of same age and same mother tree were cultivated respectively in different moisture content soil in the Teaching and Research Base of Sichuan Agricultural University (the western margin in the Rainy Zone of West China of the Sichuan Basin). The observation and measurement of soil moisture content were performed respectively in April, June, August and October, and the determinations of morphological indexes were conducted in June, August and October respectively. The results showed that the plant height and ground diameter were higher in the soil of good drainage than those in the moderate or severe waterlogging soil. The photosynthetic efficiency of saplings were also higher in well drained soil. It was of important significance to select proper planting site for *P. zhennan*.

Key words: Soil moisture, *Phoebe zhennan*, Photosynthetic characteristics, Growth characteristics

水分作为树木生存、生长发育以及代谢的基础,是树木十分重要的组成部分^[1]。植物生长需要大

量水分,但是土壤水分过多或者大气湿度过高,反而会破坏植物体的水分平衡,从而影响植物正常的生

收稿日期:2019-05-17

作者简介:谭飞(1981-),男,助理工程师,硕士,主要从事森林培育方面研究,e-mail:635556526@qq.com。

长发育。土壤含水量超过了田间持水量,称为水涝。而水涝发生的主要原因是长期阴雨、暴雨、土壤排水不良、江河泛滥,尤其是在靠近水源,地下水位高的洼地^[2],水涝非常严重。涝害是世界上大多数国家面临的重大自然灾害之一^[3,4],涝害常常引起树木一系列的伤害甚至导致其死亡,严重限制了农林作物的产量及区域分布。

桢楠(*Phoebe zhennan*)为樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*)植物,属亚热带常绿阔叶高大乔木,是国家二级重点保护的树种^[5],也是中国园林绿化的理想树种^[6-8]。桢楠树干通直,木味香馥,花纹美观,纹理致密,材质坚实,耐腐蚀性强,素有“木中金子”之称,在雕刻、家具、建筑等方面是绝佳材料^[9,10]。四川雅安、都江堰一带均有天然分布的桢楠,其中最大者胸径达 240 cm,寿命在 1 000 年以上。但是由于该树种生长发育缓慢,加上长期以来的人为砍伐、苗木培育技术不成熟等原因,严重制约着桢楠人工林的发展进程^[9]。目前国内对桢楠的研究多集中在桢楠苗木的培育技术^[11-15]、桢楠木材的材性分析^[16-17]以及桢楠资源的利用情况^[18-19]等方面,至于涝害对于桢楠(*Phoebe zhennan*)生长及光合特性影响方面的研究未见报道^[20]。

在我国局部地区(如地处四川盆地西缘的华西雨屏区局部地区)沟谷地带涝害严重,尤其是进入夏秋之后降雨次数多且强度大,雨水短时间骤增,对新造幼林生长的负面影响很大,一般情况下限制其生长,严重状态则导致树木的死亡。因此,本研究采用桢楠幼树为实验材料,通过探究桢楠幼树生长和光合生理对于涝害的响应及其在多水地带的栽培技术,进而对桢楠人工林的合理发展及科学的水管理提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于雅安市雨城区四川农业大学教学科研园区内,东经 102°59′16″,北纬 29°58′52″,海拔 580 m。阴雨天气较多,光照相对不足。多年平均气温 16.2 ℃,≥10 ℃的积温 5 231 ℃,月平均最高温 29.9 ℃(7 月),月平均最低温 3.7 ℃(1 月),年平均日照时数 1 039.6 h,无霜期 298 d,多年平均降雨量 1 774.3 mm,空气平均湿度 79%,属于亚热带湿润气候。

1.2 实验材料

本试验材料桢楠幼树栽植于四川农业大学教学科研园区苗圃地(土壤质地为重壤,pH 值 4.5~5.5,有机质 24.38 g·kg⁻¹,全氮 0.66 g·kg⁻¹,全钾 5.81 g·kg⁻¹,效磷 128.63 mg·kg⁻¹,速效钾 15.27 mg·kg⁻¹),于 2012 年 1 月将长势基本一致的 1 年生桢楠幼苗进行栽植,至 2014 年底已培育 3 年。

1.3 实验设计

根据过往资料及近几年的观测,雨城区夏秋降雨量为全年降雨量的 75% 左右(主要集中在 7—9 月),2012—2014 连续 3 年观察,试验区年降雨量在 1 800 mm 左右(其中主要集中在 7—9 月,占全年降水 2/3)。试验区土壤水分动态表现为随着 6 月中旬降雨量骤增,土壤含水量也骤增,超过了田间持水量,低洼地块均有积水。到 9 月初虽然降雨量下降,但土壤含水量仍然维持在很高水平,直至 10 月下旬,其他月份土壤水分状态则保持在适宜植物生长的水平。试验区连年夏秋季积水过多的状态,是雅安地处华西屏区中心地带所致,由特殊的气候特征造成的。

因此,本试验根据林地内积水状况,在 3 年生桢楠幼林内,选择 3 块小区,根据对小区内 4—10 月积水和桢楠幼树长势连续 3 年定点观察(从 4—10 月是桢楠生长旺盛期),再根据地块受涝滞危害程度(积水轻(CK)、积水中(M)、积水重(H)3 个处理),确定为 3 种不同田间水分状态并划分为 3 个小区,每个小区各设置 3 个样方(面积 1 m²),每个样方重复测定 3 次。

1.4 测定指标及测定方法

1.4.1 土壤含水量

采用 HH2 便携式土壤水分测定仪(ML2x,GBR)测定土壤体积含水量,植物正常生长土壤体积含水量在 15%~20% 左右(约为试验用土田间持水量的 70%~80%),测定 4,6,8,10 月土壤水分含量。

1.4.2 幼树形态指标

分别于:2014 年 4 月(涝前、春初萌芽)、6 月(涝前)、8 月(涝中)以及 10 月(涝后)测定桢楠幼树的株高和地径。

株高:采用卷尺测量,每个小区各 5 株,3 次重复取其平均值。

地径:采用电子游标卡尺进行测量,于根颈从两

个垂直方向进行测定,3次重复取其平均值。

净生长量:地径和株高净生长量为10月测定值与4月测定值之差。

1.4.3 光合生理指标

①光合生理特征参数:分别在6,8,10月测定,选取桢楠顶部新鲜功能叶片,采用Li-6400便携式光合测定仪(Li-Cor Inc., USA),人工控制CO₂浓度400 μmolCO₂·mol⁻¹、温度25℃、光照强度1 200 μmol·m⁻²·s⁻¹,测定净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和胞间CO₂浓度(Ci),每处理5次重复,每重复记录10个数据。

②光合-光响应曲线:植物光响应与CO₂响应的测定。各种气体交换速率测定时设定叶片温度为25±1℃,空气相对湿度为70%。

Pn-PAR响应:CO₂浓度设置为400 μmol·mol⁻¹,光合有效辐射PAR梯度为0、50、100、150、200、400、600、800、1 200、1 600、2 000、2 500 μmol·m⁻²·s⁻¹。

Pn-Ci响应:PAR设定为1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹,设定CO₂浓度梯度为0、50、75、100、150、200、400、

600、800、1 200、1 600、2 000 μmol·mol⁻¹。

1.5 数据处理

采用直角双曲线模型进行光合-光响应及光合-CO₂响应曲线拟合^[21],并分析计算相应的特征参数。采用SPSS 20.0统计分析软件(SPSS Inc., USA)对试验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),并用最小显著差数法(LSD法)进行多重比较,Microsoft Excel 2007进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 试验区全年降雨的月动态及月份最高温动态

由表1可见,研究区(雅安市雨城区)2014年各月降雨天数7—9月均较高,7月降雨天数虽然较低,但降雨量却很高,这与华西雨屏区各年7、8、9月降雨量分配是一致的,全年月降雨的变化趋势与相应月份最高气温动态一致。表明该地区年降雨量丰沛,虽然冬季降雨量相对较低,但降雨天数多,气温低,致使空气湿度大,从而确保常绿阔叶树种有较充足的生长耗水。

表1 雅安市雨城区月均气温、月降雨量及天数

Tab. 1	The monthly average temperature, rainfall and rainy days in 2014—2015 in Yaan											
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月降雨量/mm	20	31	52	94	137	174	377	436	203	104	57	21
月降雨天数/d	12	13	17	19	19	20	14	22	23	23	21	16
月均气温/℃	8	11	16	22	26	28	30	30	25	20	16	10

2.2 桢楠幼林不同月份土壤含水量的变化

由表1和图1可知,在4月至10月期间,实验样地的土壤含水量随着降雨量的变化而变化,4月到6月的降雨量较少,土壤含水量也相对较少;而在6月到8月份,也就是雨期这段时间内,降水量增多,因而样地内土壤含水量相对有所增加;而8月到10月,降水已经相对减少,土壤含水量也开始下降。横向来看,渗水能力差的土壤含水量要显著高于渗水能力相对较好的土壤(P<0.05)。在雨期来临时,土壤渗水能力相对差的小区土壤含水量增加明显,而土壤渗水能力好的受到的影响相对较小。

2.3 不同土壤水分状态对桢楠幼树株高地径生长量的影响

图2显示,各处理的桢楠生长状况(地径和株高)从4月到10月后通过测定其地径和株高表明净生长量,发现涝害对桢楠幼树的生长产生了显著的抑制作用(P<0.05),桢楠幼树的树高生长量及地

径生长量在涝害胁迫下显著降低,中度涝害使其显著下降51.5%和54.4%,重度涝害则使其生长量分别显著下降了91.1%和91.0%。表明涝害可能对桢楠的细胞分裂及物质运输产生了抑制作用,且涝害程度越大,抑制作用越强。

2.4 不同土壤水分状态下桢楠幼树净光合速率及气体交换参数

由图3可知,6月份的时候,各个处理桢楠的净光合速率(Pn)差异达到显著水平(P<0.05),其中渗水能力好的(CK)桢楠叶片的Pn值最高,较渗水能力中等(M)桢楠Pn高出37.84%,而渗水能力差(H)的Pn值最低,比M减少了82.23%;各个处理的气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和差异达到显著水平(P<0.05)呈现出CK>M>H的变化趋势;胞间CO₂浓度(Ci)与净光合速率(Pn)呈现不同的变化趋势,CK<M<H且差异显著(P<0.05),表明受到不同程度涝害的植株叶片的净光合速率低是由于其体

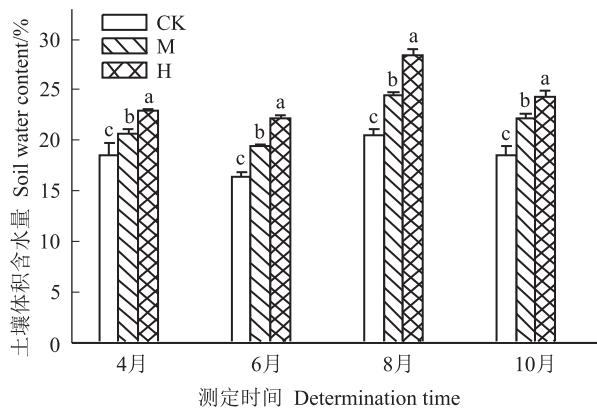


图1 桢楠的土壤含水量在4、6、8、10月份的变化

Fig. 1 The soil moisture content in stand of *Phoebe zhennan* in April, June, August and October

注:①图中CK、M、H分别代表积水轻、积水中、积水重,下同。CK, M and H in the figure represent light, medium and heavy accumulated water respectively, the same below.

②各直方图上方小写字母分别表示不同月份CK、M、H处理之间差异显著,下同。The upper lower-case letters on each histogram indicate that there are significant differences among CK, M and H in different months, the same below

内生理活动被严重干扰。

8月份、10月份的变化趋势和6月份基本相同,随着水涝程度的增加 P_n 、 G_s 、 Tr 都逐渐减小,不同处理之间差异均显著 ($P < 0.05$)。

2.5 不同土壤水分状态下桢楠叶片光响应曲线及特征参数

由图4可知,不同土壤水分状态下的桢楠幼树的光合-光响应曲线的变化趋势符合植物光合生理特性的基本规律。6月和8月的变化趋势基本一致,当光强在 $0 \sim 500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 区域内,CK、M、H的净光合速率均随PAR的增加而迅速增加,在高于 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,3个处理的 P_n 值增幅减

小,最终趋于稳定。在PAR变化的过程,CK的 P_n 值要明显高于M和H,呈现出 $CK > M > H$ 的关系。但在8月发现M与CK的之间的差距明显缩小,表明中度水涝对植物影响较小。

光补偿点LCP反映植物在一定的光照条件下,光合作用吸收 CO_2 的呼吸作用数量达到平衡状态时的光照强度,其值越小,则植物利用弱光能力越强。光饱和点LSP则反映当达到某一光强时,植物的光合速率就不再随光强的增高而增加,其值越大,则植物的利用强光的能力越大。通过表2的光响应特征参数可以看出,6月,CK的LCP最小、LSP最大,表明排水良好的桢楠利用弱光和强光的能力强。而8月H水分状态下的LCP最大、LSP最大,表明重度水涝的桢楠利用弱光和强光的能力相对弱。

表观量子效率AQY值越高,则植物在弱光下转换利用光能的效率就高,在6月和8月AQY都呈现的变化趋势是 $CK > M > H$,表明随着水涝程度的加剧桢楠利用光能的效率随之下降。植物的最大净光合速率 $P_{n\text{max}}$ 是植物光合能力强弱的重要指标,本试验中,与CK相比6月和8月M、H的 $P_{n\text{max}}$ 分别下降了36.48%、88.05%;21.93%、81.31%。而暗呼吸速率 R_d 则是 $CK < M < H$,在两次测定中M、H分别比CK高61.67%、118.84%;150.19%、208.37%。

2.6 不同土壤水分状态桢楠多叶片的光合 CO_2 响应曲线及特征参数

由图5可见,不同土壤水分状态下的桢楠幼树的光合 CO_2 响应曲线的变化趋势符合植物光合生理特性的基本规律。无论是6月份还是8月份,随着 CO_2 浓度的增加,不同幼苗的净光合速率也随之

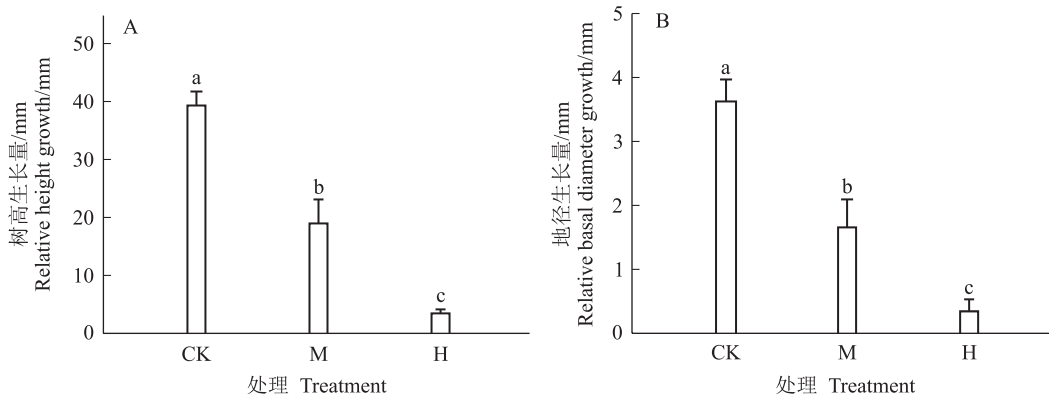


图2 不同土壤水分状态桢楠株高地径生长量

Fig. 2 The ground surface diameter and height growth of *Phoebe zhennan*

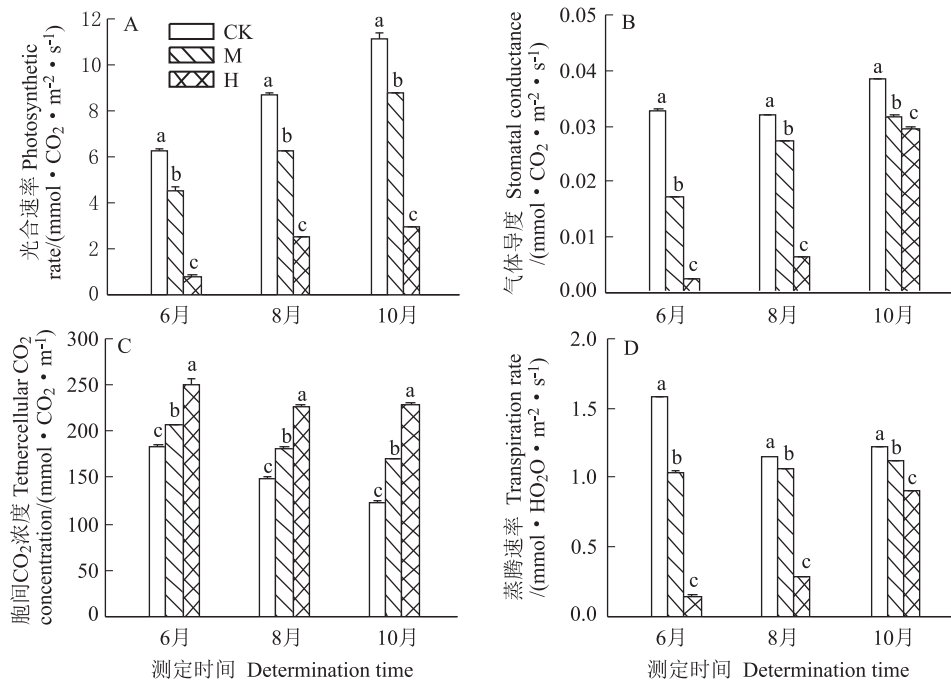


图3 不同土壤水分状态桉楠叶片净光合速率及气体交换参数

Fig. 3 The net photosynthetic rate and gas exchange parameters of *Phoebe zhennan* in different soil moisture content

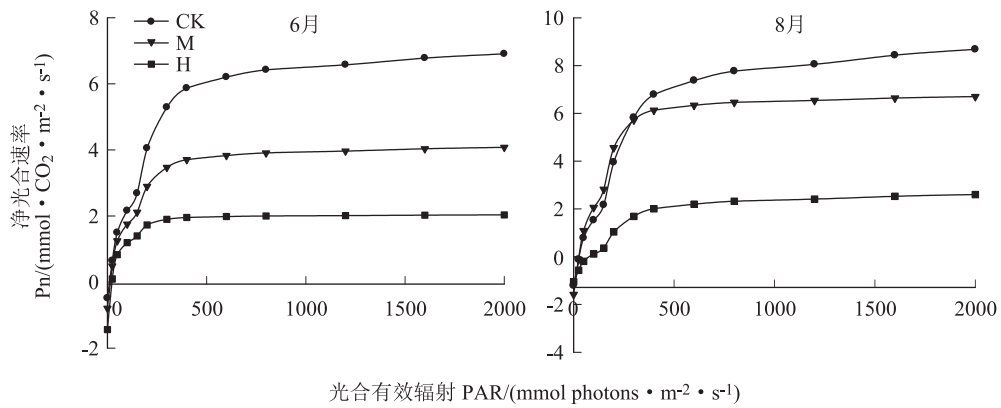


图4 不同土壤水分状态下桉楠叶片的光响应曲线

Fig. 4 The light response curve of *Phoebe zhennan* in different soil moisture content

表2 不同土壤水分状态下桉楠叶片的光响应特征参数

Tab. 2 The light response characteristic parameters of *Phoebe zhennan*

时间 Time	处理 Treatment	表观量子效率 AQY ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 LCP ($\mu\text{mol photons m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 LSP ($\mu\text{mol photons m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	最大净光合速率 $P_{n \text{ max}}$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 R_d ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
6月	CK	0.0216	6.1466	373.7923	7.9485	0.4924
	M	0.0167	14.2985	434.5396	5.0493	0.7961
	H	0.0133	27.4789	290.4519	3.5028	1.4385
8月	CK	0.0250	17.8548	464.3708	10.9129	0.6328
	M	0.0195	25.2888	314.1125	8.5203	1.5832
	H	0.0100	80.1157	477.8702	3.9855	1.9514

增加,大小关系表现为 $CK > M > H$ 。表明不同土壤含水量状态下桉楠的 P_n 存在显著差异。由表3可知不同处理的羧化效率,6月份最大净光合速率和

光呼吸速率的3项参数均呈 $CK > M > H$ 的关系;而CCP和CSP变化趋势则是 $CK < M < H$,8月份的变化趋势和6月份类似。

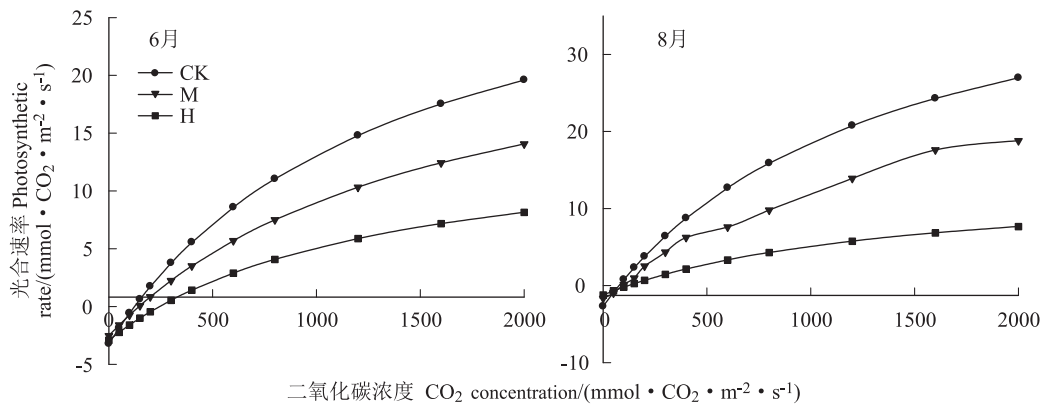
图5 不同土壤水分状态下桢楠叶片 CO₂ 响应曲线Fig. 5 The Carbon dioxide (CO₂) response curve of *Phoebe zhennan*

表 3

桢楠叶片 CO₂ 响应特征参数

Tab. 3

The Carbon dioxide response characteristic parameters of *Phoebe zhennan*

时间 Time	处理 Treatment	RuBP 羧化效率 CE ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	CO ₂ 补偿点 CCP ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 饱和点 CSP ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	最大净光合速率 P _{n max} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光呼吸速率 R _p ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
6 月	CK	0.0248	123.6222	1654.6370	38.0350	3.2296
	M	0.0168	145.5538	1689.0000	29.4605	2.5260
	H	0.0123	244.4609	1705.3333	18.0948	2.0226
8 月	CK	0.0323	76.6708	1602.3733	49.2676	2.7016
	M	0.0206	83.7303	1652.0000	39.5795	1.7602
	H	0.0094	122.4093	1708.1012	15.0048	1.2207

CE 是响应曲线在 200 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下直线区域的斜率,反映了植物在给定条件下对 CO₂ 的同化能力,与 M 相比,6 月份 CK 的 CE 值提高了 50.00%,H 的 CE 值降低了 24.73%。8 月份 CK 的 CE 值提高了 69.54%,H 的 CE 值降低了 50.45%。

3 讨论与结论

涝害是世界上大多数国家面临的重大自然灾害之一,大量的涝害实验研究表明,一定的土壤水分含量可以促进植物的生长发育,但是超过一定限度的土壤含水量,则会产生涝害胁迫,进而对植物的生长及生物生理特性产生一定的影响^[22]。

光合作用是绿色植物共有的生理功能,通常情况下,90%~95%以上的植物干物质积累由光合作用制造^[23],植物叶片的光合作用与蒸腾速率也是紧密联系在一起的^[24,25],光合作用是衡量植物生理功能的重要指标^[26]。水分作为光反应中心的必要原料和溶剂,在植物的光合作用过程中发挥着重要作用^[27]。有研究指出,导致植物叶片光合效率降低的因素包括气孔限制和非气孔限制^[28],当净光合速率(P_n)和胞间二氧化碳(C_i)浓度同时下降时,P_n

的下降为气孔限制,相反如果叶片 P_n 降低伴随着 C_i 升高,则表明 P_n 的下降可能主要由非气孔因素导致。本研究发现排水良好的桢楠(CK)净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)均高于中度涝害的桢楠(M)与重度涝害的桢楠(H)。

在一定的环境条件下,植物光响应曲线与 CO₂ 响应曲线能反映植物对环境光照和 CO₂ 浓度的适应能力^[29]。其中,表观量子效率(AQY)和羧化速率(CE)分别反映了叶片对光能和 CO₂ 的利用能力,尤其是对弱光及低浓度 CO₂ 的利用率;叶片的最大光合速率(P_{n max})表达了叶片能进行最大光合作用的能力;光饱和点(LSP)和 CO₂ 饱和点(CSP)表达了当环境中的光照强度和 CO₂ 浓度增加到一定程度时,植物的光合速率不会随之而提高的界限;光补偿点表示植物的光合强度和呼吸强度达到相等时的光照度值;CO₂ 补偿点表示叶片进行光合作用所吸收的二氧化碳量与叶片所释放的二氧化碳量达到动态平衡时,外界环境中二氧化碳的浓度^[30,31]。本研究中,6 月和 8 月的光响应曲线与 CO₂ 响应曲线也都表明桢楠在受涝过程中 P_n 值会明显地降低从而影响到整个植株的生长进程,且随着受涝程度加重呈明显的梯度关系。光响应曲线与 CO₂ 响应曲

线描述的是光量子通量密度和 CO_2 浓度与植物净光合速率之间的关系,能够较好地解释植物对光照和环境中的 CO_2 浓度两种影响因子变化的适应能力^[29]。本研究发现随着水涝程度的增加,受胁迫植株叶片的表观量子效率(AQY)、RuBP 酶羧化速率CE与光呼吸速率(R_p)均呈降低趋势,暗呼吸速率(R_d)呈现上升趋势,导致植物光合效率降低、植株体内代谢速率减慢。同时过涝也会升高LCP、CCP;降低LSP、CSP导致植物适应环境能力降低,光合能力也会严重下降,积累的光合产物减少。

植物的形态生长指标的变化能够直观反映不同水分状态植株之间的生长差异,本实验中观察到幼树株高与地径的净生长量CK均高于M和H,表明在正常土壤含水量的范围内的桢楠生长速率明显要优于过涝植株;随着水涝程度的增加对桢楠的抑制作用也越强,而当土壤水分重度过涝时桢楠基本停止生长乃至死亡。

综上所述,通过分析不同水分状态桢楠幼树的光合特性和生长特性,发现本试验的3个处理(对照组、中度水涝、重度水涝)中,CK的光合作用能力明显高于M和H。生长发育也较其他两组好。表明桢楠在排水相对良好环境下的生长发育较好,在水涝条件下会抑制其生长发育,这对于正确选择立地,合理发展桢楠人工林具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Mckersie B D, Leshem Y Y. Stress and stress coping in cultivated plants[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [2] 曾建军, 时明芝. 植物涝害生理研究进展[J]. 聊城大学学报, 2004.
- [3] 时明芝, 周保松. 植物涝害和耐涝机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(2): 209~210.
- [4] Li J C. Waterlogging physiology of wheat and its relation with wheat productivity[J]. Plant Physiol Commun, 1997, 33(4): 304~312.
- [5] 方文培. 四川植物志[M]. 成都: 四川省人民出版社, 1981.
- [6] 龙汉利, 张炜, 宋鹏, 等. 四川楠木生长初步分析[J]. 四川林业科技, 2011, 32(2): 89~91.
- [7] 宋朝枢. 中国珍稀濒危保护植物[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 198~202.
- [8] 李冬林, 金雅琴. 我国楠木属植物资源的地理分布、研究现状和开发利用前景[J]. 福建林业科技, 2004, 31(1): 5~9.
- [9] 张炜, 江波, 蒋晔, 等. 四川省桢楠天然群体种子表型多样性的初步研究[J]. 四川林业科技, 2009, 30(6): 75~78.
- [10] 张炜, 何兴炳, 唐森强, 等. 四川桢楠生长特性与分布[J]. 林业科技开发, 2012, 26(5): 38~41.
- [11] 程冬生, 崔同林. 珍贵树种红椿的利用价值及培育技术[J]. 中国林副特产, 2010(4): 39~40.
- [12] 李晓清, 贾廷彬, 张炜, 等. 红椿人工林密度试验研究[J]. 四川林业科技, 2013(1): 33~36.
- [13] 殷国兰, 冯绍惠, 周永丽, 等. 桢楠容器育苗试验[J]. 四川林业科技, 2012, 33(6): 57~59.
- [14] 黄复兴, 范川, 李晓清, 等. 施肥对盆栽香樟幼苗细根生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 103~108.
- [15] 殷国兰, 周永丽, 鄢武先, 等. 香樟扦插育苗试验[J]. 四川林业科技, 2011, 32(6): 99~101.
- [16] 龙汉利, 张炜, 宋鹏, 等. 四川桢楠生长初步分析[J]. 四川林业科技, 2011, 32(4): 89~91.
- [17] 陈孝, 纪程灵, 黄生忠, 等. 细叶桢楠生长与材性性状研究[J]. 湖南林业科技, 2013, 40(3): 27~29.
- [18] 刘亚, 李茂昌, 张承聪, 等. 香樟树叶挥发油的化学成分研究[J]. 分析试验室, 2008, 27(1): 88~91.
- [19] 雷琼. 香樟在临沂城市绿化中引种栽培的潜力探讨[J]. 山东林业科技, 2008(1): 63~65.
- [20] 殷国兰, 谭斌, 杨金亮, 等. 3种珍贵用材树种1年生苗木光合特性研究[J]. 西部林业科学, 2014, 43(3): 81~87.
- [21] 叶子飘. 光合作用对光合 CO_2 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727~740.
- [22] 蒋薇, 刘登望, 李林. 作物涝害研究进展[J]. 南方农业学报, 2010, 41(5): 432~435.
- [23] 童平, 杨世民, 马均等. 不同水稻品种在不同光照条件下的光合特性及干物质积累[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 505~511.
- [24] 吕军. 渍水对冬小麦生长的危害及其生理效应[J]. 植物生理学报, 1994, 28(3): 221~226.
- [25] 汪宗立, 丁祖性, 姜登仪, 等. 小麦湿害及耐湿性生理研究[J]. 江苏农业科学, 1981(4): 11~18.
- [26] BOYER J S. Plant productivity and environment[J]. Science, 1982, 218: 443~448.
- [27] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 43.
- [28] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[M]. 植物生理学通讯. 1997, 33(4): 241~244.
- [29] 陈良华, 弓平, 杨万琴, 等. 巨桉凋落叶分解初期对小白菜光合生理特性的影响[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(2): 174~180.
- [30] 叶子飘, 于强. 光合作用光响应模型比较[J]. 植物生态学报, 2007, 32(6): 1356~1361.
- [31] 陈卓梅, 陈英旭, 杜国坚. 二氧化碳对樟树幼苗生长及光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1650~1656.