

## 遮阴处理对红球姜生长的影响

宋雨欣, 韩维栋\*, 尹若汐, 丘建煌, 杨通文 (广东海洋大学滨海农业学院, 广东湛江 524000)

**摘要** [目的]探讨遮阴处理对红球姜生长的影响。[方法]以红球姜为研究对象,设置3种不同的遮阴处理以及1组对照处理,即遮阴度为30%(T<sub>1</sub>)、55%(T<sub>2</sub>)、75%(T<sub>3</sub>)和自然光(CK),研究不同遮阴强度对红球姜生长情况、叶绿素含量、光合生理及渗透调节物质的影响。[结果]随着遮光强度不断增强,红球姜叶片的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量均呈先增加后降低的趋势,各处理均以T<sub>1</sub>处理最大。净光合速率呈先下降后上升趋势,T<sub>1</sub>处理最小,CK为最大;胞间CO<sub>2</sub>浓度、气孔导度和蒸腾速率均呈先下降后上升趋势,T<sub>2</sub>处理为最小值,水分利用效率呈先上升后下降的趋势,以T<sub>2</sub>处理最高。红球姜叶片净光合速率与气孔导度、蒸腾速率和大气CO<sub>2</sub>浓度呈极显著正相关(P<0.01)。红球姜叶片的可溶性糖和MDA含量随遮阴强度增大而逐渐降低;SOD活性呈先升高后降低的趋势;相对电导率呈先下降后上升趋势,以T<sub>2</sub>处理最小。[结论]综合红球姜生长情况、叶绿素含量、光合生理及渗透调节物质的变化,发现遮阴度55%左右最有利于红球姜植株的生长,说明合适的遮阴环境可以促进红球姜植株的生长发育。

**关键词** 红球姜;遮阴;叶绿素;光合特性;渗透调节物质

中图分类号 S682 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)14-0107-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.026

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Effects of Shading Treatment on the Growth of *Zingiber zerumbet*

SONG Yu-xin, HAN Wei-dong, YIN Ruo-xi et al (Binhai Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524000)

**Abstract** [Objective] To study the effect of shading treatment on the growth of *Zingiber zerumbet*. [Method] Three different shading treatments and a group of control treatments were set up. The shading degrees were 30% (T<sub>1</sub>), 55% (T<sub>2</sub>), 75% (T<sub>3</sub>) and natural light (CK) respectively. The effects of different shading intensities on the growth, chlorophyll content, photosynthetic physiology and osmoregulation substances of *Zingiber zerumbet* were studied. [Result] The results showed that with the increase of shading intensity, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content of red ginger leaves firstly increased and then decreased, and reached the maximum value at T<sub>1</sub> treatment. Net photosynthetic rate firstly decreased and then increased, and it was the minimum value in T<sub>1</sub> treatment and the maximum value in CK treatment. The intercellular CO<sub>2</sub> concentration, stomatal conductance and transpiration rate all showed a downward trend first and then an upward trend, and reached the minimum value in T<sub>2</sub> treatment. WUE increased firstly and then decreased, and reached the maximum value in T<sub>2</sub> treatment. The net photosynthetic rate was positively correlated with stomatal conductance, transpiration rate and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration (P<0.01). With the increase of shading intensity, the soluble sugar content and the MDA of *Zingiber zerumbet* leaves decreased gradually, and the SOD activity showed a trend of first increasing and then decreasing. With the increase of shading intensity, the relative conductivity firstly decreased and then increased, and T<sub>2</sub> treatment was the minimum value. [Conclusion] According to the changes of growth, chlorophyll content, photosynthetic physiology and osmotic regulation substances, it was found that the shade degree of 55% was the most beneficial to the growth of *Zingiber zerumbet*, indicating that the appropriate shade environment could promote the growth and development of *Zingiber zerumbet*.

**Key words** *Zingiber zerumbet*; Shading; Chlorophyll; Photosynthetic characteristics; Osmotic regulating substance

光照是生态系统中最基本的环境组成部分之一,光照为植物的生长提供了能量<sup>[1]</sup>,影响了植物的生长发育,同时又决定着植物的生理变化<sup>[2]</sup>。广东夏季的自然光照强度较高,高光照和高温会抑制植株正常的生理代谢活动。经遮阴处理,可减轻高光照对植物产生的伤害。

姜科植物主要分布在我国南部和西南部<sup>[3]</sup>,在南方园林中可以体现园林景观的地域特色。许多学者对不同姜科品种的耐阴性等进行了一系列研究。前人研究认为,姜科为半阳性植物,具有耐阴性,能忍受较强光照<sup>[4]</sup>。彭昭良等<sup>[5]</sup>研究发现,花叶山姜等姜属植物相对耐阴,春秋姜黄等姜花属植物相对喜阳。

红球姜 [*Zingiber zerumbet* (L.) Smith] 是姜科姜属多年生草本植物<sup>[6]</sup>。红球姜常在园林中作为观赏性植物种植,花为球果状,具有较大的观赏价值。红球姜的花、根茎和嫩茎叶

具有一定的食用和药用价值。笔者探讨不同光照条件下叶绿素含量、渗透调节物质及光合生理的变化,了解红球姜在不同遮阴程度下对光能利用的差异及生理适应机制,为更好地发挥红球姜的生态效益与经济价值提供借鉴。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料与试验地点** 试验材料是从广东海洋大学林地内挖出的红球姜块根,试验在广东海洋大学湖光校区农学实验基地进行。于2021年4月初将球茎大小相同的红球姜块根装入育苗袋中进行育苗,在育苗过程中,对红球姜进行统一的水肥虫害管理。广东海洋大学湖光校区位于广东省湛江市,广东海洋大学试验基地位于110.299 11°E, 21.146 7°N。湛江气候属于亚热带海洋性季风气候,年均温度22.8℃,降雨集中于5—9月,年降雨量1 700~1 800 mm,年日照时数1 864~2 160 h,是我国光热资源丰富的地区之一。

**1.2 试验设计** 在红球姜块根装袋育苗30 d后,于2021年5月初选取生长良好的80株红球姜,均分为4组,每组20株,从育苗袋中移植于试验基地的空白土地上种植,分别搭建3组不同遮阴程度的遮阳网进行遮光处理,另一组作为对照(CK),不进行遮阴处理。遮阳网高度统一设置为1.5 m,

**基金项目** 海洋公益性行业科研专项“基于地理管网技术的受损红树林生态保育研究及示范”(201505028-6);广东海洋大学科研结项项目“滨海耐盐园林植物培育及其应用研究”(A15191)。

**作者简介** 宋雨欣(1998—),女,河南周口人,硕士研究生,研究方向:生态修复。\*通信作者,教授,博士,从事生态学研究。

**收稿日期** 2021-10-10;修回日期 2021-10-25

保证场地内搭建的遮阴网可以将红球姜完全遮住。在自然光照强度下,3组遮阴网分别为1层、2层和3层,通过光照计进行透光率的测定,确定3组遮阴网的遮阴度为30%(T<sub>1</sub>)、55%(T<sub>2</sub>)、75%(T<sub>3</sub>)。每个处理4个重复,遮阴期间进行同样的浇水除草管理。遮阴90d后测定相关指标。

### 1.3 测定指标

**1.3.1 植物生长指标测定。**遮阴处理90d后观察植株的生长发育情况,分别测量各遮阴处理下红球姜植株的株高、叶长和叶宽值。

**1.3.2 叶绿素含量的测定。**采用分光光度法测定4个不同遮阴处理下红球姜叶片的叶绿素含量<sup>[7]</sup>。

**1.3.3 光合参数的测定。**在天气晴朗的上午,9:30—11:00使用Ciras-3便携式光合仪,测定4个遮阴处理下红球姜成熟型功能叶的光合参数。

**1.3.4 渗透调节物质的测定。**每处理摘取4株长势处于平均水平的第4~6张成熟功能叶,用于生化指标的测定。渗透调节物质测定包括超氧化物歧化酶(SOD)活性、可溶性糖含量、电导率和丙二醛(MDA)含量。

**1.4 数据处理** 使用Excel和SPSS软件进行相关数据的整理分析与制图。

## 2 结果与分析

**2.1 不同遮阴处理对红球姜生长状况的影响** 由表1可知,CK的红球姜植株高度较矮,平均为89.750cm,叶片阳光灼伤情况较为严重。T<sub>1</sub>处理的红球姜株高明显增大,较CK增长64.35%,且T<sub>1</sub>处理的红球姜株型较大,但部分已有倒伏趋势。T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理的株高差距相对较小,相比CK条件下,株高增幅为17.27%、21.17%。CK与T<sub>1</sub>和T<sub>3</sub>处理的株高差异显著,T<sub>1</sub>处理与T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理差异显著( $P<0.05$ )。红球姜叶长、叶宽变化幅度相对较小,且各处理的叶长与叶宽均无显著差异( $P>0.05$ )。

**2.2 不同遮阴处理对红球姜叶片叶绿素含量的影响** 由表2可知,随着遮光强度不断增强,各处理红球姜的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量均呈先增加后降低的趋势,在T<sub>1</sub>处理最大,CK最小。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理叶绿素总量均大于CK,分别较CK增长49.785%、26.180%和15.451%。叶绿素a/b呈先降低后增加趋势,以T<sub>1</sub>处理最小,T<sub>3</sub>处理最大。CK与T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>处理叶绿素a差异显著,T<sub>1</sub>与T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理差异显著

( $P<0.05$ );CK与T<sub>1</sub>处理叶绿素b差异显著,T<sub>1</sub>与T<sub>3</sub>处理差异显著( $P<0.05$ );CK与T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>处理叶绿素总量差异显著,T<sub>1</sub>和T<sub>3</sub>处理差异显著( $P<0.05$ );在不同遮阴处理下叶绿素a/b无显著差异( $P>0.05$ )。

表1 不同遮阴处理下红球姜植株生长情况

Table 1 Growth of *Zingiber zerumbet* under different shading treatments

处理 Treatment	植株高度 Plant height	叶片长度 Leaf blade length	叶片宽度 Leaf blade width
CK	89.750±10.639 c	28.380±1.474 a	7.300±0.570 a
T <sub>1</sub>	147.500±3.841 a	30.500±2.092 a	7.200±0.941 a
T <sub>2</sub>	105.250±9.975 bc	28.500±2.511 a	7.625±0.482 a
T <sub>3</sub>	108.750±6.379 b	27.030±1.582 a	7.900±0.367 a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

表2 不同遮阴处理下红球姜叶片叶绿素含量

Table 2 Chlorophyll content in *Zingiber zerumbet* leaves under different shading treatments

处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a mg/g	叶绿素 b Chlorophyll b mg/g	叶绿素总量 Total chlorophyll mg/g	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
CK	0.172±0.017 c	0.061±0.006 b	0.233±0.023 c	2.799±0.035 a
T <sub>1</sub>	0.256±0.016 a	0.093±0.010 a	0.349±0.026 a	2.760±0.124 a
T <sub>2</sub>	0.217±0.008 b	0.076±0.003 ab	0.294±0.010 b	2.840±0.022 a
T <sub>3</sub>	0.200±0.014 bc	0.069±0.006 b	0.269±0.020 bc	2.886±0.056 a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

### 2.3 不同遮阴处理对红球姜叶片光合生理的影响

**2.3.1 光合参数。**由表3可知,测量期间,大气压强为1 011 Pa,大气CO<sub>2</sub>浓度在385.000~387.300 μmol/mol。环境温度由开始测量时的34.400℃上升到38.575℃。随着遮阴程度的增大,气室温度和叶面温度呈现先下降后上升的趋势,T<sub>2</sub>处理最小。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理下的气室温度分别为CK的0.979、0.859和0.901倍。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理下的叶面温度分别是CK的0.990、0.848和0.912倍。CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理气室温度差异显著( $P<0.05$ )。除了CK与T<sub>1</sub>处理叶面温度无显著差异( $P>0.05$ ),其他处理间差异显著( $P<0.05$ )。

表3 不同遮阴处理下红球姜的生理生态因子

Table 3 Physiological and ecological factors of *Zingiber zerumbet* under different shading treatments

处理 Treatment	环境温度 Environment temperature//℃	气室温度 Temperature of the air chamber//℃	叶面温度 Leaf temperature//℃	气压 Air pressure//Pa	大气CO <sub>2</sub> 浓度 Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration//μmol/mol
CK	34.400±1.302 b	47.355±0.183 a	48.815±0.540 a	1 011 a	386.700±0.900 ab
T <sub>1</sub>	37.800±2.353 a	46.355±0.811 b	48.315±0.751 a	1 011 a	385.000±1.789 c
T <sub>2</sub>	34.240±1.479 b	40.680±0.613 d	41.380±0.632 c	1 011 a	387.300±1.735 a
T <sub>3</sub>	38.575±0.409 a	42.690±1.116 c	44.505±1.213 b	1 011 a	385.850±1.490 bc

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

由表4可知,红球姜的净光合速率以CK最高,达3.450 μmol/(m<sup>2</sup>·s),经遮阴处理后,净光合速率下降,均低

于CK。T<sub>1</sub>处理净光合速率最小[2.318 μmol/(m<sup>2</sup>·s)],是CK的0.672倍。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理的红球姜净光合速率逐渐

增大,并接近于自然光下红球姜的净光合速率。随着遮阴程度的增大,红球姜叶片的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度和蒸腾速率呈先下降后上升的趋势,T<sub>2</sub> 处理为最小值,T<sub>3</sub> 处理又上升。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度在 T<sub>2</sub> 处理为最小值,且分别是 CK 的 0.862 和 0.340 倍。蒸腾速率以 CK 最高,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理降低,分别是 CK 的 0.443、0.274 和 0.352 倍。遮阴处理后红球姜

叶片的水分利用效率增大,T<sub>2</sub> 处理[1.642 mmol/(m<sup>2</sup>·s)]最高,是 CK[0.356 mmol/(m<sup>2</sup>·s)]的 4.612 倍。净光合速率,T<sub>1</sub> 处理与 CK 显著性差异(P<0.05);胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率和气孔导度,CK 与其他处理均差异显著(P<0.05)。水分利用效率,T<sub>2</sub> 处理与 CK、T<sub>3</sub> 处理差异显著(P<0.05)。

表 4 不同遮阴处理下红球姜的光合参数

Table 4 The photosynthetic parameters of *Zingiber zerumbet* under different shading treatments

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate μmol/(m <sup>2</sup> ·s)	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration//μmol/(m <sup>2</sup> ·s)	气孔导度 Stomatal conductance mol/(m <sup>2</sup> ·s)	蒸腾速率 Transpiration rate mmol/(m <sup>2</sup> ·s)	水分利用效率 Water use efficiency mmol/(m <sup>2</sup> ·s)
CK	3.450±0.990 a	319.050±10.920 a	0.206±0.060 a	9.786±1.907 a	0.356±0.094 c
T <sub>1</sub>	2.318±0.809 b	285.550±27.910 b	0.078±0.055 b	4.336±2.411 b	0.617±0.262 ab
T <sub>2</sub>	2.823±0.806 ab	274.923±49.842 b	0.070±0.050 b	2.681±1.891 b	1.642±0.921 a
T <sub>3</sub>	3.112±1.235 ab	292.200±21.075 b	0.087±0.055 b	3.448±1.681 b	0.907±0.302 b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments(P<0.05)

**2.3.2 各生理生态因子之间的相关性。**由表 5 可知,红球姜叶片净光合速率与气孔导度、蒸腾速率和大气 CO<sub>2</sub> 浓度呈极显著正相关(P<0.01),其中相关性表现为气孔导度>蒸腾速率>大气 CO<sub>2</sub> 浓度。红球姜叶片气孔导度与大气 CO<sub>2</sub> 浓度呈显著正相关(P<0.05);红球姜叶片的气孔导度与多个因子之间存在极显著正相关(P<0.01),分别为净光合速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率、气室温度、叶面温度,其中蒸腾速率和气孔导度的相关性最大,为 0.962;其次是气孔导度与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,相关性为 0.701。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与气室温度呈显著正相关(P<0.05)。蒸腾速率与多个因子之间存在极显著正

相关(P<0.01),相关性的大小表现为气孔导度>胞间 CO<sub>2</sub> 浓度>气室温度>叶面温度>净光合速率。叶面温度与气孔导度、蒸腾速率、气室温度、环境温度呈极显著正相关(P<0.01)。遮阴度与大多数因子之间存在极显著负相关(P<0.01),表现为气室温度>叶面温度>蒸腾速率>气孔导度>胞间 CO<sub>2</sub> 浓度;遮阴度和净光合速率无显著相关性(P>0.05)。除此之外,大气 CO<sub>2</sub> 浓度与气室温度和叶面温度、环境温度呈极显著负相关(P<0.01);环境温度与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和大气 CO<sub>2</sub> 浓度呈极显著负相关(P<0.01)。

表 5 红球姜光合因子之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between photosynthetic factors of *Zingiber zerumbet*

参数 Parameter	净光合速率 Net Photosyn- thetic rate	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub>	气孔导度 Stomatal conductance	蒸腾速率 Transpiration rate	大气 CO <sub>2</sub> 浓度 Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	气室温度 Temperature of the air chamber	叶面温度 Leaf temperature	环境温度 Environment temperature	遮阴度 Shade degrees
净光合速率 Net photosynthetic rate	1								
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub>	0.066	1							
气孔导度 Stomatal conductance	0.628**	0.701**	1						
蒸腾速率 Transpiration rate	0.522**	0.675**	0.962**	1					
大气 CO <sub>2</sub> 浓度 Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	0.321**	0.175	0.233*	0.154	1				
气室温度 Temperature of the air chamber	0.016	0.239*	0.494**	0.663**	-0.377**	1			
叶面温度 Leaf temperature	0.005	0.212	0.467**	0.629**	-0.408**	0.984**	1		
环境温度 Environment temperature	-0.194	-0.343**	-0.202	-0.158	-0.561**	0.293*	0.386**	1	
遮阴度 Shade degrees	-0.061	-0.313**	-0.521**	-0.676**	-0.020	-0.806**	-0.733**	0.208	1

注:\*,\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平显著相关

Note:\*,\*\* indicate significant correlation at the level of 0.05 and 0.01 respectively

**2.4 叶片渗透调节物质** 由表 6 可知,随着遮阴度的增强,红球姜叶片可溶性糖的含量逐渐减少,遮阴处理后的可溶性糖含量较 CK 分别降低了 22.151%、30.941% 和 34.259%,且 CK 与其他 3 个处理差异显著(P<0.05);T<sub>1</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理差异显著(P<0.05)。随着遮阴强度的增强,红球姜叶片 SOD 活性呈现先升高后降低的趋势,遮阴处理的 SOD 活性均高于 CK,且 T<sub>2</sub> 处理达到最大,为 6.744 U/g。红球姜在不同遮阴程度下叶

片 SOD 活性变化起伏较小,各处理间无显著差异(P>0.05)。红球姜叶片的相对电导率随着遮阴度的增强先下降后上升,且 T<sub>2</sub> 处理的相对电导率比 CK 降低了 22.826%,T<sub>2</sub> 处理下的相对电导率与其他 3 个处理均有显著差异(P<0.05)。随着遮阴强度的增强,红球姜叶片 MDA 含量呈现逐渐降低的趋势,且 CK 的 MDA 含量与 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理间均差异显著(P<0.05),T<sub>1</sub> 处理与 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理间差异显著(P<0.05)。

表 6 不同遮阴处理下红球姜的渗透调节物质

Table 6 Osmotic regulation substances in *Zingiber zerumbet* under different shading treatments

遮阴处理 Shading treatment	可溶性糖 Soluble sugar mg/g	SOD 活性 Superoxide dismutase U/g	相对电导率 Relative conductivity %	MDA 含量 Malondialdehyde nmol/mL
CK	134.174±4.925 a	5.460±0.957 a	9.200±0.050 a	105.135±6.852 a
T <sub>1</sub>	104.453±3.619 b	6.179±0.540 a	7.700±0.680 ab	62.793±9.574 b
T <sub>2</sub>	92.659±0.763 bc	6.744±0.276 a	7.100±0.300 c	45.495±3.950 c
T <sub>3</sub>	88.207±3.592 c	6.228±0.776 a	8.100±0.250 ab	45.225±0.775 c

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments( $P<0.05$ )

### 3 结果与讨论

**3.1 不同遮阴程度对红球姜生长状况的影响** 红球姜在遮阴处理下株高差距较大,叶长、叶宽无明显变化。无遮阴处理(CK)的红球姜相比遮阴处理较为低矮,且出现了叶片灼伤以及个别死亡的现象。T<sub>1</sub>处理红球姜株高最高,但叶片相对卷曲,植株倒伏现象比较严重。T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理的红球姜生长情况无显著差异,植物长势较好。这是由于在强光照情况下,红球姜植株水分蒸腾较多,含水量减小,维管束发达,叶片比较硬挺,较强的光照能够促进产生更多的光合产物,有利于根系发育和生长。遮阴条件下,植物生长主要受光照强度限制,往往通过形态和生理的响应来适应,红球姜植株为了捕获更多的光能,地上部分的生物量增大,茎叶会分配更多的光合产物<sup>[5]</sup>,维管束不发达,植株容易倒伏<sup>[8]</sup>。

**3.2 不同遮阴程度对红球姜叶片叶绿素含量的影响** 植物光合色素的含量影响植物吸收光能的能力及光合作用的进程,叶绿素 a 主要体现在植物对太阳光中红光的吸收能力,而叶绿素 b 主要体现在植物对太阳光中蓝紫光的吸收能力<sup>[9]</sup>。叶绿素含量与叶绿素 a 和叶绿素 b 具有相关性,因此叶绿素含量的增加,同时体现在叶绿素 a 和叶绿素 b 含量的增加上。叶绿素 b 的含量,在遮阴处理(T<sub>1</sub>)下与 CK 下差异显著,且叶绿素 a/b 在 T<sub>1</sub> 处理下为最小值。说明在遮阴处理下,红球姜叶片通过增加叶绿素 b 的含量吸收更多的蓝紫光,提高叶片对漫射光中蓝光的利用率<sup>[10]</sup>,通过提高叶片叶绿素的含量,捕获更多的光能进行光合作用,加强对弱光的利用。T<sub>1</sub>处理的红球姜叶片叶绿素含量最高,叶绿素 a/b 最低,说明 T<sub>1</sub>处理的叶片有较强的吸光能力。在 T<sub>2</sub>和 T<sub>3</sub>处理,叶绿素的含量有所下降,但始终高于 CK,说明在遮阴程度增大的过程中,红球姜植株减少了色素含量,通过降低光合作用来适应遮阴环境。

**3.3 不同遮阴程度对红球姜叶片光合生理的影响** 净光合速率的大小是体现植物叶片光合作用的能力<sup>[11]</sup>。在不同光照强度处理下,红球姜叶片净光合速率与气孔导度、蒸腾速率和大气 CO<sub>2</sub> 浓度呈极显著正相关( $P<0.01$ ),说明在不同遮阴处理下,影响红球姜净光合速率的主要生理生态因子是蒸腾速率、大气 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度是胞间未参与光合作用的 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[12]</sup>。随着遮阴程度的加强,红球姜叶片的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈先下降后上升的趋势,T<sub>2</sub> 处理下为最小值,说明在 T<sub>2</sub> 处理时,能量转化效率较高,胞间未被利用的 CO<sub>2</sub> 较少。通过相关性分析发现,红球姜遮阴度与胞

间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度、蒸腾速率、气室温度和叶面温度呈极显著负相关( $P<0.01$ ),说明在遮阴处理后,遮阴环境内光照强度和温度降低,降低了红球姜叶片的温度,红球姜叶片的气孔导度和蒸腾速率明显减少。蒸腾速率与净光合速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度、气室温度和叶面温度呈极显著正相关( $P<0.01$ )。说明在遮阴处理后,植株的叶片温度降低,减少了叶片水分的蒸发,同时叶片的气孔导度降低,减少了植物的蒸腾速率,进而减少了能量损耗。前人研究发现,气孔导度和植株叶片叶肉细胞光合能力的下降是影响植物光合速率的主要原因<sup>[13]</sup>。而在该试验中,红球姜光合速率下降的原因为气孔导度的限制。红球姜叶片的净光合速率在自然光下最大,说明在遮阴处理后,红球姜植株叶片捕获的光能减少,引起净光合速率下降;而 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理净光合速率上升,说明随着遮阴程度的增强,植株叶片的光合能力增强。水分利用效率体现了植物的能量转换效率<sup>[14]</sup>。随着遮阴程度增强,红球姜的水分利用效率呈现先上升后下降的趋势,说明随着遮阴强度的增强,红球姜植株的能量利用效率增加;在 T<sub>2</sub> 处理时,红球姜植株的水分利用效率最大,能更好地将光能转化为化学能。

**3.4 不同遮阴程度对红球姜叶片渗透调节物质的影响** 红球姜在不同的遮阴处理下,通过渗透调节物质含量变化,可以发现植株是否受到胁迫。可溶性糖是叶片中主要渗透调节物质,叶片受到的胁迫越大,植株会分泌越多的可溶性糖来抵抗胁迫。红球姜在 T<sub>2</sub>和 T<sub>3</sub>处理可溶性糖含量相对较低,说明遮阴处理减轻了强烈光照对红球姜的伤害,分泌了较少的可溶性糖。植物的 SOD 活性可以使保护膜不受自由基的损害<sup>[15]</sup>。红球姜在不同遮阴程度下叶片 SOD 活性无显著差异,说明不同的光照强度对于红球姜 SOD 活性无显著影响。MDA 含量越大,说明膜脂过氧化作用越强<sup>[16]</sup>,植物细胞受到的损害越重。相对电导率体现了叶片质膜的透性,叶片受损程度越高,质膜透性越大。随着遮阴强度的增加,红球姜的相对电导率先降低后升高,T<sub>2</sub>处理为最小值,表明光照过强可能造成红球姜叶片细胞膜损伤,质膜透性增强。红球姜的相对电导率和 MDA 含量在 T<sub>2</sub>和 T<sub>3</sub>处理下较低,说明植株叶片细胞膜的受损程度最小,具有较强的活性。

### 4 结论

光照不足会限制植物的光合作用,而合适的遮阴条件则可以提高红球姜植株的光能利用率,更好地发挥红球姜的优良特性。在遮阴处理下,红球姜接收的实际光照减少,植株

通过增加叶绿素的含量,在弱光下捕获和吸收更多的光照,用于光合作用<sup>[17]</sup>。同时,遮阴度大于 55% 时,叶绿素含量稍有降低,说明随着遮阴程度的增大,红球姜植株通过降低光合作用来适应遮阴环境。在不同光照强度下,影响红球姜净光合速率的主要生理生态因子分别是气孔导度、蒸腾速率和大气 CO<sub>2</sub> 浓度,其中气孔导度对净光合速率的影响最大,其次是蒸腾速率和大气 CO<sub>2</sub> 浓度。该研究发现,在遮阴环境下,红球姜净光合速率下降,植株叶片减小了气孔导度,进而降低了蒸腾速率,减少了植株能量的损耗,从而帮助植株适应弱光环境,维持自身的生长发育。红球姜的水分利用效率在遮阴 55% 时最高,说明此时能量转换效率最高,可以更好地将光能转化为化学能。遮阴度 55% 以上时,红球姜的生理胁迫较小,有利于红球姜的生长发育。综上所述,遮阴度 55% 左右红球姜植株的生长情况较好,植株叶片含有较多的叶绿素,植株的能量转换效率最高,生理胁迫较小,有利于红球姜植株的生长。

### 参考文献

- [1] 黄波,郑晨琪,钱莲文,等.青钱柳繁殖和人工幼林栽培研究进展[J].福建林业科技,2020,47(4):114-118.
- [2] 陈乾,邓智文,黄丽婷,等.遮阴对福建柏幼苗生理特性和叶绿素荧光特性的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2021,50(2):223-229.
- [3] WU T L, LARSEN K. Zingiberaceae [M]//WU Z Y, RAVEN P. Flora of China. Beijing: Science Press, 2000: 1.

(上接第 103 页)

的蕙兰根部温度和基质含水量变化幅度较大,均受到天气影响,这说明温室为植物提供了较为稳定的生长条件,这也是温室中养花较为安全的原因。温室和林下栽培的蕙兰平均生根率和平均发芽率在各个季节无显著差异。但是蕙兰平均生根率和平均发芽率温室栽培以夏季最高,而林下栽培蕙兰的平均生根率和平均发芽率在春季最高。

### 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志:第 18 卷 被子植物门 单子叶植物纲 兰科[M].北京:科学出版社,1999:219-222.
- [2] 陈心启,吉占和.中国兰花全书[M].北京:中国林业出版社,1998.
- [3] LV S S, FU Y, CHEN J, et al. Six phenanthrenes from the roots of *Cymbidium faberi* Rolfe and their biological activities[J]. Natural product research, 2022, 36(5): 1170-1181.
- [4] 宋军阳,张显,弓弼,等.秦岭商洛地区兰属植物资源野外调查初报[M]//张启翔.中国观赏园艺研究进展(2010).北京:中国林业出版社,2010:94-97.
- [5] SONG J Y, ZHANG N. The photosynthetic characteristics of wild *Cymbidium faberi* rolfe in the Qinling mountains, China [J]. Bangladesh journal of

(上接第 106 页)

- [14] 金荷仙. 寺庙园林意境的表现手法[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(4): 450-455.
- [15] 李冬梅, 张建哲, 陈允世. 浅论中国传统哲学与寺庙园林[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6): 181-184.
- [16] 史弘. 建园以远俗 筑圃见道心: 中国古典园林的道家文化性格[J]. 华中建筑, 1995, 13(3): 19-20, 22.
- [17] 付美云, 高迟, 彭蝶飞. 南岳大庙植物景观旅游价值分析[J]. 中南林业调查规划, 2002, 21(2): 63-64.
- [18] 赵从笑, 李明红, 胡春辉, 等. 南岳衡山古树名木资源现状及特征分析

- [4] 欧云锋. 姜科热带分布与高山分布类群传粉生物学的比较[D]. 广州: 华南师范大学, 2010.
- [5] 彭昭良, 宋凤鸣, 黄威龙, 等. 不同光照强度对 9 种姜科植物生长的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(2): 29-35.
- [6] 吴相欢, 田民义, 赵晓歌, 等. 球姜酮对照品的制备[J]. 中成药, 2021, 43(3): 746-749.
- [7] 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: 134-137.
- [8] 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.
- [9] 王梅, 徐正茹, 张建旗, 等. 遮阴对 10 种野生观赏植物生长及生理特性的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(5): 1008-1016.
- [10] 汪越, 刘楠, 任海, 等. 紫背天葵 (*Begonia fimbristipula* Hance) 叶片形态和生理生态特征对不同光强的响应[J]. 生态环境学报, 2015, 24(6): 957-964.
- [11] 武冲, 张晓敏, 尹燕雷, 等. 遮阴对红叶樱花光合速率和叶绿素荧光参数的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(2): 48-53.
- [12] 许大全. 光合速率、光合效率与作物产量[J]. 生物学通报, 1999, 34(8): 8-10.
- [13] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual review of plant physiology, 1982, 33: 317-345.
- [14] 李湘钰, 高疆生, 吴翠云, 等. 不同光照强度对骏枣叶片光合作用的影响研究[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(2): 227-234.
- [15] 李冬, 申洪涛, 王艳芳, 等. 干旱胁迫下外源硫化氢对烤烟幼苗光合荧光参数及抗氧化系统的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(9): 1609-1617.
- [16] 张琨, 王琦, 张玫云. 高温胁迫时长对菜心幼苗生理指标的影响研究[J]. 上海蔬菜, 2021(4): 77-79, 85.
- [17] GEÓCZE K C, BARBOSA L C A, FIDÊNCIO P H, et al. Essential oils from pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem[J]. Food research international, 2013, 54(1): 1-8.

botany, 2018, 47(3): 805-813.

- [6] 徐玲玲, 张焱, 赵明阳, 等. 菌根真菌对白及种子萌发和幼苗生根的作用[J]. 菌物学报, 2019, 38(9): 1440-1449.
- [7] 高燕燕, 杭焱, 刘剑东, 等. 兰科药用植物共生真菌促进种子萌发研究进展[J]. 植物生理学报, 2020, 56(2): 141-150.
- [8] 徐玲玲, 赵明阳, 李菁, 等. 不同海拔的三种杓兰属植物与菌根真菌群落组成相关性[J]. 菌物学报, 2019, 38(6): 811-821.
- [9] 徐玲玲, 张焱, 周敏, 等. 三种杓兰根相关真菌多样性和生态功能[J]. 微生物学通报, 2019, 46(9): 2134-2145.
- [10] 梁红艳, 姜效雷, 孔玉华, 等. 气候变暖背景下春兰和蕙兰的适生区分布预测[J]. 生态学报, 2018, 38(23): 8345-8353.
- [11] LIANG H Y, WANG X G, CHEN W, et al. Spatial genetic structure of terrestrial orchid *Cymbidium faberi* in the Qinling Mountains revealed by microsatellite loci [J]. Plant systematics and evolution, 2021, 307(1): 1-8.
- [12] XU Y Q, ZHOU J J, LIU Q Q, et al. Construction and characterization of a high-quality cDNA library of *Cymbidium faberi* suitable for yeast one- and two-hybrid assays [J]. BMC biotechnology, 2020, 20: 1-9.
- [13] 樊婷丽, 曲静. 西安地区气候特征对秋粮作物的影响[J]. 现代农业科技, 2019(2): 22-23.
- [14] 陈媛, 甘家兵, 李珊, 等. 我国栓皮栎和麻栎木材的主要化学组成分析[J]. 木材工业, 2019, 33(6): 54-58.
- [15] 张西, 贾黎明, 张瑜, 等. 基于 FVS 的秦岭地区栓皮栎天然次生林单木模型构建[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(5): 19-29.

[J]. 湖南林业科技, 2015, 42(6): 106-110.

- [19] 王蕾. 中国寺庙园林植物景观营造初探[J]. 林业科学, 2007, 43(1): 62-67.
- [20] 管欣. 中国佛教寺庙空间的意境塑造[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2006, 15(2): 116-119.
- [21] 邱德玉. 试议我国古典园林与古典文学的关系[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2003, 2(3): 44-47.
- [22] 张齐政. 南岳寺庙建筑论[J]. 衡阳师范学院学报(社会科学), 2003, 24(5): 104-109.
- [23] 张赛斌. 论南岳文化中“和”的积淀[J]. 南华大学学报(社会科学版), 2009, 10(3): 1-3.