

夜间光照和不同叶位对石楠叶片叶绿素荧光特征的影响

胡小瑛,景琦,韩佳怡,武悦萱,封程越,张蓓蓓*

(陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室/宝鸡文理学院 地理与环境学院,陕西 宝鸡 721013)

摘要:为了分析夜间光照状态和叶位的叶绿素荧光特性,以景观植物石楠叶片为材料进行研究,对夜间光照和叶位对石楠叶片叶绿素荧光参数、荧光诱导动力学曲线的影响进行研究分析。结果表明:无灯光照明状态下的初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)值均高于有灯光照明处理下的荧光值;有灯光照明中位处的 F_v/F_m 值和 PI_{abs} 值最高,说明此处叶片光化学性能最强,生长环境最适;单位反应中心吸收的光能(ABS/RC)、单位反应中心捕获的光能(TR_0/RC)、单位反应中心用于电子传递的能量(ET_0/RC)、单位反应中心耗散掉的能量(DI_0/RC)的值均以无灯光照明低位处最高,比活性参数随着光强和叶位的升高呈先减少后增加的趋势,并存在显著性差异;6种处理下的 OJIP 曲线变化趋势大致相同,无光照条件下 OJIP 曲线整体大于有光照条件下叶片的荧光值,有光照处理下的叶片存在有显著性差异,不同叶位处叶片的 OJIP 曲线在无灯光照明状态下无明显差异。

关键词:石楠;灯光;叶位;叶绿素荧光动力学

1 引言

近年来城市化建设、夜景经济、国内外重大实践活动等多重有利因素带动了城市夜景照明需求的持续、快速增长^[1]。光照是植物生长生存发展过程中的重要工作条件。植物在光照状态下吸收光能,进行光合作用,以合成自身生长发育过程中所需要的有机物质,为自身的生长发育提供了物质基础,进而促进植物生长发育^[2]。城市夜景照明对植物的生长发育及生理生态产生影响的原因是因为其增加了植物的夜间光照时间^[3]。根据学习前人对某些经济植物进行的研究可以发现:夜间照明破坏了植物的生物钟节律,影响植物花芽和冬芽的形成以及休眠^[4~5]。龙作义等给树木延长光照时间促进了其生长发育^[6]。光照强度不仅是一种环境因子,还是一种环境信号,它通过植物体的光敏色素对植物的生长发育过程产生影响^[7]。在夜间照明的影响下,植物叶片所能够接收到的光照强度差异于处于自然状态下所能够接收到的光强,进而对植物直接产生影响^[7]。

在植物光合作用研究中的光系统间的能量传递、荧光淬灭分析和环境逆境生理的研究中,叶绿素荧光动力学发挥着不可替代的重要作用^[8]。叶绿素荧光动力学可以实现在自然环境条件下或在

原位状态下,以含有叶绿体的器官组织细胞或完整植物叶片为材料,对光合作用动态变化特征进行精确分析测定和研究,以及各种自然外界因子对植物产生的微小影响进行探究^[9]。近年来,在植物生理生态测试技术的不断发展下,国内外学者对城市夜景照明光污染下的叶绿素荧光动力学进行了大量的研究和分析^[10~15]。石楠适宜较温暖较湿润的气候,喜光且耐荫,主要种植在我国长江和秦岭以南地区,少量在华北地区^[16]。石楠萌发能力强、耐修剪,具有一定的观赏价值,因此被广泛用于园林设计中。本试验以石楠为研究对象,分析在夜景照明和不同叶位下叶片的叶绿素荧光差异,为石楠在园林栽培中提供可靠的理论基础。

2 材料与方法

2.1 试验地概况与试验材料

试验地为陕西省宝鸡市渭滨区高新大道道路南侧,地处东经 $107^{\circ}22'$,北纬 $34^{\circ}35'$,位于秦岭以北关中平原地区。试验材料为蔷薇科植物——石楠(*Photinia serratifolia* Kalkman),是园林设计中常用的观赏常绿小乔木之一^[17]。试验阶段天气晴朗,无风,适合进行植物荧光参数的测定。

收稿日期:2020-04-07 修回日期:2020-04-20

基金项目:2018年省级大学生创新训练项目(201835031)和校级大学生创新训练项目(2018XJ011)。

第一作者简介:胡小瑛(1998-),女,陕西西安人,本科生。

通信作者:张蓓蓓(1983-),女,河南沈丘人,教授,博士,研究方向:植物生理生态学。

2.2 试验方法

于2019年10月20日晚上20:00—23:30选取有无灯光照射条件下健康无虫害的高、中、低三个叶位的叶片(各三片)进行20 min暗适应,采用便携式叶绿素荧光仪(MINI-PAM, WALZ, German)测定自然环境条件下石楠叶片的叶绿素荧光参数和快速诱导动力学曲线(OJIP)。测定参数内容包括:初始荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、PSII

的最大光化学效率(F_v/F_m)、光化学性能指数(PI_{abs}),比活性参数:单位反应中心可以吸收的光能(ABS/RC)、单位反应中心捕获的光能(TR_o/RC)、单位反应中心用于电子传递的能量(ET_o/RC)、单位反应中心耗散掉的能量(DI_o/RC)^[18-19],并绘制叶绿素荧光动力学(OJIP)曲线。

表1 试验处理

处理	Y1	Y2	Y3	W1	W2	W3
灯光照明	有	有	有	无	无	无
叶位	高位	中位	低位	高位	中位	低位

2.3 数据分析

采用SPSS 24.0 统计分析软件对数据进行单因素方差分析、LSD 多因素比较分析, Origin 2018 进行作图。

3 结果与分析

3.1 灯光照明和不同叶位对 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 及 PI_{abs} 差异分析

初始荧光(F_o)与PSII反应中心活性相关,是光合系统在暗适应时PSII中心全部开放时的荧

光强度^[20-21]。最大荧光(F_m)代表光合机构在已经暗适应的情况下全部PSII中心都关闭时的荧光强度^[22]。由图1可知,在有光照条件下,荧光值随着叶位的降低而升高, Y3处 F_o 、 F_m 均达到最大值,并且与其他叶位之间存在显著性差异;无光照条件下, W1处 F_o 、 F_m 均有最大值,各叶位之间不存在显著性差异。相比之下,无光照条件下叶片 F_o 、 F_m 值均高于有光照条件下的叶片荧光值从大到小依次为: $W1 > W2 > W3 > Y3 > Y2 > Y1$ 。

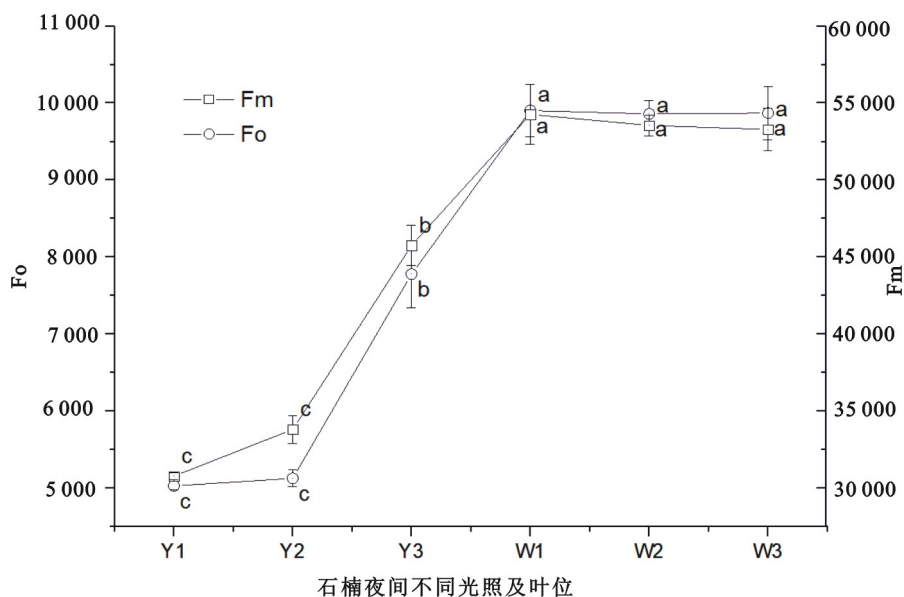


图1 夜间灯光照射和不同叶位的 F_o 及 F_m 差异分析

PSII 的最大光化学效率(F_v/F_m)反映PSII反应中心内原初光能的转换效率,是能够良好表现光抑制程度的指标^[23]。由图2可知,在有光照条件下, F_v/F_m 在 Y2 处达到最大值,与其他叶

位之间存在显著性差异;无光照条件下, W1 处出现有最大值,荧光值随着叶位的降低而升高,叶位之间不存在显著性差异。相比之下,无光照条件下叶片 F_o 、 F_m 值均高于有光照条件下的叶片,

荧光值从大到小依次为 Y2>Y1>Y3>W1>W2>W3。光化学性能指数(PIabs)包括三个内容:光能的吸收、光能的捕获和电子传递,以反映光系

统的活性^[18]。结合 PIabs 来看,在有光照条件下石榴叶片各叶位之间存在显著性差异。

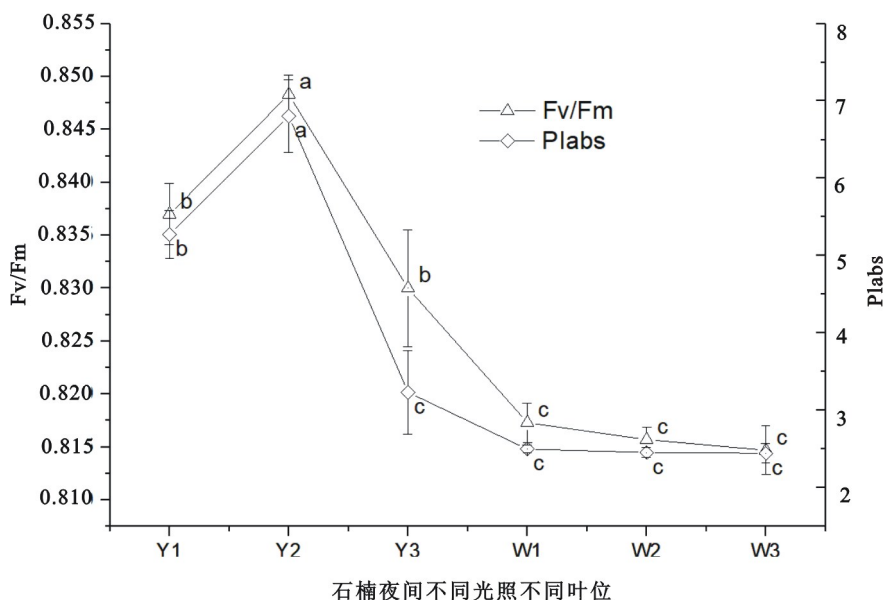


图 2 夜间灯光照射和不同叶位的 Fv/Fm 及 PIabs 差异分析

3.2 灯光照明和不同叶位比活性参数差异分析

ABS/RC、TRo/RC、ETo/RC、DIo/RC 分别反映 PSII 系统单位反应中心对光能的吸收,捕获,传递以及耗散的能量^[18~19]。由表 2 可知,有光照条件下 ABS/RC、TRo/RC、ETo/RC、DIo/RC 值呈现中位<高位<低位的变化趋势。在 Y3 处 ABS/RC、TRo/RC、ETo/RC、DIo/RC 的值有最大值,说明有光照低叶位处叶片的单位反

应中心用于心吸收、捕获,传递和耗散的能量最多。在无光照条件下不同叶位虹之间的不存在显著性差异。无光照条件下叶片 ABS/RC、TRo/RC、ETo/RC、DIo/RC 普遍高于有光照条件下的叶片。两种光照条件之间存在显著性差异。对比 F 值发现,ABS/RC、TRo/RC、ETo/RC、DIo/RC 均存在极显著性差异,其中 DIo/RC 的差异性最大,ETo/RC 的差异性最小。

表 2 夜间灯光照射和不同叶位的 ABS/RC、TRo/RC、ETo/RC、DIo/RC 差异分析

处理	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DIo/RC
Y1	1.01±0.01c	0.91±0.01c	0.48±0.01c	0.17±0.01c
Y2	1.01±0.02c	0.86±0.02c	0.47±0.01c	0.15±0.01c
Y3	1.38±0.07b	1.14±0.05b	0.53±0.01b	0.23±0.01b
W1	2.06±0.02a	1.69±0.02a	0.90±0.01a	0.37±0.01a
W2	2.06±0.04a	1.68±0.03a	0.89±0.02a	0.38±0.01a
W3	2.11±0.03a	1.72±0.02a	0.93±0.01a	0.39±0.01a
F 值	155.09**	171.41**	98.77**	356.06**

注:表中数据为平均值±标准误;不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

3.3 灯光照射和不同叶位叶片的叶绿素荧光动力学曲线差异分析

叶绿素荧光在光暗转移的过程中,达到最终稳态发射时的所有变化即为叶绿素荧光诱导^[8~9]。叶绿素荧光诱导曲线是指在持续光照

下,单位工作时间(t)的荧光产量^[8]。经过暗适应处理后的叶片突然暴露在光照下时,叶片绿色组织会在极短时间发出的荧光强度会发生剧烈变化^[24]。可通过对植物的叶绿素荧光快速诱导曲线中的四个拐点(O、J、I、P)研究分析,反映出

PSII 反应中心原初光化学反应的信息^[25]。在通常情况下,O 点是刚暴露在光下的最低荧光点,最高峰点是 P 点,而这两点(O 点和 P 点)之间的荧光变化过程就是叶绿素荧光诱导动力学曲线^[26]。

由图 3 可知,Y1、Y2、Y3、W1、W2、W3 的 OJIP 曲线在 O 点处没有明显差异。在 J 点(2 ms)处以无光照条件下叶片的荧光值较高,各叶

位之间不存在显著性差异;有光照条件下,随着叶位的降低,荧光值呈升高趋势,各叶位之间存在显著性差异。在 I 点(30 ms)处,各处理之间荧光值的差异逐渐增大,无光照仍高于有光照的荧光值。有光照条件下各叶位之间荧光值存在显著性差异,随着叶位的升高,荧光值逐渐降低。当荧光值逐渐趋于稳定,达到 P 点处,各处理间差异达到最大化,以无光照条件下叶片荧光值普遍较高。

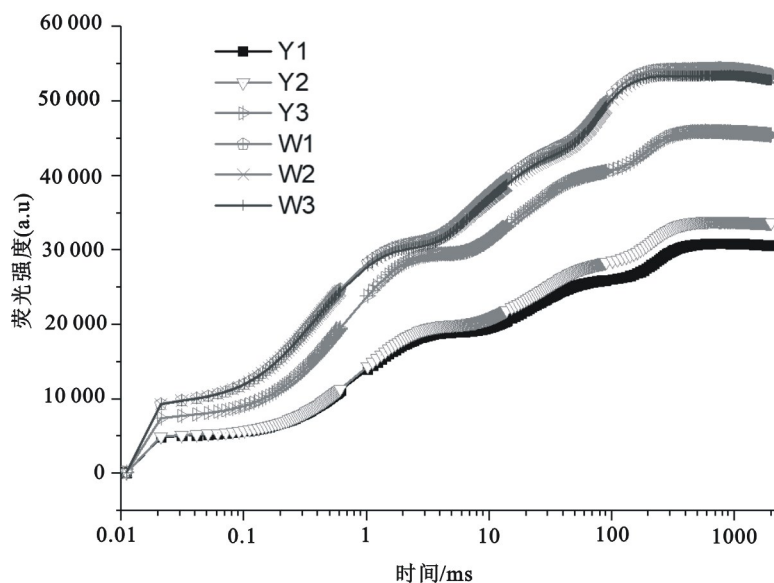


图 3 夜间灯光照射和不同叶位叶片的叶绿素荧光动力学曲线(OJIP)差异分析

4 结论与讨论

在有光照条件下,石楠 F_o 和 F_m 值在低位处有最大值,并且随着叶位的升高而降低,说明叶片对光能的利用效率与电子反应程度随着夜景光照的增强而降低。无光照条件下 F_o 和 F_m 值无显著性差异,并且荧光值普遍高于有光照条件下的叶片,说明夜景灯照明在一定程度上限制了植物对光能的捕获能力。 F_v/F_m 和 PI_{abs} 值在有灯照条件下,以中位处的值为最大,说明该叶位处叶片对光能大的利用率更高;在无灯照条件下,叶位越高,叶片的电子传递效率越高,光合性能越好。

在有光照条件下和无光照条件下,石楠 ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 、 DI_o/RC 均在低位处最高,说明低叶位叶片单位反应中心对光能的吸收、捕获、传递电子的能力最强、耗散能力较弱。随着叶位的升高,光照强度的逐渐增高,石楠的 TR_o/RC 先降低后升高, ABS/RC 升高, ET_o/RC 和 DI_o/RC 先减少后增加,可知石楠的单位反应

中心吸收的光能在增加、单位反应中心捕获的光能、用于电子传递的能量、耗散掉的能量先减少后增加。无光照条件下 ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 、 DI_o/RC 无显著性差异,并且荧光值普遍高于有光照条件下的叶片,说明日光照明促进了叶片 PSII 反应中心捕获电子的能力,从而导致传递电子的能量随之增大。

荧光动力学曲线有四相 O—J—I—P,分别对应了不同的反应阶段,由图 3 可知,6 种处理下的 OJIP 曲线变化趋势大致相同,无光照条件下 OJIP 曲线整体大于有光照条件下叶片的荧光值。在 O 点处没有显著性差异。在 J 点处,有光照条件下荧光值差异逐渐增大,并随着叶位的升高而降低;J 点到 I 点之间,无灯照条件下叶片的荧光值普遍较高,说明日光照明促进了 PSII 反应中心捕获能量中电子传递效率,使得 QA 一向 QB 的电子传递过程中所耗散的能量最小。随着时间的推移,在 P 点处,差异达到最大化,以无光照条件下叶片荧光值为最大。

综上所述,石楠生长于夜景照明条件下时,以

低叶位处荧光特性为最佳,并且随着叶位的升高,光强逐渐增强,叶绿素荧光参数及叶绿素荧光动力学曲线逐渐降低;无夜景照明条件下,各叶位之间无显著性差异,并且无夜景照明条件下叶片相对夜景照明条件下长势较好。根据试验结果,建议在夜景照明环境下,石楠更适合在弱光条件下生长。在本试验中,由于石楠植株的高度限制,叶片的相对高度差可能不够,可能对本次试验的结果产生影响,在以后的试验中将对上述方面进行改进。

参 考 文 献:

- [1] 郝洛西,曹亦潇,汪统岳,等. 面向人居健康的城市夜景照明: 进展与挑战[J]. 照明工程学报, 2019, 30(06): 1-6+31.
- [2] 刘怡凡,张蓓蓓,王荷,等. 光照强度对黑麦草叶片可溶性蛋白含量及生长发育的影响[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2018, 38(04): 49-53+66.
- [3] 殷秀敏. 酸雨、UV-B 和光强胁迫对 5 种常绿阔叶树幼苗叶绿素荧光和生长特性的比较研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2010.
- [4] 曲晓华,徐建美,史涛. 城市夜景照明对植物生长的影响[J]. 现代园艺, 2016(14): 220.
- [5] 潘科宇. 杭州光污染调查研究报告[J]. 中国科技信息, 2014(08): 25-28.
- [6] 龙作义,刘汉平,吴全德. 光周期对红皮云杉苗木的影响[J]. 牡丹江师范学院学报(自然科学版), 1999, (01): 12-13.
- [7] 王荷,张蓓蓓,张辉,等. 浅析夜景照明对植物生长的影响[J]. 农学学报, 2017, 7(05): 33-37.
- [8] 王立丰,王纪坤. 叶绿素荧光动力学原理及在热带作物研究中的应用[J]. 热带农业科学, 2013, 33(11): 16-23+58.
- [9] 史磊. 水分胁迫下不同基因型小麦光合特性的比较研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [10] 朱莉杰. 城市的亮化照明与节能保护[J]. 中外企业家, 2019, (16): 103.
- [11] 董英俊. 城市夜景亮化过程中的光污染问题及防治策略——以上海陆家嘴地区为例[J]. 北京规划建设, 2019, (05): 134-137.
- [12] 段然,张婷,阳婷婷,等. 园林夜景照明光污染及控制措施[J]. 灯与照明, 2014, 38(03): 4-6.
- [13] 宋婷,张谧,高吉喜,等. 快速叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 生物学杂志, 2011, 28(06): 81-86.
- [14] 邹琦. 逆境光合研究中的叶绿素荧光动力学技术—原理、应用及问题[C]. 中国植物生理学会. 2006 年中国植物逆境生理生态与分子生物学学术研讨会论文摘要汇编. 中国植物生理学会: 中国植物生理学会, 2006: 16-17.
- [15] 王沙生,沈应柏. 活体叶绿素荧光诱导曲线的原理和应用[J]. 植物生理学通讯, 1989(01): 54-58.
- [16] 陈璇. 石楠属植物的研究进展与园林应用[C]. 中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2011 年会议论文集(下册). 中国风景园林学会: 中国风景园林学会, 2011: 358-361.
- [17] 任军辉,王皎月,丁云春,等. 石楠和女贞不同叶龄光合生理生态特征研究[J]. 陕西林业科技, 2014(03): 18-21.
- [18] Strasser R J, Srivastava A, Tsimilli-Michael M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples //Yunus M, Pathre U, Mohanty P, eds. Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. London: Taylor and Francis, 2000, 445-483.
- [19] Strasser R J, Tsimilli-Michael M, Srivastava A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient //Papageorgiou G C, Govindjee, eds. Advances in Photosynthesis and respiration. Dordrecht: Springer-verlag, 2001, 19: 321-326.
- [20] 白靖怡,高欣悦,张江涛,等. 适宜室内绿墙应用的观叶植物筛选[J]. 河北农业科学, 2019, 23(03): 66-69+75.
- [21] 孟力力,柳军,皮杰,等. 不同光质 LED 光源对彩叶草生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 161-164.
- [22] 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(04): 444-448.
- [23] 许大全,张玉忠,张荣铤. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯, 1992(04): 237-243.
- [24] 荣立苹,张佳奇,赵东辉,等. 模拟酸雨对元宝枫幼苗生理及叶绿素荧光参数的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(03): 44-51.
- [25] 景琦,武悦莹,校思泽,等. 红叶石楠不同叶位和光照的叶片叶绿素荧光特征差异分析[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(12): 81-85+96.
- [26] 李鹏民,高辉远, Reto J. Strasser. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005(06): 559-566.