

杨 柳,何正军,赵文吉,等. 红景天属植物生长及生理生化特征对遮阴的响应[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):106-111.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.027

红景天属植物生长及生理生化特征对遮阴的响应

杨 柳^{1,2,3}, 何正军^{4,5}, 赵文吉^{4,5}, 贾国夫^{4,5}, 来利明³, 杜 会³, 姜联合³,
周继华³, 蔡文涛³, 齐淑艳¹, 郑元润³

(1. 沈阳大学, 辽宁沈阳 110044; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093;

4. 四川省草原科学研究院, 四川成都 611731; 5. 红原雪山红景天生物制品有限公司, 四川成都 611731)

摘要:为研究不同光照条件下植物生长及生理生化响应特征对栽培管理的重要性,以红景天属植物为研究对象,设置不同光照度的遮阴处理,研究红景天生长及生理生化指标的响应特征。结果表明,与全光照相比,不同遮阴处理下大花红景天株高显著增加;遮阴率为 89% 时,叶质量比显著减小;叶面积比和叶面积根干质量比先增加后减小;丙二醛含量显著下降;超氧化物歧化酶活性显著增加,可溶性糖含量显著下降,其他指标变化不显著。遮阴处理下,狭叶红景天株高、丙二醛含量显著增加,脯氨酸含量和可溶性糖含量指标变化不显著。与全光照相比,85% 遮阴处理下长鞭红景天比叶面积、叶面积比和叶面积根干质量比显著增加,茎干质量、叶干质量和总生物量显著减小,其他指标变化不显著。红景天属植物在不同光照度下通过调整生物量分配格局,改变叶形态,调节丙二醛含量、抗氧化酶活性和渗透调节物质保证自身正常的生长发育。大花红景天在全光照和过度遮阴条件下生长受到影响,65% 的遮阴率较适宜其生长,因此栽培大花红景天时光照度应控制在 41 952 lx 左右。遮阴处理对狭叶红景天和长鞭红景天的生长造成一定程度的影响,应在全光照下进行栽培。

关键词:红景天;光照度;生长;生理生化特征;响应;栽培管理;光合作用;遮阴率

中图分类号: Q945.79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0106-06

光照是影响植物生存和生长最重要的非生物因素^[1],作为植物生长的必需因素之一,光照对植物的生长发育、形态结构和生理生化响应等方面都起着重要的作用^[2-3]。研究表明,光影响植物叶片形态、解剖构造、生理生化特性等,最终不同程度影响植物的生长发育^[4-7]。植物正常生长须要适宜的光照度,过高的光照度会导致光抑制,而过低的光照度会限制

光合作用的进行,抑制植物生长^[8-11]。遮阴会造成光照度下降,植物通常会增加株高、叶面积^[12]和比叶面积^[13],减小根冠比^[14],增加叶绿素含量^[15],同时会调节丙二醛、脯氨酸和可溶性糖等物质的含量及超氧化物歧化酶活性^[16]。不同的植物对光的适应不同^[17],甚至同种植物的不同发育阶段对光的适应也存在差异,因此了解植物在特定光环境下的形态、生理生化响应及其适应机制对植物的生长至关重要^[1,18]。

红景天属(*Rhodiola* L.)植物是景天科(Crassulaceae)多年生草本或亚灌木,全世界约有 90 种,主要分布于喜马拉雅、亚洲及北美等地区。我国约有 73 种红景天属植物,其中包括 2 个亚种和 7 个变种^[19],主要分布于西南和西北地区,其中在西藏和四川分布的种较多^[20]。研究表明,红景天主要含有红景天苷、酪醇及其苷类、黄酮及其苷类、萜及其苷类等化学成分^[21-22],具有抗老化、抗疲劳、抗缺氧和抗辐射等功效^[23],正是由于红景天具有众多的药理作用和商业价值,人们大量挖

收稿日期:2016-09-20

基金项目:国家中医药管理局行业专项(编号:201507002-01);四川省科技支撑计划(编号:2014JZ0005);四川省级科研院所科研项目(编号:2015172)。

作者简介:杨 柳(1991—),女,辽宁抚顺人,硕士研究生,主要从事生物多样性与生物入侵研究。E-mail:yangliu@ibcas.ac.cn。

通信作者:郑元润,博士研究生,研究员,主要从事干旱、半干旱区植被生态学与生态学模型、恢复生态学及荒漠化防治研究。E-mail:zhengy@ibcas.ac.cn。

特征[J]. 生态学报,2016,36(14):1-7.

[15]郭淑红,薛 立,张 柔,等. 4 种幼苗对低温胁迫的光合生理响应[J]. 华南农业大学学报,2012,33(3):373-377.

[16]缪秀梅,张丽静,陈晓龙,等. 水分胁迫下白沙蒿幼苗抗性与其膜脂构成关系研究[J]. 草业学报,2015,24(2):55-61.

[17]朱 月,赵雪梅,唐立红. 低温对几种引种紫斑牡丹叶片可溶性糖含量的影响[J]. 北方园艺,2012(2):62-64.

[18]Hua X. Changes of protective enzyme activity and MDA content in leaves of *Agropyron cristatum* under grazing stress[J]. Agricultural Basic Science and Technology,2015,16(1):22-24.

[19]高福元,张吉立,刘振平,等. 持续低温胁迫对园林树木电导率和丙二醛含量的影响[J]. 山东农业科学,2010(2):47-49.

[20]阿孜古丽. 冬季低温对苜蓿根内可溶性糖和丙二醛含量的影响[J]. 新疆农业科技,2011(4):50.

[21]杨 猛,魏 玲,胡 萌,等. 低温胁迫对玉米幼苗光合特性的影响[J]. 东北农业大学学报,2012,43(1):66-70.

[22]曹 宏,王 玺,王晓丽,等. 低温逆境下氯化胆碱包衣对玉米种子萌发及幼苗生理生化指标的影响[J]. 玉米科学,2011,19(3):102-104,109.

[23]李 想,史世京,曹 颖,等. 冷冻胁迫下毛竹叶绿素荧光参数变化及抗寒相关转录因子表达[J]. 福建林学院学报,2014,34(1):57-63.

[24]陈 辰,何小定,秦金舟,等. 4 种含笑叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 特性的比较[J]. 安徽农业大学学报,2013,40(1):32-37.

采导致红景天野生资源减少,因此开展人工栽培红景天工作势在必行。国内外对于红景天属植物的研究多集中在药理药效、化学成分和形态分类等方面^[22,24-25],而有关人工栽培方面的研究较少。光作为影响植物生长最重要的因素,也是人工栽培植物过程中不可缺少的控制因素之一。本研究从生长及生理生化特征方面阐述红景天属植物对不同光照度的响应,为提高人工栽培效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川省草原科学研究院科研基地,研究区域为高原寒温带季风气候,干湿季节明显,雨热同季;夏季日照长,太阳辐射强烈,气候偏冷,春秋短促,长冬无夏;年平均气温为 1.1 ℃,极端最低气温为 -33.9 ℃,极端最高气温为 25.6 ℃,气温日较差平均为 16.3 ℃。1 月为最冷月,平均气温为 -10.3 ℃,7 月为最热月,平均气温为 10.9 ℃;年均日照时数为 2 418 h;年均降水量为 791.95 mm,80% 集中在 5—10 月,年均降雪日数在 76 d 以上^[26]。

1.2 试验材料

试验材料分别为大花红景天(*Rhodiola crenulata*)幼苗、狭叶红景天(*R. kirilowii*)幼苗和长鞭红景天(*R. astigiata*)幼苗,均来源于四川省草原科学研究院科研基地。

1.3 试验方法

采用大田试验,单因素试验设计,完全随机排列,重复 3 次。大田栽培大花红景天幼苗、狭叶红景天幼苗和长鞭红景天幼苗开始正常生长后,使用遮阴网进行遮阴处理。用 GLZ-C 型光合有效辐射计(浙江托普仪器有限公司)多点测定不同遮阴处理下的光照度,求其平均值。以全光照处理(119 864 lx 光照度)为对照,对大花红景天设置 2 个遮阴处理,分别为 3 针遮阴网(41 952 lx 光照度,遮阴率为 65%)和 6 针遮阴网(13 185 lx 光照度,遮阴率为 89%);对狭叶红景天设置 1 个遮阴处理,为 2 针遮阴网(47 946 lx 光照度,遮阴率为 60%);对长鞭红景天设置 1 个遮阴处理,为 2 层 2 针遮阴网(17 980 lx 光照度,遮阴率为 85%),30 d 后对所处理植株进行测定。于 2015 年 6—8 月在红景天生长季进行试验。

1.4 指标测定

试验结束后,每个处理每个重复随机选取 5 株植株,测量株高后,摘取叶片,展平,置于方格纸上,拍照后用 Photoshop CS 6.0 软件处理,计算叶面积。其后将整株植物分为叶片、枝条及根系,用电子天平(精确度为 0.000 1 g)称鲜质量,随后在 105 ℃ 下杀青 15 min,再在 70 ℃ 下烘干至恒质量,获得各部分生物量及总生物量干质量^[27]。采用上述数据计算以下指标:根质量比 = 根干质量/总生物量;茎质量比 = 茎干质量/总生物量;叶质量比 = 叶片干质量/总生物量;比叶面积 = 叶面积/叶片干质量;叶面积比 = 叶面积/总生物量;叶面积根干质量比 = 总叶面积/根干质量;根冠比 = 根干质量/地上部分生物量。

丙二醛含量、超氧化物歧化酶活性、脯氨酸含量和可溶性糖含量的测定均采用苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒进行测定^[28]。每次测定随机取样,每个处理设 3 个重复,按照试剂盒说明书要求测定。

1.4.1 丙二醛含量的测定 称取约 0.1 g 叶片,加入 1 mL

提取液($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 和 NaH_2PO_4 溶液),冰浴匀浆,离心(4 ℃,8 000 r/min,10 min),取上清液,置冰上待测。取 0.6 mL 三氯乙酸(trichloroacetic acid,简称 TCA)和硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid,简称 TBA)溶液,加入 0.2 mL 样本混匀,沸水浴 30 min 后取出冷却,常温离心(10 000 r/min,10 min),吸取上清液于 532、600 nm 处测定吸光度。

丙二醛含量(nmol/g) = $25.8 \times \Delta D/m$ 。

式中: $\Delta D = D_{600 \text{ nm}} - D_{532 \text{ nm}}$; m 表示样本鲜质量,g(下同)。

1.4.2 超氧化物歧化酶活性的测定 称取约 0.1 g 叶片,加入 1 mL 提取液($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 和 NaH_2PO_4 溶液),冰浴匀浆,离心(4 ℃,8 000 r/min,10 min)后,取上清液,置冰上待测。测定管中依次加入 K_2HPO_4 、 KH_2PO_4 、乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid,简称 EDTA)溶液共 240 μL ,510 μL 黄嘌呤、6 μL 黄嘌呤氧化酶、90 μL 样本、180 μL 氮蓝四唑(nitro-blue tetrazolium,简称 NBT)溶液,对照管中 K_2HPO_4 、 KH_2PO_4 、EDTA 溶液共 240 μL ,510 μL 黄嘌呤、6 μL 黄嘌呤氧化酶、180 μL 氮蓝四唑(NBT)溶液,90 μL 蒸馏水,混匀,室温静置 30 min 后于 560 nm 处测定各管吸光度。

超氧化物歧化酶活性(U/g) = $11.4 \times \text{抑制率}/(1 - \text{抑制率})/m \times \text{样本稀释倍数}$ 。

式中:抑制率 = (对照管 $D_{560 \text{ nm}}$ - 测定管 $D_{560 \text{ nm}}$)/对照管 $D_{560 \text{ nm}} \times 100\%$ 。

1.4.3 脯氨酸含量的测定 称取约 0.1 g 叶片,加入 1 mL 提取液(磺基水杨酸溶液),冰浴匀浆后沸水浴振荡提取 10 min,常温离心(10 000 r/min,10 min)后,取上清液,置冰上待测。取 0.5 mL 样本、0.5 mL 冰乙酸、0.5 mL 茚三酮、冰醋酸、浓磷酸溶液置沸水浴中保温 30 min(每 10 min 振荡 1 次),待冷却后加入 1 mL 甲苯,振荡 30 s,静置片刻后吸取 1 mL 上层溶液于 520 nm 处测定吸光度。

脯氨酸含量($\mu\text{g/g}$) = $19.2 \times (D_{520 \text{ nm}} + 0.0021)/m$ 。

1.4.4 可溶性糖含量的测定 称取 0.1 g 叶片,加入 1 mL 蒸馏水研磨成匀浆,置沸水浴中 10 min 冷却后,常温离心(8 000 r/min,10 min)后取上清液于 10 mL 试管中,用蒸馏水定容摇匀。在蒽酮中加入 5 mL 乙酸乙酯,充分溶解,配制工作液。空白管中加入 400 μL 蒸馏水、100 μL 工作液、1 000 μL 浓硫酸;测定管中加入 200 μL 样本、200 μL 蒸馏水、100 μL 工作液、1 000 μL 浓硫酸,混匀置于 95 ℃ 水浴中 10 min,冷却至室温后于 620 nm 处测定各管吸光度。

可溶性糖含量(mg/g) = $0.117 \times (\Delta D + 0.07)/m$ 。

式中: $\Delta D = \text{测定管 } D_{620 \text{ nm}} - \text{空白管 } D_{620 \text{ nm}}$ 。

1.5 数据处理和分析

采用 SPSS 17.0 软件进行数据统计,用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著性差异法(least significant difference,简称 LSD)进行多重比较^[29],采用 SigmaPlot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 光照度对红景天属植物生长及生理生化特征影响单因素方差分析

由表 1 可见,不同光照度条件下红景天各指标差异状况不同。对于大花红景天来讲,光照度对株高、叶面积比影响极

显著;对叶质量比、叶面积根干质量比、丙二醛含量、超氧化物歧化酶活性和可溶性糖含量影响显著;对于狭叶红景天,光照度对丙二醛含量影响极显著;光照度对株高影响显著($P < 0.05$);对于长鞭红景天,光照度对茎干质量、叶干质量和叶面积根干质量比影响极显著;光照度对总生物量、比叶面积和叶面积比影响显著;其他处理间变量影响不显著。

表 1 光照度对红景天属植物生长和生理生化特征影响的单因素方差分析

指标	F 值								
	株高	根干质量	茎干质量	叶干质量	叶面积	根冠比	总生物量	根质量比	茎质量比
大花红景天	18.110***	0.719	2.400	1.991	0.998	3.037	1.474	2.991	2.942
狭叶红景天	6.216*	0.455	1.992	1.568	4.216	1.486	0.496	0.001	0.972
长鞭红景天	0.038	4.661	28.482**	35.955**	0.093	3.787	10.130*	0.453	0.064

指标	F 值							
	叶质量比	比叶面积	叶面积比	叶面积根干质量比	丙二醛含量	超氧化物歧化酶	脯氨酸含量	可溶性糖含量
大花红景天	3.440*	2.447	7.342**	4.937*	6.318*	7.224*	0.218	8.776*
狭叶红景天	3.097	0.557	4.103	3.666	24.416**	—	7.074	6.177
长鞭红景天	0.840	15.399*	10.994*	24.637**	—	—	—	—

注: **、* 分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著;“—”表示未进行测量。

2.2 不同光照度对红景天生长的影响

由表 2 可见,与全光照相比,遮阴处理大花红景天株高增加,且随着遮阴率的增加而增加,各处理间差异显著。与全光照相比,遮阴率为 89% 时,叶质量比显著减小;根干质量、茎干质量、叶干质量、总生物量减少,但差异不显著;根质量比和比叶面积增加,但差异不显著。根冠比随遮阴率增加先减小后增加,但差异不显著;叶面积、茎质量比、叶面积比和叶面积根干质量比随遮阴率增加先增加后减小,其中,全光照、89% 遮阴处理的叶面积比分别与 65% 遮阴处理差异显著,65% 遮阴与 89% 遮阴 2 个处理间的叶面积根干质量比差异显著。

表 2 不同光照度对大花红景天生长的影响

遮阴率 (%)	株高 (cm)	根干质量 (g)	茎干质量 (g)	叶干质量 (g)	叶面积 (cm ²)	根冠比	总生物量 (g)
0 (全光照,CK)	10.7 ± 0.30c	32.71 ± 5.33a	1.81 ± 0.48a	19.41 ± 7.21a	605.87 ± 150.59a	2.30 ± 0.62a	53.93 ± 9.62a
65	12.60 ± 0.20b	23.08 ± 5.76a	1.43 ± 0.26a	10.47 ± 2.85a	636.44 ± 76.33a	1.57 ± 0.43a	34.97 ± 6.26a
89	13.40 ± 0.40a	30.10 ± 6.47a	0.97 ± 0.42a	6.40 ± 2.58a	383.70 ± 169.46a	3.88 ± 0.90a	37.47 ± 9.18a

遮阴率 (%)	根质量比	茎质量比	叶质量比	比叶面积 (cm ² /g)	叶面积比 (cm ² /g)	叶面积根干质量比 (cm ² /g)
0 (全光照,CK)	0.64 ± 0.08a	0.03 ± 0.01a	0.32 ± 0.08a	39.42 ± 6.08a	11.00 ± 1.07b	19.16 ± 4.62ab
65	0.64 ± 0.07a	0.04 ± 0.01a	0.31 ± 0.06a	71.00 ± 11.88a	19.55 ± 2.37a	32.42 ± 5.78a
89	0.83 ± 0.04a	0.02 ± 0.01a	0.15 ± 0.03b	73.01 ± 16.04a	9.82 ± 2.18b	12.17 ± 3.09b

注: 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。

由表 3 可见,与全光照相比,遮阴 60% 的狭叶红景天株高显著增加;叶干质量、叶面积、叶质量比、比叶面积、叶面积比和叶面积根干质量比明显增加,但差异不显著;根干质量、茎干质量、根冠比、总生物量和茎质量比明显减小,但差异不显著。

表 3 不同光照度对狭叶红景天生长的影响

遮阴率 (%)	株高 (cm)	根干质量 (g)	茎干质量 (g)	叶干质量 (g)	叶面积 (cm ²)	根冠比	总生物量 (g)
0 (全光照,CK)	39.3 ± 1.10b	135.85 ± 36.23a	11.99 ± 3.26a	6.75 ± 1.38a	1 504.26 ± 250.63a	4.20 ± 1.24a	154.60 ± 30.20a
60	44.2 ± 1.10a	108.53 ± 18.13a	7.15 ± 1.05a	9.25 ± 1.44a	2 812.29 ± 585.65a	2.64 ± 0.31a	124.93 ± 20.12a

遮阴率 (%)	根质量比	茎质量比	叶质量比	比叶面积 (cm ² /g)	叶面积比 (cm ² /g)	叶面积根干质量比 (cm ² /g)
0 (全光照,CK)	0.87 ± 0.03a	0.08 ± 0.02a	0.05 ± 0.01a	252.53 ± 49.16a	12.52 ± 3.24a	14.74 ± 3.80a
60	0.87 ± 0.01a	0.06 ± 0.01a	0.07 ± 0.01a	304.22 ± 34.23a	22.04 ± 2.51a	25.50 ± 3.16a

由图 1-A 可见,大花红景天丙二醛含量在不同遮阴处理下显著低于对照。由图 1-B 可见,狭叶红景天丙二醛含量在 60% 遮阴处理下则显著高于对照。

2.4 不同光照度对大花红景天超氧化物歧化酶活性的影响

由图 2 可见,大花红景天 89% 遮阴处理超氧化物歧化酶活性显著高于对照和 65% 遮阴处理的超氧化物歧化酶活性,

表 4 不同光照度对长鞭红景天生长的影响

遮阴率 (%)	株高 (cm)	根干质量 (g)	茎干质量 (g)	叶干质量 (g)	叶面积 (cm ²)	根冠比	总生物量 (g)
0(全光照,CK)	8.8±0.6a	0.31±0.09a	0.10±0.001a	0.18±0.01a	36.34±6.18a	0.66±0.14a	0.59±0.10a
85	8.7±0.8a	0.12±0.02a	0.04±0.004b	0.08±0.01b	40.69±12.87a	0.39±0.01a	0.24±0.03b

遮阴率 (%)	根质量比	茎质量比	叶质量比	比叶面积 (cm ² /g)	叶面积比 (cm ² /g)	叶面积根干质量比 (cm ² /g)
0(全光照,CK)	0.51±0.05a	0.18±0.02a	0.31±0.03a	203.24±19.88b	61.81±0.68b	123.28±13.95b
85	0.47±0.03a	0.18±0.01a	0.35±0.02a	474.42±122.99a	158.44±29.13a	331.46±39.55a

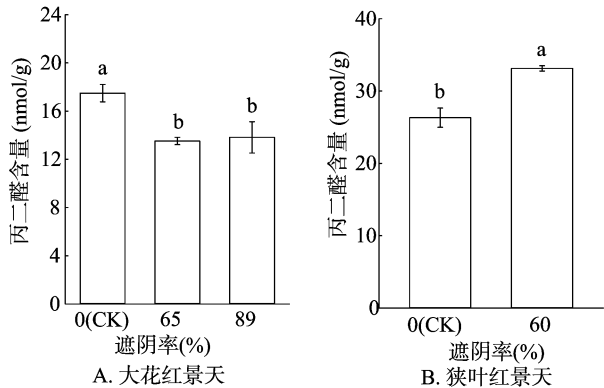


图1 不同光照度对大花红景天和狭叶红景天丙二醛含量的影响

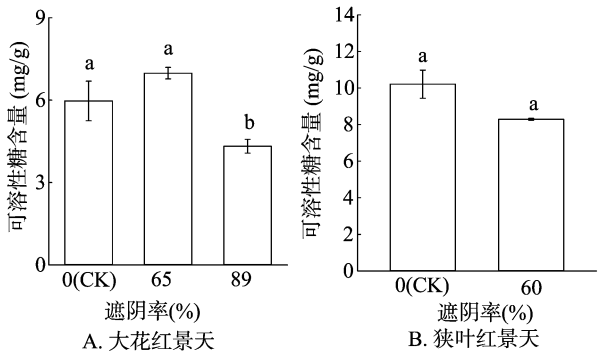


图4 不同光照度对大花红景天和狭叶红景天可溶性糖的影响

3 结论与讨论

3.1 光照度对红景天生长的影响

植物的生长与植物对光的需求和对不同光照度的响应密切相关。植物不仅能被动地接受环境条件的变化,而且能够通过改变自身生长策略和生理过程以适应这种变化^[30],植物体在弱光环境中的主要策略是调整生物量、养分分配格局以及自身形态结构,其中叶片生物量、养分分配格局及叶片形态的可塑性最大^[31]。在低光照或者遮阴条件下,植物可通过增加地上部生物量分配和比叶面积来增加对光的捕获和利用^[32],增加地上部叶生物量而减少根生物量的分配^[10,18]。在本研究中,不同种红景天各器官的生物量对光照度的响应不同,大花红景天表现为随着遮阴率的增加,根质量比增加,叶质量比减小,根冠比先减小后增加;狭叶红景天表现为叶质量比增加,根冠比减小;长鞭红景天表现为根质量比减小,叶质量比和根冠比的变化与狭叶红景天的变化相同。在遮阴条件下,狭叶红景天和长鞭红景天优先将生物量分配给地上部的叶片,较高的叶质量比表示以根系统为代价向叶片投资了更多的资源^[33],根冠比减小,叶面积增加,使同化器官更加发达,以便接受更多的光能^[34];但大花红景天叶质量比随着遮阴率的增加而减小,根冠比先减小后增加,在 89% 遮阴处理时,根冠比达到最大值,这可能是植株地上部充足的营养物质储备和弱光下形态学可塑性之间的权衡^[35]。比叶面积是表示叶片厚度的指标,它越小,表明单位叶面积越小,叶片变厚,是植物避免强光伤害的一种策略^[15]。研究表明,遮阴条件下植物的比叶面积会增加^[13,31]。本研究结果表明,不同种红景天遮阴处理下的比叶面积均增加,与众多研究结果^[1,33]一致,表明遮阴下红景天叶片变薄,利用有限的营养物质产生更大的叶面积以吸收光能,是对弱光环境的形态适应^[14,36]。

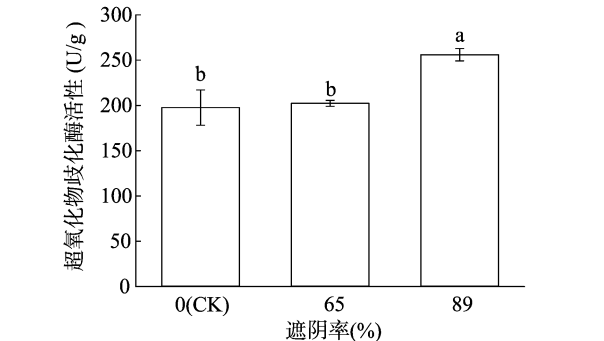


图2 不同光照度对大花红景天超氧化物歧化酶活性的影响

65% 遮阴处理超氧化物歧化酶活性与对照差异不显著。
2.5 不同光照度对红景天渗透调节物质的影响

由图 3 可见,遮阴处理下大花红景天和狭叶红景天脯氨酸含量在各处理间差异均不显著。

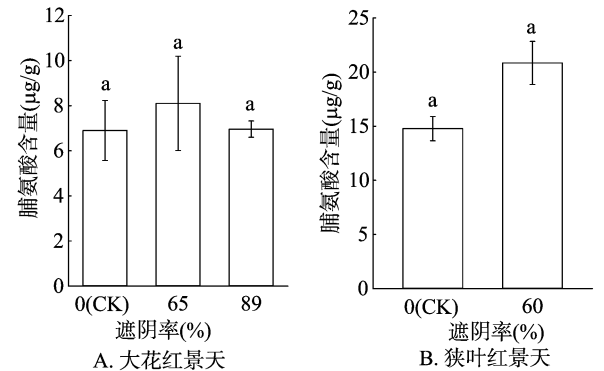


图3 不同光照度对大花红景天和狭叶红景天脯氨酸含量的影响

由图 4 - A 可见,在 89% 的遮阴处理下大花红景天可溶

3.2 光照度对红景天丙二醛含量的影响

丙二醛是膜脂过氧化的产物,当植物受到胁迫时,细胞膜脂质过氧化作用加强,生物膜的通透性变大,丙二醛含量可表示膜脂过氧化及膜受伤害的程度^[31,37]。许多研究表明,植物在受到环境胁迫时丙二醛含量会增加^[10,16]。本研究在不同遮阴处理下,大花红景天丙二醛含量显著减小,狭叶红景天丙二醛含量则显著增加,表明大花红景天在全光照的环境下已发生膜脂过氧化,光照度过大使得细胞膜受到了一定程度的破坏,植株受到伤害。对于狭叶红景天来说,遮阴导致丙二醛含量显著增加。

3.3 光照度对红景天超氧化物歧化酶活性的影响

当植物受到环境胁迫时,其体内增加的活性氧含量会对细胞产生伤害,超氧化物歧化酶作为植物体内的抗氧化酶,可以有效清除过量的活性氧并使活性氧在一定范围内保持平衡^[2,37]。超氧化物歧化酶活性越大,表明在逆境下植物的适应能力越强^[2],抗氧化酶活性高可能是低光下对抗氧化胁迫的有效适应^[10]。本研究结果表明,大花红景天超氧化物歧化酶活性随着遮阴程度的增强呈增加趋势,且与对照相比,在 89% 遮阴处理下显著增加,活性达到最高,表明遮阴率为 89% 时,大花红景天受到弱光的胁迫,超氧化物歧化酶活性增加以清除由弱光胁迫产生过量的活性氧,同时抑制膜脂过氧化产物丙二醛的生成,这是大花红景天对弱光逆境的适应。

3.4 光照度对红景天渗透调节物质的影响

脯氨酸作为重要的有机溶质渗透调节物质,具有维持细胞渗透压的作用。植物在受到环境胁迫时脯氨酸会大量积累,以调节渗透压,维持植物的正常生理功能^[31,38]。可溶性糖是光合作用的产物,同时也是植物生长的主要碳源和渗透调节物质,在调节渗透势和增强植物抗性方面起着重要的作用^[39-40]。结果表明,大花红景天随着遮阴程度的增加,脯氨酸含量先增加后减少,但差异不显著,可溶性糖含量变化趋势与脯氨酸含量变化相似,这与杜加加等对擎天树幼苗的研究结果^[41]一致。大花红景天可溶性糖含量在 89% 遮阴处理下显著下降,说明大花红景天在 89% 遮阴处理下受到一定程度的弱光胁迫,光照度过低,导致光合作用减弱,因此光合产物可溶性糖的含量也随之下降^[40-41],而脯氨酸含量变化不显著,可能是它对光照度的变化不是十分敏感^[3]。对于狭叶红景天,60% 遮阴处理下脯氨酸含量增加,可溶性糖含量减小,脯氨酸的积累表明其在狭叶红景天适应遮阴环境中起着一定作用,是适应弱光环境的表现^[42]。

不同光照度对红景天生长及生理生化特性产生了不同程度的影响,不同遮阴条件下红景天会调整生物量分配格局,改变叶片形态,调节丙二醛含量、抗氧化酶活性和渗透调节物质以保证自身正常的生长发育,且不同种红景天对光照度的响应不同。对于大花红景天光照度过高或过低都会影响其生长,在遮阴率为 65% 时大花红景天具有较好的生理适应性;对于狭叶红景天和长鞭红景天,遮阴条件下其生长受到一定程度影响,表现在生物量积累减少,且狭叶红景天遮阴条件下丙二醛含量和脯氨酸含量增加,可溶性糖含量减少。

参考文献:

[1] Yang S J, Sun M, Zhang Y J, et al. Strong leaf morphological,

anatomical, and physiological responses of a subtropical woody bamboo (*Sinarundinaria nitida*) to contrasting light environments [J]. *Plant Ecology*, 2014, 215 (1): 97 - 109.

[2] 湛端玉, 钟登慧, 欧静, 等. 不同光照对桃叶杜鹃幼苗生长的影响 [J]. *浙江林业科技*, 2014, 33 (3): 42 - 46.

[3] 林凡, 马松亚, 潘锋, 等. 不同光照强度对格木苗木生长和生理生化特性的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44 (8): 170 - 173.

[4] Cai Z Q. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants [J]. *Industrial Crops and Products*, 2011, 34 (1): 1235 - 1237.

[5] Xu C, Yin Y, Cai R, et al. Responses of photosynthetic characteristics and antioxidative metabolism in winter wheat to post-anthesis shading [J]. *Photosynthetica*, 2013, 51 (1): 139 - 150.

[6] Favaretto V F, Martinez C A, Soriani H H. Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late-successional tropical tree species grown under sun and shade conditions [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2011, 70 (1): 20 - 28.

[7] Deng Y, Li C, Shao Q, et al. Differential responses of double petal and multi petal jasmine to shading: I. photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2012, 55 (2): 93 - 102.

[8] Ma X H, Song L L, Yu W W, et al. Growth, physiological, and biochemical responses of *Camptotheca acuminata* seedlings to different light environments [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015 (6): 1 - 12.

[9] Shao Q, Wang H, Guo H, et al. Effects of shade treatments on photosynthetic characteristics, chloroplast ultrastructure, and physiology of *Anoectochilus roxburghii* [J]. *PLoS One*, 2014, 9 (2): e85996.

[10] Tang H, Hu Y Y, Yu W W, et al. Growth, photosynthetic and physiological responses of *Torreya grandis* seedlings to varied light environments [J]. *Trees*, 2015, 29 (4): 1011 - 1022.

[11] Wang Q M, Hou F Y, Dong S X, et al. Effects of shading on the photosynthetic capacity, endogenous hormones and root yield in purple-fleshed sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] [J]. *Plant Growth Regulation*, 2014, 72 (2): 113 - 122.

[12] 李彩斌, 郭华春. 遮光处理对马铃薯生长的影响 [J]. *西南农业学报*, 2015, 28 (5): 1932 - 1935.

[13] Scuderi D, Giuffrida F, Toscano S A. Growth, physiological response, and quality characteristics of weeping fig in response to shading levels and climatic conditions [J]. *HortScience*, 2012, 47 (11): 1586 - 1592.

[14] 邹长明, 王允青, 曹卫东, 等. 不同品种小豆光合作用和生长发育对弱光的响应 [J]. *应用生态学报*, 2015, 26 (12): 3687 - 3692.

[15] 张云, 夏国华, 马凯, 等. 遮阴对莖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.

[16] 刘峰, 张婷, 岳婉婷, 等. 遮阴对海姆维斯蒂栒子叶片生理生化特性的影响 [J]. *湖北农业科学*, 2014, 53 (21): 5184 - 5186.

[17] Jiang C D, Wang X, Gao H Y, et al. Systemic regulation of leaf anatomical structure, photosynthetic performance, and high-light tolerance in sorghum [J]. *Plant Physiology*, 2011, 155 (3): 1416 - 1424.

- [18] Zhou Y, Huang L H, Wei X L, et al. Physiological, morphological, and anatomical changes in *Rhododendron agastum* in response to shading[J]. *Plant Growth Regulation*, 2017, 81(1): 23–30.
- [19] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 五十四卷[M]. 北京: 中国科学出版社, 1978: 82–85.
- [20] Liu Z L, Liu Y Y, Liu C S, et al. The chemotaxonomic classification of *Rhodiola* plants and its correlation with morphological characteristics and genetic taxonomy [J]. *Chemistry Central Journal*, 2013(7): 2–8.
- [21] 德吉, 周生灵, 郭小芳, 等. 红景天(*Rhodiola* L.) 的研究进展[J]. *西藏科技*, 2012(8): 70–71, 77.
- [22] 王爱玲, 曲玮, 梁敬钰. 红景天属植物化学成分及药理作用研究进展[J]. *海峡药学*, 2014, 26(1): 1–8.
- [23] 张雨舟. 红景天药理作用研究进展及应用前景分析[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(25): 77–79, 82.
- [24] Chiang H M, Chen H C, Wu C S, et al. *Rhodiola* plants: chemistry and biological activity [J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2015, 23(3): 359–369.
- [25] 李涛, 何璇, 汪元娇. 红景天属药用植物的形态分类比较研究[J]. *华西药学杂志*, 2015, 30(4): 450–451.
- [26] 贾国夫, 何正军, 毛中丽, 等. 不同氮磷钾配比施肥对大花红景天生长及产量影响的研究[J]. *草业与畜牧*, 2008(7): 5–7.
- [27] 史树德, 孙亚卿, 魏磊. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [28] Pan L, Zhang X Q, Wang J P, et al. Transcriptional profiles of drought-related genes in modulating metabolic processes and antioxidant defenses in *Lolium multiflorum* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016(7): 1–15.
- [29] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 651–657.
- [30] 安慧, 上官周平. 光照强度和氮水平对白三叶幼苗生长与光合生理特性的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(11): 6017–6024.
- [31] 唐钢梁, 李向义, 林丽莎, 等. 骆驼刺在不同遮阴下的水分状况变化及其生理响应[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(4): 354–364.
- [32] Grechi I, Vivin P, Hilbert G, et al. Effect of light and nitrogen supply on internal C : N balance and control of root – to – shoot biomass allocation in grapevine [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(2): 139–149.
- [33] Aumonde T Z, Pedro T, Borella J, et al. Seed vigor, antioxidant metabolism and initial growth characteristics of red rice seedlings under different light intensities[J]. *Acta Botanica Brasilica*, 2013, 27(2): 311–317.
- [34] 韩忠明, 赵淑杰, 刘翠晶, 等. 遮阴对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 6005–6012.
- [35] 闫兴富, 王建礼, 周立彪. 光照对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1682–1688.
- [36] 邹长明, 王允青, 刘英, 等. 四种豆科作物的光合生理和生长发育对弱光的响应[J]. *植物生态学报*, 2015, 39(9): 909–916.
- [37] 吕晋慧, 李艳锋, 王玄, 等. 遮阴处理对金莲花生长发育和生理响应的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(9): 1772–1780.
- [38] 薛伟, 李向义, 朱军涛, 等. 遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(1): 82–90.
- [39] Dong C J, Wang X L, Shang Q M. Salicylic acid regulates sugar metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(4): 629–636.
- [40] 谢元贵, 廖小锋, 张东凯, 等. 遮阴处理对小蓬竹生长及生理特性的影响[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(12): 49–53.
- [41] 杜加加, 梁机, 陈月芳, 等. 不同遮阴处理对擎天树幼苗生长的影响[J]. *福建林业科技*, 2016, 43(1): 61–64.
- [42] 姚平, 石新生, 陶建军. 遮阴对台湾桉木(*Alnus formosana*) 幼苗生长和生理特性的影响[J]. *四川林业科技*, 2013, 34(3): 69–74.

(上接第 102 页)

- [4] 欣文. 茶花育种及命名问题值得关注[J]. *中国花卉园艺*, 2008(7): 19–20.
- [5] Vos P, Hogers R, Bleeker M, et al. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting[J]. *Nucleic Acids Research*, 1995, 23(21): 4407–4414.
- [6] 王小萍. 利用 SSR 标记对 38 份茶树种质资源亲缘关系与品种分子鉴定的研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2007: 1–12.
- [7] 杨春生, 卢永彬, 林燕芳, 等. 广西毛竹种质资源 AFLP 分析[J]. *广西植物*, 2014, 34(6): 742–746.
- [8] 黄福平, 梁月荣, 陆建良, 等. 乌龙茶种质资源种群遗传多样性 AFLP 评价[J]. *茶业科学*, 2004, 24(3): 183–189.
- [9] Ahmad F, Megia R, Poerba Y S. Genetic diversity of *Musa balbisiana* colla in Indonesia based on AFLP marker [J]. *Haiaty Journal of Biosciences*, 2014, 21(1): 39–47.
- [10] Nei M, Li W H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1979, 76(10): 5269–5273.
- [11] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 170–180.
- [12] 郝晨阳, 王兰芬, 董玉琛, 等. 我国西部春麦区小麦育成品种遗传多样性的 AFLP 分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(4): 285–291.
- [13] 田松杰, 石云素, 宋燕春, 等. 利用 AFLP 技术研究玉米及其野生近缘种的遗传关系[J]. *作物学报*, 2004, 30(4): 354–359.
- [14] 倪穗, 李纪元, 王强. 20 个茶花品种遗传关系的 ISSR 分析[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(5): 623–629.
- [15] 张景荣, 刘军. 名贵茶花种质资源的 RAPD 分析[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(4): 683–687.
- [16] 申屠文月, 陈析丰, 马伯军. 3 个山茶花变异品种的形态鉴定和 RAPD 分析[J]. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 29(3): 317–321.
- [17] 汪小全, 刘正宇. 银杉遗传多样性的 RAPD 分析[J]. *中国科学: C 辑*, 1996, 26(5): 436–441.
- [18] 谢云. 浙江红山茶遗传多样性分析及观赏价值评价[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011: 93–115.
- [19] 陈亮, 杨亚军, 虞富莲. 应用 RAPD 标记进行茶树优异种质遗传多态性、亲缘关系分析与分子鉴别[J]. *分子植物育种*, 2004, 2(3): 385–390.