

干旱胁迫对五种观赏蕨类植物叶绿素荧光特性的影响

董延龙^{1,2}, 常 纓¹

(1. 东北农业大学 生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 园艺分院, 黑龙江 哈尔滨 150069)

摘 要: 为了解观赏蕨类植物的抗旱机制, 在干旱胁迫诱导下对波士顿肾蕨、粗毛鳞盖蕨、狼尾蕨、肾蕨和铁线蕨 5 种观赏蕨类植物的叶绿素荧光参数进行测量和分析。结果表明: 5 种蕨类的 F_m 值都呈现先上升后下降的变化趋势, 且粗毛鳞盖蕨的 F_m 值在处理 12 d 时显著高于其它 4 个品种; 而 F_0 值呈现先下降后上升的趋势; 粗毛鳞盖蕨 F_v/F_m 值的变化浮动为 0.03, 其受到干旱胁迫的影响相对较小; 粗毛鳞盖蕨 qP 值下降的幅度不大; 而狼尾蕨 qP 值在后期极显著的高于其它品种; 波士顿肾蕨和粗毛鳞盖蕨 qN 值波动分别在 0.42~0.52 和 0.41~0.55 之间, 而狼尾蕨、肾蕨和铁线蕨在后期表现出 qN 值的上升, 表明其叶片的自我保护机制较强。综合以上的叶绿素荧光参数变化, 可以看出狼尾蕨和粗毛鳞盖蕨的抗旱能力相对其它蕨类品种较强。

关键词: 蕨类; 干旱胁迫; 叶绿素荧光

中图分类号: S 682.35 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2013)15-0066-04

干旱胁迫是全球植物遭受的最普遍的逆境形式之一。植物常常通过外部形态、光合作用、渗透调节等方面的变化来适应或抵抗干旱胁迫。其中光合作用是受

干旱胁迫影响最显著的生理过程之一, 干旱逆境中, 植物光合作用降低与叶绿体的功能障碍有关^[1]。叶绿素荧光动力学技术能够无损伤地、快速灵敏的检测出植物体光合系统II(PSII, Photosynthetic System II) 的状况, 可以反映出植物对光能的吸收、传递、分配、消耗等特点。因此, 叶绿素荧光动力学技术是研究植物光合生理与干旱逆境胁迫关系的理想手段^[2]。

波士顿肾蕨、粗毛鳞盖蕨、狼尾蕨、肾蕨和铁线蕨是北方常见的室内观赏蕨类植物, 在栽培时对水分要求较

第一作者简介: 董延龙(1981-), 男, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向为植物资源学与分子生物学。E-mail: dylemail@126.com.

责任作者: 常纓(1970-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为植物资源学与分子生物学。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31070291)。

收稿日期: 2013-04-12

[7] 王晓冬, 李蕴峰, 刘宇明. 干旱胁迫对真桦光合特性及渗透调节物质含量的影响[J]. 防护林科技, 2012(1): 25-27.

[8] 何开跃, 李晓储, 黄立斌, 等. 干旱胁迫对木兰科 5 种生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(4): 20-23.

[9] 单长卷. 土壤干旱对抗旱品种洛麦 9133 拔节期生理特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(5): 880-883.

[10] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1997, 30(3): 207-210.

Physiological Response of Cut Chrysanthemum ‘Huangzhonghuang’ to Drought Stress

WANG Shao-ping, HUANG Chao

(School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxing, Henan 453003)

Abstract: Taking cut chrysanthemum ‘Huangzhonghuang’ as test material, controlling water quantity of drought stress for the first 20 days of drought treatment, then normal watering management, 15 days later for stress treatment 20 days again determination, the effects on physiological activity were studied. The results showed that with the increasing degree of drought stress, conductivity and MDA content were on the rise; chlorophyll content decreased first and then increased, root activity decreased rapidly. After rewatering and drought stress again, the change tendency of each index was as similar as to the first drought stress, but variation amplitude. It proved that drought had a cumulative effect.

Key words: drought stress; cut chrysanthemum; MDA; chlorophyll; root activity

为敏感。该研究利用 PAM-210 型便携式叶绿素荧光分析仪研究了干旱胁迫下对这 5 种蕨类观赏植物叶片的叶绿素荧光特性的影响,旨在探讨水分胁迫对观赏蕨类植物叶片光合作用影响的机制,为观赏蕨类植物的栽培养护提供可借鉴的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为波士顿肾蕨(*Nephrolepis exaltata* cv. Bastaniensis)、粗毛鳞盖蕨(*Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl)、狼尾蕨(*Davallia bullata*)、肾蕨(*Nephrolepis cordifolia* (L.) Presl)和铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris* Linn)5 个蕨类品种。

1.2 试验方法

试验在黑龙江省农业科学院园艺分院智能化温室内进行。种植基质均为草炭土:珍珠岩=3:1。选择每种蕨类植物中长势中等、羽叶数目均一的 3 盆材料,浇足水后,置于温室同一位置,控水培养。分别读取干旱控水处理后 0、3、6、9、12、15、18 d 植株叶片的叶绿素荧光参数。

1.3 项目测定

用 PAM-210 便携式叶绿素荧光分析仪(Walz Effel-trich Germany)和相应软件 Pam Win 测定叶绿素荧光参数:用弱测量光测定初始荧光(F_0),随后给一个强闪光($1\ 200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,脉冲时间 0.8 s)测得最大荧光(F_m),计算可变荧光(F_v)= F_m-F_0 ,暗处理下光系统II(PSII)最大光化学效率(F_v/F_m)、实际量子产量($yield$)、光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(qN)。其中 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 测定前,叶片经过 30 min 的暗处理,以太阳光为光化学光进行测定,每个处理测定植株 3 个成熟羽叶后取其平均值。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 制作图表,数据采用分析软件 DPS 7.05 进行方差分析和差异显著性分析。差异显著性检验分别是针对 5 个品种之间同一叶绿素荧光参数、同一时期、同一部位的叶片进行分析。

2 结果与分析

2.1 干旱处理后 5 种蕨类 F_m 和 F_0 的变化特点

从表 1 可以看出,干旱处理后的 5 种蕨类的 F_m 值,波士顿肾蕨、狼尾蕨、肾蕨和铁线蕨总体上都是呈现出先上升后下降的变化趋势;而粗毛鳞盖蕨是小幅上升后下降再上升后下降的变化趋势。并且前 4 种蕨类的变化节点是在干旱处理后的 6~9 d,粗毛鳞盖蕨的 F_m 在处理后的 12 d 达到最大值。波士顿肾蕨 F_m 降幅为 83.9%;粗毛鳞盖蕨 F_m 降幅为 73.1%;狼尾蕨 F_m 降幅为 75.7%;肾蕨 F_m 降幅为 86.9%;铁线蕨 F_m 降幅为 74.9%。

表 1 干旱处理后 5 种蕨类叶片 F_m 值的变化

Table 1 F_m change in leaves of five species of ferns in drought treatment periods

干旱处理 时间/d	波士顿肾蕨	粗毛鳞盖蕨	狼尾蕨	肾蕨	铁线蕨
0	0.2078Ee	0.2267Dd	0.3314Cc	0.3415Aa	0.3359Bb
3	0.3077Dd	0.3022Ee	0.4369Bb	0.4612Aa	0.3241Cc
6	0.6405Cc	0.1991Ee	0.7514Aa	0.6608Bb	0.4843Dd
9	0.1034Dd	0.1463Bb	0.1828Aa	0.0866Ee	0.1218Cc
12	0.2707Cc	0.5444Aa	0.2357Ee	0.2704Dd	0.3576Bb
15	0.2067Ee	0.2140Dd	0.2767Bb	0.2470Cc	0.3204Aa
18	0.1603Cc	0.2686ABab	0.2417Bb	0.2770ABa	0.3000Aa

注:同一列数值后字母不同表示差异显著,大写字母和小写字母分别表示 1% 和 5% 的差异显著水平。下同。

Note: The capital and small letters are significant at the 1% and 5% levels, respectively. The same below.

从表 2 可以看出,调查期内的 5 种蕨类的 F_0 值总体上来看都是先高后低的变化。其中,波士顿肾蕨和铁线蕨呈现在 6 d 干旱处理前的小幅上升,在 9 d 时的大幅下降变化;粗毛鳞盖蕨和狼尾蕨是在 6 d 处理前的小幅下降后在 9 d 时大幅下降;而肾蕨在处理后的 3 d 时有个小幅度的上升后下降,在 9 d 呈大幅下降趋势。波士顿肾蕨 F_0 降幅为 77.6%;粗毛鳞盖蕨 F_0 降幅为 59.6%;狼尾蕨 F_0 降幅为 78.2%;肾蕨 F_0 降幅为 77.1%;铁线蕨 F_0 降幅为 69.0%。

表 2 干旱处理后 5 种蕨类叶片 F_0 值的变化

Table 2 F_0 change in leaves of five species of ferns in drought treatment periods

干旱处理 时间/d	波士顿肾蕨	粗毛鳞盖蕨	狼尾蕨	肾蕨	铁线蕨
0	0.1191Ee	0.1907Cc	0.2047Bb	0.1582Dd	0.2367Aa
3	0.1573Ee	0.1692Dd	0.1944Bb	0.1696Cc	0.2594Aa
6	0.1658Dd	0.1803Cc	0.1940Bb	0.1482Ee	0.2673Aa
9	0.0372Ee	0.0771Bb	0.0447Cc	0.0388Dd	0.0830Aa
12	0.0647Ee	0.0903Bb	0.0786Cc	0.0749Dd	0.1124Aa
15	0.0737Ee	0.0870Cc	0.0915Bb	0.0773Dd	0.1230Aa
18	0.0740Dd	0.0978Bb	0.0893Cc	0.0683Ee	0.1268Aa

2.2 干旱处理后 5 种蕨类 F_v/F_m 和实际量子产量 ($yield$) 的变化特点

从表 3 可以看出,除了铁线蕨在干旱处理后 12 d 时 F_v/F_m 达到最高值,其余 4 种蕨类植株的 F_v/F_m 在干旱处理后 6 d 达到最高值。而在干旱处理后的 12~18 d 期间,5 种蕨类的 F_v/F_m 值差异不显著。在干旱处理后的 12 d 内,狼尾蕨的 F_v/F_m 值显著高于肾蕨、波士顿肾蕨、粗毛鳞盖蕨和铁线蕨。

从表 4 可以看出,5 种蕨类在干旱处理后的实际量子产量变化浮动在 0.5~0.8。其中,波士顿肾蕨和粗毛鳞盖蕨在处理后的 3 d 内有显著的下降,降幅分别为 15.7% 和 41.7%。

表3 干旱处理后5种蕨类叶片 Fv/Fm 值的变化Table 3 Fv/Fm change in leaves of five species of ferns in drought treatment periods

干旱处理 时间/d	波士顿肾蕨	粗毛鳞盖蕨	狼尾蕨	肾蕨	铁线蕨
0	0.4273Bb	0.1591Ee	0.3824Cc	0.5367Aa	0.2952Dd
3	0.4892Cc	0.1503Ee	0.5549Bb	0.6324Aa	0.1996Dd
6	0.7411Cc	0.6689Dd	1.0000Aa	0.7758Bb	0.4480Ee
9	0.6402Bb	0.6397Cc	0.7557Aa	0.5519Dd	0.3187Ee
12	0.7611Aa	0.6640Ee	0.6665Dd	0.7231Bb	0.6856Cc
15	0.6434Cc	0.6200Dd	0.6694Bb	0.6871Aa	0.6161Ee
18	0.5385Ee	0.6447Bb	0.6303Cc	0.7534Aa	0.5773Dd

表4 干旱处理后5种蕨类叶片 $yield$ 值的变化Table 4 $yield$ change in leaves of five species of ferns in drought treatment periods

干旱处理 时间/d	波士顿肾蕨	粗毛鳞盖蕨	狼尾蕨	肾蕨	铁线蕨
0	0.6000Ee	0.6497Bb	0.6313Dd	0.6863Aa	0.6445Cc
3	0.5060Dd	0.3786Ee	0.6481Bb	0.6506Aa	0.6198Cc
6	0.7020Bb	0.6828Dd	0.7098Aa	0.6836Cc	0.6378Ee
9	0.7718Bb	0.7159Dd	0.7761Aa	0.7626Cc	0.6820Ee
12	0.7418Aa	0.6294Ee	0.6846Cc	0.6906Bb	0.6649Dd
15	0.6650Bb	0.5667Ee	0.6638Cc	0.6967Aa	0.6163Dd
18	0.6577Cc	0.6460Dd	0.6803Bb	0.7369Aa	0.6233Ee

2.3 干旱处理后5种蕨类 qP 和 qN 的变化特点

从表5可以看出,对照阶段,粗毛鳞盖蕨的 qP 值极显著的低于其它4种蕨类,干旱处理3 d时,狼尾蕨和肾蕨的 qP 值极显著的高于其它3个种,粗毛鳞盖蕨的 qP 值在处理后的第6天达到最高值,极显著的高于其它4个种;处理后第9天各个蕨类品种 qP 值的差异不显著;狼尾蕨的 qP 值在处理后的12 d极显著的高于其它4个种;而在15 d时,铁线蕨的 qP 值极显著的低于其它4个种,最终在处理后的18 d时,狼尾蕨的 qP 值极显著的高于其它种而肾蕨的 qP 极显著的低于其它种。

表5 干旱处理后5种蕨类 qP 的变化特点Table 5 qP in leaves of five species of ferns in drought treatment periods

干旱处理 时间/d	波士顿肾蕨	粗毛鳞盖蕨	狼尾蕨	肾蕨	铁线蕨
0(CK)	0.9449Ab	0.9102Bc	0.9642Aab	0.9701Aa	0.9644Aab
3	0.9421BCb	0.9442BCb	0.9854Aa	0.9714ABa	0.9376Cb
6	0.6258Bc	0.9669Aa	0.7499Bb	0.6424Bc	0.7350Bb
9	0.8893Aa	0.8266Ab	0.8809Aa	0.7904ABab	0.8130ABab
12	0.7628Bb	0.7182 Bb	0.9370Aa	0.7869 Bb	0.7503 Bb
15	0.7574Aab	0.7205Ab	0.8536Aa	0.8510Aa	0.5483Bc
18	0.7227Bb	0.7980Bb	0.9634Aa	0.4599Cc	0.8052Bb

从表6可以看出,初期5种蕨类的差异不显著;处理后3 d时,狼尾蕨和肾蕨的 qN 值极显著的高于其它3个种;而在处理后6 d时,狼尾蕨的 qN 值仍然极显著的高于其它种;到了处理后的第9天,肾蕨的 qN 值极显著的低于波士顿肾蕨且显著的低于粗毛鳞盖蕨;在处理后的12~15 d,5个蕨类品种的 qN 值差异不显著;最终在干

旱处理18 d时,铁线蕨的 qN 值极显著的高于波士顿肾蕨。

表6 干旱处理后5种蕨类 qN 的变化特点Table 6 qN in leaves of five species of ferns in drought treatment periods

干旱处理 时间/d	波士顿肾蕨	粗毛鳞盖蕨	狼尾蕨	肾蕨	铁线蕨
0(CK)	0.1769Aa	0.2316 Aa	0.2304 Aa	0.1541 Aa	0.1760 Aa
3	0.2254Bb	0.1681Bb	0.3730Aa	0.3741Aa	0.2138BbBH
6	0.4567Bb	0.4196 Bb	0.7979Aa	0.5090 Bb	0.3618 Bb
9	0.5122Aa	0.4584ABa	0.4212ABab	0.2874Bb	0.3687ABab
12	0.4508Ab	0.5282Aab	0.6229Aab	0.4881Aab	0.6537Aa
15	0.4957Aa	0.5411 Aa	0.5423 Aa	0.3841 Aa	0.4900 Aa
18	0.4273Bb	0.4907ABab	0.5868ABa	0.6037ABa	0.6374Aa

3 讨论

波士顿肾蕨、粗毛鳞盖蕨、狼尾蕨、肾蕨和铁线蕨这5种蕨类作为主要的观赏性蕨类植物,在其生长发育阶段常常受到干旱等逆境胁迫,影响其栽培种植的推广。叶绿素荧光动力学能够从光能的吸收、传递、耗散等方面快速灵敏地反映植物生理状态在环境变化方面的适应^[3-5]。该研究以这5个代表性的观赏蕨类品种为试材,测量其在受到干旱胁迫时的光合活性指标变化,为蕨类植物抗旱培育提供一定的理论依据。

Fm 可反映 PS II 电子传递情况^[6-7],从表1可以看出,在干旱胁迫处理的前6 d,5种蕨类植物的 Fm 值普遍高于后期,说明前期干旱处理对其叶片的光合电子传递速率影响不显著,而在处理后9 d时, Fm 值普遍下降,表现出光合电子传导受到影响。并且在处理后的9~18 d阶段,5种蕨类的 Fm 值呈现先上升后下降的变化趋势,表明植物对干旱胁迫的自身修复能力起到一定作用,但是随着后期处理的加剧,光合电子的传导率就会受到严重影响。值得注意的是,粗毛鳞盖蕨的 Fm 值在处理后的12 d时显著高于其它4个种,说明其抗旱修复能力相对较强。

经暗适应的绿色植物样品突然受到可见光照射后,其体内叶绿素 a 分子可在纳秒级时间内发出一定强度的荧光,此时的荧光称为初始荧光 F_0 ^[8],其荧光强度与激发光的强度和叶绿素含量有关。干旱处理期间,在处理后的9 d开始,5种蕨类的 F_0 值都有大幅的下降,表明其叶绿素结构受到破坏,捕获光的能量减少,致使其初始荧光 F_0 值下降。而其中,铁线蕨的 F_0 值一直高于其它4个种,表明其叶绿素受伤害的程度相对较小。从表2可以看出,5个品种的 F_0 值呈现先大幅下降后小幅上升的趋势,表明在后期植株有一定的修复能力,使受损的叶绿素结构得到了一定的修复,获得了部分捕获光能量。

Fv/Fm 为没有遭受环境胁迫并经过充分暗适应的植物叶片 PS II 最大的量子效率指标,在正常条件下该参

数变化极小,当遭受逆境时该参数迅速下降,对于高等植物来说植株的 F_v/F_m 变化在 0.75~0.85,在逆境下 F_v/F_m 迅速降低^[1]。目前, F_v/F_m 被认为是反映光抑制的可靠指标,比值越低证明其发生光抑制的程度越高^[9-10]。该试验结果表明,5 种蕨类在干旱处理后 6~9 d 时,受到逆境影响 F_v/F_m 值迅速下降,9 d 之后趋于平稳,而其中值得注意的是,粗毛鳞盖蕨 F_v/F_m 值的变化浮动较小,为 0.03,说明其受到干旱胁迫的影响相对较小。

qP 值反映了植物光合活性的高低,而 qN 值反映了植物的光保护能^[3,11-12]。波士顿肾蕨、肾蕨和铁线蕨的 qP 值在整个干旱胁迫时期都是呈现逐渐降低的变化,表明其叶片的光合活性受到干旱胁迫的影响较为显著。粗毛鳞盖蕨的 qP 值是先上升后下降的变化,且下降的幅度不大;而狼尾蕨的 qP 值在前期和后期都达到了极显著的高于其它品种。波士顿肾蕨和粗毛鳞盖蕨的 qN 值波动分别在 0.42~0.52 和 0.41~0.55 之间,每个时期的变化浮动不大,而狼尾蕨、肾蕨和铁线蕨在干旱处理的后期都表现出 qN 值上升的变化,表明其叶片的自我保护机制较强。综上所述,可以看出狼尾蕨和粗毛鳞盖蕨的抗旱能力相对其它蕨类品种较强。

参考文献

- [1] 赵丽英,邓西平,山仑.不同水分处理下冬小麦旗叶叶绿素荧光参数的变化研究[J].中国生态农业学报,2007,15(1):63-66.
- [2] 林世青,许春辉,张其德,等.叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的作用[J].植物学通报,1992,9(1):1-16.
- [3] 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,1999,16(4):444-448.
- [4] 罗青红,李志军,伍维模,等.胡杨、灰叶胡杨光合及叶绿素荧光特性的比较研究[J].西北植物学报,2006,26(5):983-988.
- [5] 郝建卿,吕娜,杨扬,等.内蒙乌海胡杨异形叶水分及叶绿素荧光参数的比较[J].北京林业大学学报,2010,32(5):41-44.
- [6] 陈晓亚,汤章城.植物生理与分子生物学[M].3版.北京:高等教育出版社,2007:138-145.
- [7] 李晓,冯伟,曾晓春.叶绿素荧光分析技术及应用进展[J].西北植物学报,2006,26(10):2186-2196.
- [8] 陈建明,俞晓平,程家安.叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J].浙江农业学报,2006,18(1):51-55.
- [9] 赵丽英,邓西平,山仑.水分亏缺下作物补偿效应类型及机制研究概述[J].应用生态学报,2004,15(3):523-526.
- [10] 赵丽英,邓西平,山仑.渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J].应用生态学报,2005,16(7):1261-1264.
- [11] Zhao Ming, Jiang Wen. Differences between maize and wheat for non-photochemical quenching (qN) during Photosynthetic-Induction [J]. Acta Agronomica Sinica,2005,31(12):1544-1551.
- [12] 葛江丽,石雷.盐胁迫条件下甜高粱幼苗的光合特性及光系统II功能调节[J].作物学报,2007,33(8):1272-1278.

Effects of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Five Species of Ornamental Ferns

DONG Yan-long^{1,2}, CHANG Ying¹

(1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Branch of Horticulture, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150069)

Abstract: The chlorophyll fluorescence parameters of 5 species of ornamental ferns under drought stress were determined and analyzed in order to understand the mechanism of drought resistance, including *Nephrolepis exaltata* cv. Bastaniensis, *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl, *Davallia bullata*, *Nephrolepis cordifolia* (L.) Presl and *Adiantum capillus-veneris* Linn. The results showed that the F_m value of 5 species increased firstly and then decreased, and the F_m value of *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl at 12 days after treatment was significantly higher than that of other 4; and the value of F_0 showed the first decline after rising trend; the F_v/F_m of *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl was floating within 0.03, the effects of drought stress was relatively small; the qP of *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl amplitude decreased; and the qP value of wolf tail fern was significantly higher than that in the other species in the late; the qN value of *Nephrolepis exaltata* cv. Bastaniensis and *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl fluctuated between 0.42~0.52 and 0.41~0.55, and the qN values showed increased in the later of *Davallia bullata*, *Nephrolepis cordifolia* (L.) Presl and *Adiantum capillus-veneris* Linn, and it showed that the leaves of self-protection mechanism were strong. Synthesis of chlorophyll fluorescence parameters of the changes mentioned above could be seen that the drought resistance ability of *Davallia bullata* and *Microlepia strigosa* (Thunb.) Presl stronger relative to others.

Key words: ferns; drought stress; chlorophyll fluorescence