

多歧苏铁对高温和聚乙二醇处理的生理响应

郑艳玲

(西南林业大学 国家林业局西南地区生物多样性保育重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘 要:以多歧苏铁离体叶片为试材,研究了高温(25、35、45、55 ℃)和聚乙二醇(PEG)处理(0、0.05、0.10、0.15、0.20 g · mL⁻¹)对多歧苏铁生理指标的影响,以期了解多歧苏铁的抗逆机理及生态适应策略。结果表明:各温度处理间丙二醛含量无显著差异;45 ℃处理后的过氧化氢酶(CAT)活性显著高于其它温度处理;与 25 ℃处理相比较,35、45、55 ℃处理后的过氧化物酶(POD)活性显著下降,超氧化物歧化酶(SOD)活性显著升高;45 ℃和 55 ℃处理后可溶性糖含量显著升高,但各温度处理间脯氨酸含量无显著差异。各浓度 PEG 处理间,色素含量及组成、Fv/Fm、丙二醛和脯氨酸含量及抗氧化酶(CAT、POD、SOD)活性均无显著差异,但 0.10 g · mL⁻¹和 0.15 g · mL⁻¹ PEG 处理后的可溶性糖含量较其它浓度 PEG 处理后的显著提高。综上所述,多歧苏铁对高温具有一定耐受性,其中,可溶性糖和抗氧化酶(CAT、SOD)在渗透调节和抗氧化胁迫中起了一定作用。同时,所试 PEG 浓度并未引起多歧苏铁明显生理变化,该种可能具有较强的耐旱性。

关键词:多歧苏铁;高温;PEG 处理

中图分类号:S 687.901 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)17-0104-06

现代苏铁类植物有 11 属约 290 种,主要分布在热带和亚热带地区。我国仅有苏铁属(*Cycas*)

作者简介:郑艳玲(1981-),女,博士,讲师,现主要从事植物种质资源保育及利用的教学与科研等工作。E-mail: flashingzyl@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31560093)。

收稿日期:2017-04-11

1 属,且是该属植物的多样性分布中心。中国分布的有 20 多个种,其中云南分布的苏铁属植物占全国的一半左右^[1]。多歧苏铁(*Cycas multipinnata*)属于叉叶类苏铁,是苏铁属植物中最进化的典型^[2],分布于云南东南部及越南北部。该种具有极高的研究和观赏价值,但由于人为采挖和栖息地破坏等因素,现存种群正面临灭绝的威胁。

results showed that 9—12 stamens might exist in one female flower, 4 pollen sacs in each anther, with different shapes as butterfly, dumbbell, even anomalous formation occurring in its transection. In this experiment it was also elucidated that pollen wall differentiated successively into 4 layers of epidermis, endothelium, middle layer and tapetum, and the type of meiosis for its microspore mother cells belonged to continuous one; tetrads to symmetrical one with tetrahedral type occasionally. Besides, such abnormal phenomenon of microspore mother cells as micronuclei, chromosomes lagging and chromosome bridges was observed in its process of meiosis, suggesting that abnormal meiosis of microspore mother cells was the main reason for pollen abortion, which affected its reproduction of *Ottelia acuminata*, and thus became one of the main factors causing a decrease of its quantity and being endangered for *Ottelia acuminata*.

Keywords: *Ottelia acuminata*; microspore; male gametophyte; abnormality

研究表明,物种的分布区未必是其生长发育最适宜的地区,同样物种的局限分布可能仅仅是地理障碍的结果^[3]。多歧苏铁的生态适应性与其是否与该物种的局限分布及濒危状况尚不清楚。温度和水分是限制植物生长发育及其地理分布的关键影响因子,多歧苏铁的自然分布区极端最高气温超过 40 ℃,但关于高温对多歧苏铁生理影响的研究鲜见报道^[4]。此外,前期观察发现,土壤水分太大时,多歧苏铁幼苗的茎及叶柄基部会腐烂,而土壤干燥时叶片又会卷曲,并从叶尖开始干燥失绿,但水分对其生理影响尚不清楚。现以多歧苏铁离体叶片为试材,研究高温和聚乙二醇(PEG)处理对多歧苏铁叶绿素荧光参数、色素含量、丙二醛含量、抗氧化酶活性、可溶性糖及脯氨酸含量的影响,以期理解多歧苏铁的抗逆机理及生态适应策略。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为多歧苏铁离体叶片。

1.2 试验方法

在云南省河口县从多年生多歧苏铁植株上剪下叶片,插在水中,当天带回昆明。第 2 天进行高温和干旱处理。高温处理时,将叶柄插在盛水的广口瓶中,分别在 25、35、45、55 ℃ 培养箱暗中处理 2 h。干旱处理时,将叶柄分别插在 0.00、0.05、0.10、0.15、0.20 g · mL⁻¹ 的 PEG 中处理 24 h,与之相对应的溶液水势梯度大约为 0.00、-0.10、-0.20、-0.40、-0.60 MPa^[5]。

1.3 项目测定

1.3.1 色素含量测定

参照王学奎^[6]的方法,用 95% 乙醇浸提,于 665、649、470 nm 比色。每处理设 3 次重复。

1.3.2 叶绿素荧光测定

叶片处理后,采用 PAM-2500 调制式叶绿素荧光仪(WALZ, Germany)测定暗适应下叶片的 PSⅡ 最大光化学效率(Fv/Fm),每处理设 4 次重复。

1.3.3 丙二醛和可溶性糖含量测定

采用硫代巴比妥酸法,丙二醛含量测定于 450、532、600 nm 比色,可溶性糖含量(mmol · L⁻¹) =

11.71 × A₄₅₀^[6]。

1.3.4 脯氨酸含量测定

采用茚三酮法,于 520 nm 比色^[6]。

1.3.5 抗氧化酶活性测定

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑法,以抑制 NBT 光氧化还原 50% 的酶量为一个活力单位;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,以 1 min 内 470 nm 下的吸光度变化 0.10 为一个酶活性单位;过氧化氢酶(CAT)活性测定,以 1 min 内 240 nm 下的吸光度降低 0.10 为一个酶活性单位^[6]。

1.4 数据分析

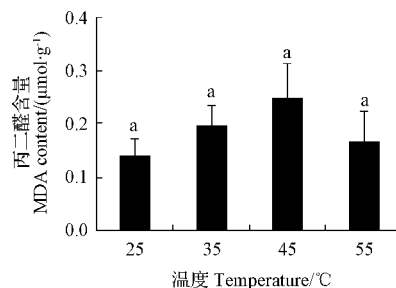
采用 Excel 2007 和 SPSS 15.0 软件进行数据分析、处理和绘图。用 LSD 进行差异显著性检验及多重比较。所有数据采用平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 高温对多歧苏铁生理指标的影响

高温对多歧苏铁色素含量和叶绿素荧光特性的影响已被报道^[4]。结果显示,在 25~45 ℃ 下,多歧苏铁的叶绿素含量虽有一定波动但光合活性并未受到影响;55 ℃ 处理后,PSⅡ 反应中心光化学活性降低,出现光抑制。

从图 1 可以看出,在 25~45 ℃ 下,丙二醛含量随温度升高而提高,55 ℃ 处理后其含量有所下



注:数据表示为平均值 ± 标准差,不同小写字母代表在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Data represent means ± SD. Different lowercase letters above the bars indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

图 1 高温对多歧苏铁丙二醛含量的影响

Fig. 1 Effects of high temperature on MDA content of *Cycas multi-pinnata*

降,但各温度处理间丙二醛含量无显著差异。由表1可知,45℃处理后,CAT活性显著高于25、35、55℃处理后的活性,但35℃和55℃处理后的CAT活性与25℃相比均无显著差异。35、45、55℃处理间,POD和SOD活性均无显著差异,但其POD活性均比25℃处理后的显著降低,分别降低65.06%、49.63%、64.39%,SOD活性均比25℃处理后的显著提高,分别提高

118.71%、93.37%、108.77%。

由表2可知,35℃处理后的可溶性糖含量与25℃处理后的无显著差异,45℃和55℃处理后的可溶性糖含量显著提高,分别提高54.93%和30.99%。35、45、55℃处理后的脯氨酸含量分别是25℃处理后的107.85%、92.15%、158.01%,但各温度处理间脯氨酸含量无显著差异。

表1 高温对多歧苏铁过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Table 1 Effects of high temperature on catalase (CAT), peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) activities of *Cycas multipinnata*

温度 Temperature/℃	过氧化氢酶活性 CAT activity/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	过氧化物酶活性 POD activity/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	超氧化物歧化酶活性 SOD activity/(U·g ⁻¹)
25	7.881±2.712bc	805.744±190.074a	289.164±46.115b
35	5.514±1.688c	281.501±132.933b	632.437±85.776a
45	14.099±1.627a	405.890±45.091b	559.165±195.602a
55	10.164±0.196b	286.954±139.971b	603.697±152.853a

表2 高温对多歧苏铁可溶性糖含量和脯氨酸含量的影响

Table 2 Effects of high temperature on the contents of soluble sugar and proline of *Cycas multipinnata*

温度 Temperature/℃	可溶性糖含量 Soluble sugar content (mmol·L ⁻¹)	脯氨酸含量 Proline content (mg·g ⁻¹)
25	0.142±0.019b	0.331±0.071a
35	0.142±0.019b	0.357±0.042a
45	0.220±0.016a	0.305±0.107a
55	0.186±0.028a	0.523±0.177a

2.2 PEG处理对多歧苏铁生理指标的影响

从表3可以看出,PEG处理后,叶绿素a、叶绿素a+b和类胡萝卜素含量与对照相比均提高。与对照相比,0.15 g·mL⁻¹ PEG处理后的叶绿素b含量有一定下降,但其它浓度PEG处理后的叶绿素b含量均有所提高。0.05~0.15 g·mL⁻¹ PEG处理后,叶绿素a/b与对照相比均提高,但0.20 g·mL⁻¹ PEG处理后该值下降。但是,各浓度PEG处理间,叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a+b、类胡萝卜素的含量及叶绿素a/b均无显著差异。由图2可知,各浓度PEG处理间,Fv/Fm也无显著差异。

由图3可知,0.05、0.10、0.15、0.20 g·mL⁻¹ PEG处理后,MDA含量分别是对照的128.33%、99.73%、119.01%、117.94%,但各浓度PEG处

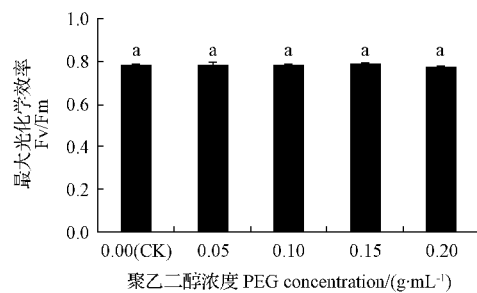


图2 PEG处理对多歧苏铁最大光化学效率(Fv/Fm)的影响

Fig. 2 Effects of PEG treatment on maximum quantum yield of photosystem II (Fv/Fm) of *Cycas multipinnata*

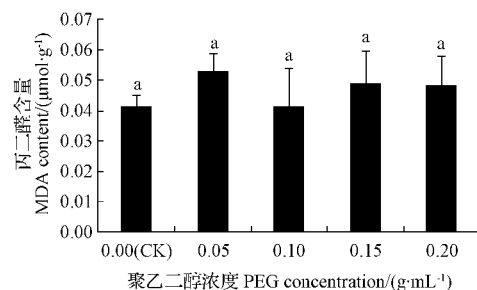


图3 PEG处理对多歧苏铁丙二醛(MDA)含量的影响
Fig. 3 Effects of PEG treatment on MDA content of *Cycas multipinnata*

表 3 PEG 处理对多歧苏铁色素含量的影响

Table 3 Effects of PEG treatment on the pigment content of *Cycas multipinnata*

聚乙二醇浓度 PEG concentration /(g · mL ⁻¹)	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content /(mg · g ⁻¹)	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content /(mg · g ⁻¹)	叶绿素 a+b 含量 Chlorophyll a+b content /(mg · g ⁻¹)	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	类胡萝卜素含量 Carotenoid content /(mg · g ⁻¹)
0.00(CK)	1.521±0.123a	0.653±0.074a	2.174±0.192a	2.338±0.127a	0.170±0.014a
0.05	1.685±0.161a	0.711±0.052a	2.395±0.211a	2.368±0.091a	0.208±0.028a
0.10	1.733±0.038a	0.739±0.038a	2.472±0.052a	2.350±0.130a	0.198±0.017a
0.15	1.553±0.160a	0.646±0.061a	2.199±0.221a	2.403±0.030a	0.200±0.016a
0.20	1.645±0.085a	0.751±0.007a	2.397±0.080a	2.190±0.129a	0.181±0.013a

表 4 PEG 处理对多歧苏铁过氧化氢酶(CAT),过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Table 4 Effects of PEG treatment on catalase (CAT),peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) activities of *Cycas multipinnata*

聚乙二醇浓度 PEG concentration/(g · mL ⁻¹)	过氧化氢酶活性 CAT activity/(U · g ⁻¹ · min ⁻¹)	过氧化物酶活性 POD activity/(U · g ⁻¹ · min ⁻¹)	超氧化物歧化酶活性 SOD activity/(U · g ⁻¹)
0.00(CK)	17.145±1.019a	1163.368±411.864a	638.611±172.760a
0.05	16.929±3.478a	1092.332±169.296a	410.225±229.696a
0.10	16.401±3.200a	1497.479±220.019a	753.763±119.666a
0.15	17.063±4.628a	1228.528±136.734a	693.221±48.089a
0.20	12.418±2.884a	811.210±273.680a	685.286±103.567a

理间 MDA 含量无显著差异。由表 4 可知,PEG 处理后 CAT 活性与对照相比均降低。随 PEG 处理浓度的升高,POD 活性和 SOD 活性均呈先降后升再降的变化趋势,以 0.10 g · mL⁻¹ PEG 处理后的活性最高。但是,各浓度 PEG 处理间 CAT、POD、SOD 活性均无显著差异。

由表 5 可知,0.10 g · mL⁻¹ 和 0.15 g · mL⁻¹ PEG 处理后的可溶性糖含量较其它浓度 PEG 处理后的显著提高,分别比对照提高 33.85% 和 32.68%。PEG 处理后,脯氨酸含量与对照相比均降低,0.05、0.10、0.15、0.20 g · mL⁻¹ PEG 处理后的脯氨酸含量分别是对照的 84.88%、70.48%、84.05%、83.45%,但各浓度 PEG 处理间脯氨酸含量无显著差异。

表 5 PEG 对多歧苏铁可溶性糖和脯氨酸含量的影响

Table 5 Effects of PEG treatment on the contents of soluble sugar and proline of *Cycas multipinnata*

聚乙二醇浓度 PEG concentration /(g · mL ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(mg · g ⁻¹)	脯氨酸含量 Proline content /(mg · g ⁻¹)
0.00(CK)	0.257±0.019b	0.840±0.131a
0.05	0.251±0.010b	0.713±0.059a
0.10	0.344±0.039a	0.592±0.091a
0.15	0.341±0.003a	0.706±0.201a
0.20	0.270±0.015b	0.701±0.132a

3 结论与讨论

植物处于胁迫状态时,光的吸收和利用之间的平衡会被打破,引起氧化胁迫,进而影响代谢甚至导致植物死亡^[7-9]。然而,植物在进化过程中形成了多种机制来避免或忍耐各种胁迫,涉及胁迫信号的感知和传导、基因表达的调控和代谢变化^[10]。

叶绿素在光能的吸收和传递等光合过程中起关键作用。类胡萝卜素也是重要的光合色素,同时它也是一种可以减轻氧化伤害的抗氧化剂^[11]。Fv/Fm 是光抑制的敏感指标^[12]。通过对叶绿素及荧光特性的分析表明,高温处理会引起多歧苏铁叶绿素含量的波动,但 55℃ 处理后才出现了光抑制现象,表明其对高温具有一定耐受性^[4]。由于大部分树木的生长发生在土壤水分张力低于 -6 bar (-0.60 MPa) 时^[3],该研究 PEG 浓度上限设在了 0.20 g · mL⁻¹ (-0.60 MPa),但不同浓度 PEG 处理并未引起光合色素含量及其组成的变化,同时也未导致光抑制现象的发生。这与幼苗中观察到的水分太大会引起叶柄腐烂有一定偏差,这可能与生理年龄、基质类型及处理时间等有一定关系。

丙二醛常被用来作为指示氧化胁迫程度的生

物标记^[13-14]。然而,有研究显示,丙二醛含量与胁迫程度之间并不是线性关系^[15-16]。因此,丙二醛含量对胁迫程度指示的有效性可能与物种、组织类型和胁迫强度等因素有关。高温及 PEG 处理均未引起丙二醛含量变化,表明膜质可能并未受到活性氧的严重攻击。然而还需借助其它的一些指示氧化胁迫程度的分子标记来验证。

极端温度和干旱等胁迫会引起可溶性糖和脯氨酸等渗透调节物质的累积^[17]。这类物质可以保持细胞膜和酶的稳定性、维持细胞膨压及重建细胞氧化还原平衡^[18-20]。但是,物种间、单株间甚至组织类型间起渗透调节作用的物质存在差异^[21-22]。高温及 PEG 处理均未引起脯氨酸含量的变化,但 45 °C 和 55 °C 处理后比 25 °C 处理后的可溶性糖含量显著提高。0.10 g · mL⁻¹ 和 0.15 g · mL⁻¹ PEG 处理后的可溶性糖含量较其它浓度 PEG 处理后的显著提高。表明可溶性糖在多歧苏铁响应高温和水分变化中可能起了一定作用。

植物体内的抗氧化酶如 SOD、CAT 和 POD 等可以控制活性氧的水平进而降低大分子的氧化速率,因此对保持细胞膜的完整性以及蛋白质和酶的稳定性等具有重要作用^[23-24]。高温热激后,不同酶的变化模式存在差异。45 °C 处理后,CAT 活性显著高于其它处理;与 25 °C 处理相比较,温度升高后 POD 活性显著下降而 SOD 活性显著升高。表明 CAT 和 SOD 在高温抵抗氧化胁迫中起着重要作用。其它研究也表明,植物在遭受胁迫时不同的抗氧化酶会呈现不同的变化模式^[25-26]。不同浓度 PEG 处理间,以上 3 种酶的活性均无显著差异,表明现有 PEG 浓度并未对多歧苏铁造成氧化胁迫等显著生理影响。

综上所述,多歧苏铁对高温具有一定耐受性,其中可溶性糖起了渗透调节等作用,CAT 及 SOD 在抗氧化胁迫中起了重要作用。除了 0.10 g · mL⁻¹ 和 0.15 g · mL⁻¹ PEG 处理后的可溶性糖含量显著提高外,各浓度 PEG 处理间,色素含量、Fv/Fm、丙二醛含量、脯氨酸含量及抗氧化酶活性均无显著差异,表明多歧苏铁具有一定的耐旱性,所试 PEG 浓度并未引起多歧苏铁明显的生理变化,还需调整处理时间和处理强度等因素进一步开展多歧苏铁对水分的适应性研究。

参考文献

- [1] 吴萍,张开平. 云南苏铁植物的现状及保护对策[J]. 林业调查规划,2008,33(4):116-119.
- [2] 郑芳勤. 叉叶类苏铁是苏铁属植物中最近化的种群[J]. 植物学通报,2001,18(2):246-250.
- [3] OLIVER C D, LARSON B C. Forest Stand Dynamics[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1996.
- [4] 郑艳玲,马焕成. 热激对多歧苏铁叶绿素含量及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西南林业大学学报,2016,36(3):1-6.
- [5] 张凤娟,李继泉,徐兴友,等. 环境因子对黄顶菊种子萌发的影响[J]. 生态学报,2009,29(4):1947-1953.
- [6] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [7] ASADA K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions[J]. Plant Physiology, 2006,141:391-396.
- [8] FOYER C H, HARBINSON J. Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport[M]//FOYER C H, MULLINEAUX P M. Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants. Boca Raton: CRC Press Inc, 1994:1-42.
- [9] GILL S S, TUTEJA N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2010,48:909-930.
- [10] CHAVES M M, MAROCO J P, PEREIRA J S. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant[J]. Functional Plant Biology, 2003,30:239-264.
- [11] ABDALLAH S B, AUNG B, AMYOT L, et al. Salt stress (NaCl) affects plant growth and branch pathways of carotenoid and flavonoid biosyntheses in *Solanum nigrum*[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016,38(3):1-13.
- [12] BJÖRKMAN O, DEMMIG B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins[J]. Planta, 1987,170:489-504.
- [13] 洪霞,练发良,刘术新,等. 3 种乡土园林地被植物对干旱胁迫的生理响应[J]. 浙江农林大学学报,2016,33(4):636-642.
- [14] 郑世英,王丽燕,张海英. 镉胁迫对两个大豆品种抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 江苏农业科学,2007(5):53-55.
- [15] 李妍. 盐和 PEG 胁迫对丝瓜幼苗抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):159-162.
- [16] 石福臣,鲍芳. 盐和温度胁迫对外来种互花米草(*Spartina alterniflora*)生理生态特性的影响[J]. 生态学报,2007,27(7):2733-2741.
- [17] SILVA E N, FERREIRA-SILVA S L, VIEGAS R A, et al. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants[J]. Environmental and Experimental Botany, 2010,69:279-285.
- [18] CHAVES M M, FLEXAS J, PINHEIRO C. Photosynthesis

under drought and salt stress; Regulation mechanisms from whole plant to cell[J]. *Annals of Botany*, 2009, 103: 551-560.

[19] KRASENSKY J, JONAK C. Drought, salt, and temperature stress induced metabolic rearrangements and regulatory networks[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2012, 63: 1593-1608.

[20] MAHAJAN S, TUTEJA N. Cold, salinity and drought stresses; An overview[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2005, 444: 139-158.

[21] ASHRAF M. Some important physiological selection criteria for salt stress tolerance in plants[J]. *Flora*, 2004, 199: 361-376.

[22] GUZEL S, TERZI R. Exogenous hydrogen peroxide increases dry matter production, mineral content and level of osmotic solutes in young maize leaves and alleviates deleterious effects of copper stress[J]. *Botanical Studies*, 2013, 54: 26.

[23] PASSARDI F, COSIO C, PENEL C, et al. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife[J]. *Plant Cell Reports*, 2005(24): 255-265.

[24] ASHRAF M, FOOLAD M R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59: 206-216.

[25] AMIRI A, BANINASAB B, GHOBADI C, et al. Zinc soil application enhance photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in almond seedlings affected by salinity stress[J]. *Photosynthetica*, 2016, 54(2): 267-274.

[26] MAI J, HERBETTE S, VANDAME M, et al. Contrasting strategies to cope with chilling stress among clones of a tropical tree, *Hevea brasiliensis* [J]. *Tree Physiology*, 2010, 30: 1391-1402.

Physiological Response of *Cycas multipinnata* to High Temperature and PEG Treatments

ZHENG Yanling

(Key Laboratory of Biodiversity Conservation in Southwest China, State Forestry Administration, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224)

Abstract: To understand the ecological adaptive mechanisms of *Cycas multipinnata* under stress conditions, leaves collected from adult trees were used to determine the effects of different temperatures (25, 35, 45, 55 °C) and different concentrations of PEG (0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 g · mL⁻¹) on physiological characteristics of *C. multipinnata*. The results showed that MDA content did not vary significantly among different temperatures; CAT activity of leaves subjected to 45 °C was significantly higher than that of leaves subjected to other temperatures; compared to those of leaves subjected to 25 °C, POD activity decreased and SOD activity increased significantly for leaves that were treated at 35, 45, 55 °C; the soluble sugar content of leaves treated at 45 °C and 55 °C increased significantly, but the proline content of leaves did not vary significantly among temperature treatments. The pigment content and composition, Fv/Fm, MDA content, proline content and antioxidant enzyme (CAT, POD and SOD) activities did not vary significantly among leaves treated at various concentrations of PEG, but the soluble sugar contents of leaves treated at 0.10, 0.15 g · mL⁻¹ of PEG were significantly higher than that of leaves treated at other concentrations of PEG. In conclusion, *C. multipinnata* possessed relatively high tolerance to heat, and soluble sugar and antioxidant enzymes such as CAT and SOD played roles in osmotic adjustment and resistance of oxidative stress under high temperatures. The physiological process of *C. multipinnata* was not significantly affected by the tested concentrations of PEG which might suggest the relatively high tolerance of the species to drought.

Keywords: *Cycas multipinnata*; high temperature; PEG treatment