

不同铝浓度下杉木幼苗叶绿素荧光参数的变化规律

吕蒙蒙^{1,2}, 陈宇^{1,2}, 林思祖^{1,2*}

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 国家林业局杉木工程技术研究中心, 福建福州 350002)

摘要 以杉木实生苗为材料, 采用营养液水培试验法, 同时设置 5 个铝胁迫浓度, 探究在不同铝胁迫浓度下叶绿素荧光参数的变化情况。结果表明: 随着铝胁迫浓度的增加, 杉木叶片的叶绿素荧光参数也发生了改变。总的来说, 杉木叶片的 F_o 、 F_m 和 F_v 均随着铝胁迫浓度的增加呈现出先降低后升高的趋势; F_v/F_m 、 QY 均表现出先升高后降低再升高最后降低的趋势; F_v/F_o 随着浓度的增加先降低后升高再降低; F_o 、 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 、 F_v/F_o 以及 QY 均在 1.0 mmol/L 时达到最低值; NPQ 均明显高于 CK, 且随着铝浓度的增加变化趋势与 F_v/F_m 和 QY 相一致, 且在 1.5 mmol/L 时达到最高值; Q_p 均明显高于 CK, 且随着铝浓度的增加呈现出先升高后降低的趋势, 在铝浓度为 1.0 mmol/L 时达最高值。

关键词 杉木; 铝胁迫; 叶绿素荧光

中图分类号 S 791.27 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)18-0120-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.18.033



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Changes of Chlorophyll Fluorescence Parameters of Chinese Fir Seedlings under Different Aluminum Concentrations

LÜ Meng-meng^{1,2}, CHEN Yu^{1,2}, LIN Si-zu^{1,2} (1. Forestry College, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. Chinese Fir Engineering Technology Research Center, National Forestry and Grassland Administration, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract In this experiment, Chinese fir seedlings were used as the material, nutrient solution hydroponics test method was adopted, and five aluminum stress concentrations were set at the same time to explore the changes of chlorophyll fluorescence parameters under different aluminum stress concentrations. The results showed that the chlorophyll fluorescence parameters of Chinese fir leaves changed with the increase of aluminum stress concentration. In general, the F_o , F_m and F_v of Chinese fir leaves decreased first and then increased with the increase of aluminum stress concentration; the values of F_v/F_m and QY showed a trend of increasing-decreasing-increasing-decreasing. The value of F_v/F_o decreased first and then increased and then decreased with the increase of concentration. F_o , F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_o and QY all reached their lowest values at 1.0 mmol/L. NPQ values were significantly higher than CK, and the trend of change with the increase of aluminum concentration was consistent with F_v/F_m and QY , and reached the highest value at 1.5 mmol/L. All the Q_p were significantly higher than CK, and with the increase of aluminum concentration, the Q_p values first increased and then decreased, reaching the maximum value at the aluminum concentration of 1.0 mmol/L.

Key words Chinese fir; Aluminum stress; Chlorophyll fluorescence

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)又名沙木、沙树等, 杉科乔木, 亚热带地区优质速生针叶树种, 林业价值高, 且分布广阔, 是我国南方地区经营历史最长的用材树种之一^[1-3]。杉木的主要栽培区遍及包括台湾省在内的南方 17 个省区, 而我国南方土壤以酸性红壤为主, 加之近几十年来工业化发展和人类活动等共同加剧了环境酸沉降过程, 导致我国大面积受到酸雨的危害, 进而加剧土壤酸化^[4]。土壤酸化往往与铝毒相伴而生, 酸性条件下土壤中的固定铝不断溶出, 活性铝增加对植物生长造成严重的抑制作用。此外, 杉木人工林连栽代数增加, 土壤 pH 下降, 将进一步加剧土壤的铝毒害^[5], 如何提高杉木耐铝能力已成为我们林业生产中亟需解决的问题。

叶绿素荧光分析技术是一种快速、高效、精确且无损伤测定植物叶片的荧光参数以反映植物光合过程动态变化的技术, 在测定叶片光合作用过程中光系统在对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用, 具有反映“内在性”特点^[5-7]。通过观测植物叶绿素荧光参数的变化, 可以研究和分析植物光能利用的一般规律及其在不同外界因素影响

下的动态响应, 广泛应用于植物光合生理、抗性育种以及林木引种等方面^[8-10]。该试验以杉木实生苗为材料, 采用水培试验的方法, 通过研究不同铝处理浓度下杉木幼苗叶绿素荧光参数的变化规律, 为丰富杉木人工林耐铝毒研究提供更多的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料 以福建尤溪国有林场提供的杉木三代种子园种子为原始材料, 经培育后获得的长势较一致的实生苗。

1.2 试验设计 杉木种子用去离子水清洗 3 遍后, 置于初始温度为 45 °C 的超纯水中浸泡 24 h, 期间用玻璃棒搅动。然后去掉浮于水面的瘪粒和涩粒, 用 3 g/L $KMnO_4$ 消毒 0.5 h, 再用去离子水清洗干净, 静置待用。将浸泡好的种子放在滤纸板上, 置于光照 14 h (25 °C)、黑暗 10 h (22 °C), 光强 110 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$, 相对湿度 75% 的气候箱中。萌发 15 d 后, 挑选长势良好的幼苗移栽至盛有 Hoagland-Arnon 营养液 (pH 为 5.5) 的培养框中, 置于温室进行水培。控制温度 25 °C, 光照时间 12 h/d, 光照强度为 12 000 lx。每 7 d 更换 1 次营养液, 培养 30 d 后选取长势一致的幼苗进行试验。铝浓度设为 0 (CK)、0.5、1.0、1.5、2.0 mmol/L, 共计 5 个处理, 每个处理 3 个重复, 胁迫 30 d 后采样进行测定^[11-12]。

1.3 测定指标 将杉木叶片置于暗箱中进行充分暗反应至少 20 min, 用 PSI 公司生产的叶绿素荧光成像仪 Handy FluorCam 测定初始荧光 (F_o)、最大荧光 (F_m)、可变荧光

基金项目 国家林业和草原局杉木工程技术研究中心平台建设项目 (ptjh13002)。

作者简介 吕蒙蒙 (1993—), 男, 河南灵宝人, 硕士研究生, 研究方向: 森林培育。* 通信作者, 教授, 从事森林培育及林木遗传育种研究。

收稿日期 2020-03-28

(F_v)、PSII潜在光化学活性(F_v/F_o)、PSII最大光化学效率(F_v/F_m)、PSII实际光化学效率(QY)、光化学猝灭系数(Qp)和非光化学猝灭系数(NPQ)等相关参数。每3株叶片为1个重复,共计3个重复^[13-14]。

2 结果与分析

2.1 不同铝浓度对杉木幼苗 F_o 、 F_m 、 F_v 的影响 由表1可知,随着铝浓度的增加,杉木叶片的 F_o 、 F_m 和 F_v 均表现出先降低后升高的趋势。与CK相比,各浓度处理下的 F_o 、 F_m 以及 F_v 显著降低,尤其当铝浓度为1.0 mmol/L时达到最低值,与CK相比分别降低了12.1%、15.9%、16.8%,从此时开始,杉木叶片的 F_o 、 F_m 和 F_v 开始逐渐提高。

由表1可知, F_o 在铝浓度CK和1.0 mmol/L、CK和1.5 mmol/L、0.5 mmol/L和1.0 mmol/L以及1.0 mmol/L和2.0 mmol/L时存在显著差异,其他水平之间差异不显著; F_m 在铝浓度CK和1.0 mmol/L、CK和1.5 mmol/L、CK和2.0 mmol/L、0.5 mmol/L和1.0 mmol/L、1.0 mmol/L和1.5 mmol/L、1.0 mmol/L和2.0 mmol/L时存在显著差异,其他水平之间差异不显著; F_v 在铝浓度CK和1.0 mmol/L、CK和1.5 mmol/L、0.5 mmol/L和1.0 mmol/L、1.0 mmol/L和1.5 mmol/L、1.0 mmol/L和2.0 mmol/L时存在显著差异,其他水平之间差异不显著。

表1 不同铝浓度下杉木幼苗 F_o 、 F_m 、 F_v 的多重比较

Table 1 Multiple comparison of F_o , F_m and F_v of Chinese fir seedlings under different aluminum concentrations

浓度 Concentration mmol/L	F_o	F_m	F_v
0(CK)	47.32±1.36 a	256.39±4.24 a	209.07±3.95 a
0.5	44.61±0.86 ab	244.44±5.23 ab	199.83±4.70 ab
1.0	41.59±0.75 c	215.55±5.60 c	173.96±5.28 c
1.5	43.32±1.13 bc	237.23±5.14 b	193.91±4.70 b
2.0	44.73±1.09 ab	240.10±6.51 b	195.37±6.00 ab

注:同列不同字母表示0.05水平上差异显著

Note: Different small letters within the same column meant significant difference ($P<0.05$)

2.2 不同铝浓度对杉木幼苗 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、QY 的影响 由表2可知,随着铝浓度的增加,杉木叶片的 F_v/F_m 表现出先升高后降低再升高最后降低的趋势; F_v/F_o 随着铝浓度的增加表现出先降低后升高再降低的趋势。与CK相比,当铝浓度为1.0 mmol/L时, F_v/F_m 、 F_v/F_o 均达到最低值,分别与CK相比降低了1.4%、7.0%。杉木叶片的QY随着铝浓度的增加所呈现的趋势与 F_v/F_m 相一致,与CK相比,当铝浓度为1.0 mmol/L时,QY达到最低,相比CK降低了1.3%。

由表2可知, F_v/F_m 和QY在各处理浓度下的差异均不显著; F_v/F_o 在铝浓度为1.0、1.5 mmol/L时存在显著差异,其他水平之间均不显著。

2.3 不同铝浓度对杉木幼苗 NPQ、Qp 的影响 由表3可知,随着铝浓度的增加,杉木叶片的NPQ表现出先升高后降低再升高最后降低的趋势。与CK相比,各浓度处理下的NPQ均大于CK,尤其当铝浓度为1.5 mmol/L时达最高值,高出CK 36.0%。杉木叶片的Qp随着铝浓度的增加表现出

先升高后降低的趋势。与CK相比,各浓度处理下的Qp均明显高于CK,以1.0 mmol/L时达到最高,高出CK 14.4%。

表2 不同铝浓度下杉木幼苗 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、QY的多重比较

Table 2 Multiple comparison of F_v/F_m , F_v/F_o and QY of Chinese fir seedlings at different aluminum concentrations

浓度 Conc- centration mmol/L	F_v/F_m	F_v/F_o	QY
0(CK)	0.814 8±0.005 2 a	4.520 2±0.123 6 ab	0.815 3±0.005 4 a
0.5	0.816 1±0.003 3 a	4.498 0±0.095 7 ab	0.816 1±0.003 3 a
1.0	0.803 7±0.005 0 a	4.201 7±0.120 2 b	0.804 7±0.004 9 a
1.5	0.815 8±0.005 1 a	4.553 1±0.128 0 a	0.815 8±0.005 1 a
2.0	0.810 7±0.005 6 a	4.413 3±0.126 0 ab	0.811 4±0.005 7 a

注:同列不同字母表示在0.05水平上差异显著

Note: Different small letters within the same column meant significant difference ($P<0.05$)

由表3可知,NPQ在铝浓度CK和0.5 mmol/L、CK和1.0 mmol/L、CK和1.5 mmol/L、CK和2.0 mmol/L间存在显著差异,其他水平之间差异不显著;Qp在铝浓度CK和0.5 mmol/L、CK和1.0 mmol/L、CK和1.5 mmol/L、CK和2.0 mmol/L、0.5 mmol/L和1.0 mmol/L、1.0 mmol/L和2.0 mmol/L时存在显著差异,其他水平之间差异不显著。

表3 不同铝浓度下杉木幼苗NPQ、Qp的多重比较

Table 3 Multiple comparison of NPQ and Qp of Chinese fir seedlings under different aluminum concentrations

浓度 Concentration mmol/L	NPQ	Qp
0(CK)	1.114 4±0.035 9 b	0.590 0±0.013 4 c
0.5	1.408 9±0.044 1 a	0.633 6±0.012 0 b
1.0	1.358 3±0.074 4 a	0.675 0±0.011 5 a
1.5	1.510 6±0.079 9 a	0.644 2±0.011 4 ab
2.0	1.441 9±0.080 1 a	0.632 5±0.011 4 b

注:同列不同字母表示在0.05水平上差异显著

Note: Different small letters within the same column meant significant difference ($P<0.05$)

3 讨论与结论

植物叶片是光合作用的主要部位和铝毒害的关键位点之一,植物通过叶绿素捕获光能获得能量,这一过程所产生的荧光信号可以对植物生理变化产生敏感反映,因此可以把叶绿素荧光参数作为衡量植物体在逆境胁迫条件下耐受性的一项重要指标^[15]。

一般而言,初始荧光 F_o 用于表示PSII反应中心的基本状态, F_o 或降低或升高,降低可能因为胁迫引起天线热耗散导致光合色素的损失;升高可能是相对过剩的光能损害了PSII反应失活,也有可能是2种因素互相影响的结果。 F_m 和 F_v 分别指最大荧光和可变荧光,用来表示光系统PSII的电子传递情况和PSII反应中心活性的高低^[16]。该试验发现, F_o 、 F_m 和 F_v 随着铝浓度增加的变化趋势一致,并且均低于CK,表明在铝胁迫下杉木叶片光合能力受到抑制。

F_v/F_m 主要指光系统PSII的光化学效率,而且该值的大小与植物光合速率密切相关,该试验中发现, F_v/F_m 随着浓度的增加呈现出先升高后降低再升高最后降低的趋势;

F_v/F_o 。主要指 PSII 的潜在光化学活性,该值越高代表具有活性的反应中心数量越多,能更有效地将光能转化为化学能,该试验中随着浓度的增加, F_v/F_o 先降低后升高再降低;QY 为实际最大光量子产率,可以反映出植物光合电子传递速率,是指植物目前的实际最大光合效率,其变化规律与 F_v/F_m 相一致; F_v/F_m 、 F_v/F_o 以及 QY 都以 1.0 mmol/L 时达到最低值^[17-18]。

叶绿素荧光耗散途径分为非光化学淬灭和光化学淬灭形式。Qp 主要指光化学淬灭,是光合作用引起的荧光淬灭,可以反映出植物光合活性的高低,该试验中铝胁迫使 Qp 明显升高,且随着浓度的增加呈现先升高后降低的趋势;NPQ 主要指非光化学淬灭,反映了植物将多余的光能以热能形式耗散的能力,是逆境胁迫下植物防止过剩光能对光合机构造成破坏的一种重要保护机制。该试验中不同铝浓度下的 NPQ 均升高,表明铝胁迫抑制了杉木对光能的利用,进而对杉木生长造成一定的影响^[19-20]。

随着铝胁迫浓度的增加,杉木叶片的叶绿素荧光参数发生了改变。总的来说,杉木叶片的 F_o 、 F_m 和 F_v 均随着铝胁迫浓度的增加呈现出先降低后升高的趋势; F_v/F_m 、QY 均表现出先升高后降低再升高最后降低的趋势; F_v/F_o 随着浓度的增加先降低后升高再降低; F_o 、 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 、 F_v/F_o 以及 QY 均在 1.0 mmol/L 时达到最低值;NPQ 均明显高于 CK, NPQ 随着铝浓度的增加变化趋势与 F_v/F_m 、QY 一致;Qp 均明显高于 CK,且随着铝浓度的增加呈现出先升高后降低的趋势,铝浓度 1.0 mmol/L 时达最高值。

参考文献

- [1] 俞新妥.杉木栽培学[M].福州:福建科学技术出版社,1997.
- [2] 周丽丽.不同发育阶段杉木人工林养分内循环与周转利用效率的研究[D].福州:福建农林大学,2014;1.
- [3] ULRICH B, MAYER R, KHANNA P K. Chemical changes due to acid pre-

cipitation in a loess-derived soil in central Europe[J]. Soil science, 1980, 130: 193-199.

- [4] 俞新妥.中国杉木研究进展(2000—2005) I.杉木生理生态研究综述[J].福建林学院学报,2006,26(2):177-185.
- [5] 林静雯,李莹,周垂帆,等.森林生态系统铝毒危害研究进展[J].世界林业研究,2014,27(6):21-26.
- [6] 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.
- [7] SCHREIBER U, BILGER W, NEUBAUER C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis[J]. Ecophysiology of photosynthesis, 1995, 100: 49-70.
- [8] MURCHIE E H, LAWSON T. Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications[J]. Journal of experimental botany, 2013, 64(13): 3983-3998.
- [9] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochimica et biophysica acta; General subjects, 1989, 990(1): 87-92.
- [10] 贺立红,贺立静,梁红.银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较[J].华南农业大学学报,2006,27(4):43-46.
- [11] 张家君,吕蒙蒙,武忆寒,等.剪根和植物生长调节剂对杉木幼苗生长的影响[J].亚热带农业研究,2019,15(3):157-162.
- [12] 许小丽,崔朋辉,林思祖,等.不同供铝水平对杉木幼苗生长的影响[J].广东农业科学,2016,43(7):45-50.
- [13] 熊日荣.不同杉木无性系在若干逆境下叶绿素荧光参数的比较分析[D].福州:福建农林大学,2011.
- [14] 林晗,陈辉,吴承祯,等.千年桐种源间叶绿素荧光特性的比较[J].福建农林大学学报(自然科学版),2012,41(1):34-39.
- [15] 理娜,王培,马志慧,等.酸铝复合胁迫对杉木苗叶绿素荧光的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(6):686-690.
- [16] 马志慧.铝胁迫下杉木无性系苗若干生理过程及转录组的研究[D].福州:福建农林大学,2015.
- [17] 钟秋生,林郑和,郝志龙,等.氟铝互作对茶树叶片叶绿素荧光特性的影响[J].茶叶科学,2019,39(5):537-546.
- [18] 班宜辉,徐舟影,李静,等.叶绿素荧光分析技术在实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2019,36(9):172-175.
- [19] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS W W III, BARKER D H, et al. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation[J]. Physiologia plantarum, 1996, 98(2): 253-264.
- [20] 叶义全,洪凯,张家君,等.铝胁迫对杉木幼苗生长、叶片光合特性和叶绿体超微结构的影响[J].东北林业大学学报,2020,48(2):7-11,16.

(上接第 119 页)

- [8] 张刚,魏典典,郭佳宝,等.干旱胁迫下不同种源文冠果幼苗的生理反应及其抗旱性分析[J].西北林学院学报,2014,29(1):1-7.
- [9] 丁明秀,敖妍.文冠果开花座果研究进展[J].中国农学通报,2008,24(10):381-384.
- [10] 马凯,高述民,胡青,等.文冠果雄蕊发育的解剖学及雄性不育蛋白的研究[J].北京林业大学学报,2004,26(5):40-42.
- [11] 牟洪香,侯新村,刘巧哲.木本能源植物文冠果的表型多样性研究[J].林业科学研究,2007,20(3):350-355.
- [12] 李占林,李锐,张鹏.文冠果化学成分及药理作用研究进展[J].沈阳药科大学学报,2004,21(6):472-475.
- [13] 张晓燕,高永,胡春元,等.文冠果耐盐性试验研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(7):168-172.
- [14] 田吉,张芸香,樊兴路,等.文冠果幼苗对盐胁迫的生长策略响应和耐盐性阈值研究[J].中国农学通报,2016,32(19):18-22.
- [15] 王艺林,吕东,刘建海,等.甘肃省河西走廊干旱荒漠区文冠果不同种源造林效果[J].河北林果研究,2016,31(4):370-373.

- [16] 肖冬梅,王鑫,姬兰柱.水分胁迫对长白山阔叶红松林主要树种生长及生物量分配的影响[J].生态学杂志,2004,23(5):93-97.
- [17] 孙书存,陈灵芝.辽东栎幼苗对干旱和去叶的生态反应的初步研究[J].生态学报,2000,20(5):893-897.
- [18] 侯舒婷,张倩,刘思岑,等.黄金香柳对水分胁迫的生长与生理响应[J].西北植物学报,2014,34(12):2491-2499.
- [19] 陈立松,刘星辉.果树逆境生理[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [20] 赵春桥,陈敏,侯新村,等.干旱胁迫对柳枝稷生长与生理特性的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(3):126-130.
- [21] 谢志玉,张文辉,刘新成.干旱胁迫对文冠果幼苗生长和生理生化特征的影响[J].西北植物学报,2010,30(5):948-954.
- [22] 宇万太,于永强.植物地下生物量研究进展[J].应用生态学报,2001,12(6):927-932.
- [23] 梁君瑛.水分胁迫对桑树苗生长及生理生化特性的影响[D].北京:北京林业大学,2008.
- [24] 王丹,龚荣高,荣毅.干旱胁迫对枇杷生理特性及生长的影响[J].西北植物学报,2016,36(7):1399-1407.