

## 不同淹水程度对淮南煤矿塌陷区池杉生理生化特性的影响

方惠芸<sup>1</sup>, 于一苏<sup>2</sup>, 吴中能<sup>2</sup>, 徐陆婷婷<sup>1</sup>, 李若男<sup>1</sup>, 傅松玲<sup>1\*</sup>

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 安徽省林业科学研究所, 合肥 230031)

**摘要:** 比较研究不同淹水程度对淮南煤矿塌陷区池杉的生理生化特性。结果表明, 不同的淹水程度显著影响池杉的叶绿素含量、可溶性糖含量、丙二醛含量以及相对电导率。其中, 可溶性糖含量、相对电导率、丙二醛含量随着淹水深度的增加先下降后上升, 叶绿素含量随着淹水深度的增加先上升后下降。研究表明在适度的淹水条件下, 池杉适应于生长; 而当水分过度饱和的情况下, 不利于池杉的生长。

**关键词:** 池杉; 淹水; 生理生化特性

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2014)01-0122-04

## Effects of different waterlogging stress on the physiological and biochemical characteristics of *Taxodium ascendens* in coal mining subsidence area in Huainan city

FANG Huiyun<sup>1</sup>, YU Yisu<sup>2</sup>, WU Zhongneng<sup>2</sup>, XU Lutingting<sup>1</sup>, LI ruonan<sup>1</sup>, FU Songling<sup>1</sup>

(1. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Forestry Research Institute of Anhui Province, Hefei 230031)

**Abstract:** In the paper, we studied the effect of different waterlogging stress on the physiological and biochemical characteristics of *Taxodium ascendens* in coal mining subsidence area in Huainan city. The results showed that different degree of waterlogging significantly affected the chlorophyll content, soluble sugar content, MDA (malondialdehyde) content and relative electric conductivity of *Taxodium ascendens*. With the increase of waterlogging level, the soluble sugar content, the relative electric conductivity and the MDA content declined at first and then increased. However, the chlorophyll content increased at first and then declined along with the increase of the depth of water. The research showed that moderate waterlogging stress was conducive for *Taxodium ascendens* to growth, while excessive waterlogging stress was harmful.

**Key words:** *Taxodium ascendens*; waterlogging stress; physiological-biochemical characteristic

淮南煤矿位于淮河中游两岸, 随着淮南煤矿的不断开采, 采空塌陷区的范围不断增加, 对生态环境造成了严重的影响, 植被的选择及恢复具有重要意义<sup>[1]</sup>。而对于淮南煤矿塌陷区已经淹水的植物的生长状况的研究可以为塌陷区植被的选择与恢复提供理论依据。池杉是淮南塌陷区的常见树种, 并且在不同的淹水深度中都有生长。它不仅耐水湿, 而且其通直高大的树干及秋色叶具有极高的观赏价值, 但是对于淮南煤矿塌陷区自然生长状况下的池杉耐水淹的程度仍然值得研究。通过调查和测定植物在淹水胁迫下的形态解剖变化、生理生化指标及

代谢途径的改变来评价植物的耐水湿性, 这在评价植物种源、品种及无性系耐水湿性差异时具有重要意义<sup>[2-3]</sup>。本试验以淮南市凤台县煤矿塌陷区生长的池杉为研究对象, 探讨水分胁迫对池杉生理生化特性的影响。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究地概况

淮南位于华东腹地, 其地理坐标为 32°32'45"~33°01'14"N, 116°2'21"~117°11'59"E, 海拔 25 m 以下, 年均降雨量 800~1000 mm, 年均无霜期 235 d,

收稿日期: 2013-04-25

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAC09B03)资助。

作者简介: 方惠芸, 硕士研究生。E-mail: fanghuiyun126@126.com

\* 通信作者: 傅松玲, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: fusongling@ahau.edu.cn

年均气温 15.3℃, 极端最低气温 -22.2℃~22.8℃。淮南煤矿塌陷区的主要土壤类型有棕壤、黄棕壤、砂姜黑土、潮土、水稻土等。土壤有机质含量低, 呈中性偏碱。本研究以淮南市凤台县煤矿塌陷区为试验地。

## 1.2 试验材料及试验设计

以 2011 年栽植于凤台县煤矿塌陷区的池杉为试验材料, 池杉处于常年淹水状态。由于凤台县煤矿塌陷区为未稳沉区, 但年下沉速度不大, 故在自然状态下, 以下 4 个处理的池杉基本能保持在所在淹水程度下生长, 其淹水程度为年平均值。本试验共 4 组处理水平: 第 1 组为对照 (CK) 处理, 即为不淹水生长的池杉; 第 2 组为淹水 10 cm 生长的池杉; 第 3 组为淹水 30 cm 生长的池杉; 第 4 组为淹水 70 cm 生长的池杉。每个处理分别随机选取 3 株测定其胸径和树高, 并对其新鲜叶片分别采样, 分装后带回实验室进行生理生化指标测定, 包括叶绿素含量、可溶性糖含量、丙二醛(MDA)含量、相对电导率。

## 1.3 测定方法

**1.3.1 树高与胸径的测定** 2012 年 8 月 23 日, 对每组淹水处理的池杉分别随机选取 3 株, 测定其树高与胸径并记录。

**1.3.2 可溶性糖含量的测定**<sup>[4]</sup> 2012 年 8 月 23 日在每组淹水处理中随机选取 3 株池杉, 分别从每株上取其新鲜植物叶片, 装入保鲜袋带回。于 2012 年 8 月 24 日采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。将叶片剪碎混匀, 取 0.5 g 共 3 份, 分 3 次加蒸馏水 12.5 ml 研磨, 加塞于沸水浴中浸提 10 min。冷却后过滤, 定容至 25 ml, 再取 1 mL 定容至 25 mL, 取其中 1 mL 于试管中, 加入 4 mL 蒽酮试剂, 沸水浴 10 min, 冷却后于 620 nm 处比色。

**1.3.3 丙二醛 (MDA) 含量的测定**<sup>[4]</sup> 2012 年 8 月 23 日在每组淹水处理中随机选取 3 株池杉, 分别从每株上取其新鲜植物叶片, 装入保鲜袋带回。2012 年 8 月 24 日, 将叶片剪碎混匀后称取 1 g 共 3 份, 分别放入研钵中, 加入 2 mL 10%TCA 和少量石英砂, 研磨至匀浆再加 8 mL TCA 进一步研磨, 匀浆离心 10 min。吸取离心的上清液 2 mL (对照加 2 mL 蒸馏水), 加入 2 mL 0.16%TBA 溶液, 混匀物于沸水浴上反应 15 min, 迅速冷却后再离心。取上清液测定 532、600 和 450 nm 下的消光度。

**1.3.4 膜透性的测定**<sup>[4]</sup> 2012 年 8 月 23 日在每组淹水处理中随机选取 3 株池杉, 分别从每株上取其新鲜植物叶片, 装入保鲜袋带回。于 2012 年 8 月

24 日采用电导法测定。将叶片用蒸馏水冲洗 3 次, 用滤纸吸干, 称取 0.1 g 放入小烧杯中, 加入蒸馏水 15 mL, 静置 30 min, 用 EC214 型电导仪测其电导值(L 1), 然后于沸水浴中 5 min 以杀死组织, 待冷至室温后, 在测电导值 L2。

**1.3.5 叶绿素含量测定**<sup>[4]</sup> 2012 年 8 月 23 日在每组淹水处理中随机选取 3 株池杉, 分别从每株上取其新鲜植物叶片, 装入保鲜袋带回。2012 年 8 月 24 日, 将叶片剪碎混匀, 取 0.2 g 共 3 份放入刻度试管, 加入 10 mL 80%丙酮溶液, 在室温 25℃下至于暗处浸提 48 h, 期间摇动数次, 至材料完全变白为止。取浸提液用分光光度计在 470 nm、646 nm 及 663 nm 波长下同时比色测定其吸光度。

## 1.4 数据处理

用 Excel 软件完成全部数据处理和作图, 用 SPSS10.0 统计软件进行 ANOVA 分析, 检验相应数据的差异显著性, 并用字母法进行标记。

## 2 结果与分析

### 2.1 淹水胁迫对池杉生长量的影响

植物遭受胁迫时, 其生物量的变化反映了其对外界环境的适应能力, 也比较客观地反映逆境条件与植物生长之间的关系。如表 1 所示, 不同的淹水胁迫对于池杉的树高的影响表现为差异显著 ( $P<0.05$ ), 对胸径的影响差异不显著 ( $P<0.05$ )。随着淹水深度的增加, 树高及胸径的变化规律均呈现为先上升后下降的趋势, 其中淹水 30 cm 的池杉树高 ( $4.2\text{ m}\pm 0.42\text{ m}$ ) 与胸径 ( $7.05\text{ cm}\pm 1.48\text{ cm}$ ) 最大, 而淹水 70 cm 的池杉树高 ( $3.15\text{ m}\pm 0.21\text{ m}$ ) 与胸径 ( $4.8\text{ cm}\pm 0.85\text{ cm}$ ) 急剧下降, 说明了池杉适应于适度的淹水胁迫下生长, 而过度淹水胁迫了其生长。

### 2.2 淹水胁迫对叶片可溶性糖含量的影响

植物体内的碳素营养状况常以糖含量作为重要指标, 植物为了适应逆境条件会主动积累一些可溶性糖以维持细胞膨压, 降低渗透势和冰点, 从而适应外界环境条件的变化。淹水条件下植株的可溶性糖不仅可提供必要的能量, 还能调节体内代谢, 因而能在一定程度上减轻淹水的危害。如图 1 所示, 在不同的淹水胁迫下, 池杉叶片中可溶性糖的含量差异性显著 ( $P<0.05$ ), 随着淹水深度的增加表现为先下降后上升。其中淹水深度为 30 cm 池杉叶片中可溶性糖含量 (以鲜重计, 下同) ( $0.067\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) 最低, 而淹水深度为 70 cm 池杉的叶片中可溶性糖的含量急剧上升, 其含量最高 ( $0.173\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ )。

表 1 不同淹水胁迫对叶片生长量的影响

Table 1 Effects of different waterlogging stress on growth parameters

| 不同淹水程度/cm<br>Different waterlogging stress | 树高/m<br>Tree height    | 胸径/cm<br>Diameter at breast height |
|--|------------------------|------------------------------------|
| CK   | 3.35±0.21 <sup>a</sup> | 5.2±0.57 <sup>a</sup>              |
| 10   | 3.7±0.28 <sup>ab</sup> | 6.6±1.41 <sup>a</sup>              |
| 30   | 4.2±0.42 <sup>b</sup>  | 7.05±1.48 <sup>a</sup>             |
| 70   | 3.15±0.21 <sup>a</sup> | 4.8±0.85 <sup>a</sup>              |

注:表中数据为平均值±标准误差,具有相同字母的处理没有达到显著性检验( $P<0.05$ )。下同。

Note: The data in the table represent average value±standard error, and those with the same letters are not significantly different ( $P<0.05$ ). The same below.

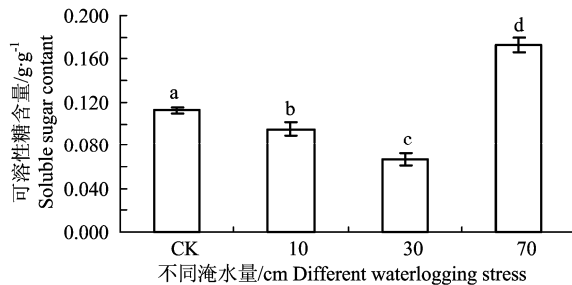


图 1 不同淹水胁迫对叶片可溶性糖含量的影响

Figure 1 Effects of different waterlogging stress on soluble sugar content

### 2.3 淹水胁迫对叶片丙二醛(MDA)与相对电导率的影响

植物器官在逆境下易遭受伤害,往往发生膜脂

过氧化作用,丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害程度<sup>[5]</sup>。水分胁迫下 MDA 积累越多,表明组织的保护能力越弱。相对电导率是植物膜透性的表现形式,水分胁迫下 MDA 积累越多,电导率增大幅度越大。如图 2 所示,在不同的淹水胁迫下,池杉叶片的相对电导率(图 2A)表现为差异显著( $P<0.05$ ),整体表现递增的趋势。在不同的淹水胁迫下,池杉叶片中丙二醛的含量(图 2B)整体表现趋势大体上与丙二醛相一致。其中淹水深度为 70 cm 的池杉与不淹水、淹水 10 cm、淹水 30 cm 的池杉差异显著( $P<0.05$ ),其丙二醛含量最高,说明过量淹水导致叶片中 MDA 含量的增加。

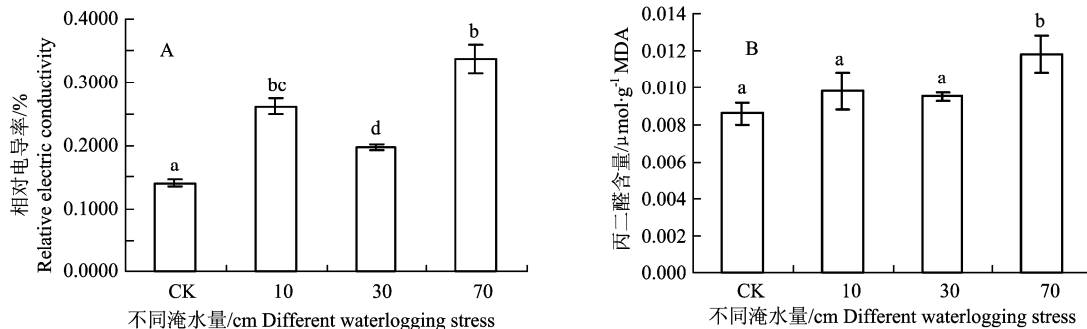


图 2 不同淹水胁迫对叶片相对电导率(A)及丙二醛(MDA)(B)含量的影响

Figure 2 Effects of different waterlogging stress on relative electric conductivity (A) and MDA (B) in leaf

表 2 不同淹水胁迫对叶片叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of different waterlogging stress on chlorophyll content

| 不同淹水程度/cm<br>Different waterlogging stress | Chla                    | Chlb                   | Chl                     |
|--|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| CK   | 12.63±0.74 <sup>a</sup> | 4.35±0.19 <sup>a</sup> | 16.98±0.55 <sup>a</sup> |
| 10   | 15.33±0.33 <sup>b</sup> | 4.47±0.15 <sup>a</sup> | 19.80±0.18 <sup>b</sup> |
| 30   | 10.81±0.55 <sup>c</sup> | 2.87±0.41 <sup>b</sup> | 13.68±0.96 <sup>c</sup> |
| 70   | 8.10±0.75 <sup>d</sup>  | 2.25±0.05 <sup>c</sup> | 10.35±0.70 <sup>d</sup> |

### 2.4 淹水胁迫对叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是树木光合作用中重要的光能吸收色素,叶绿素含量的多少在一定程度上反映了植物光

合作用强度的高低,从而影响植物的生长。研究表明,水分胁迫可使植物叶绿素含量降低;或者在水分过饱和条件下也会导致植株叶绿素含量降低<sup>[6]</sup>。

不同的淹水胁迫对于池杉叶片中叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb)、叶绿素总量 (Chl) 均影响显著 ( $P < 0.05$ ) (如表 2)。其中随着淹水深度的增加, 叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量的含量均为先升高后下降。在淹水程度为 70 cm 条件下, 池杉叶片中 Chla、Chlb、Chl 均低于其他 3 个淹水处理, 表明淹水胁迫降低了池杉叶片叶绿素含量。而在淹水 10 cm 条件下, 池杉叶片中叶绿素含量较其他 3 组最高。

### 3 小结与讨论

水淹胁迫所引起的植物对低氧和低光照条件的生理生态学响应是多方面的<sup>[7]</sup>。淹水胁迫会使不耐淹物种的光合产物运输受阻, 光合产物积累在叶片中, 对光合率形成了反馈抑制<sup>[8-9]</sup>, 使得光合速率降低, 维管束水势与渗透势下降, 叶绿素含量和可溶性蛋白质含量相应下降; 而耐淹植物对水淹则呈正面的响应, 或者在短时间内植物的生理活动受到影响, 随后产生适应性, 恢复正常生长或维持在较为稳定的状态<sup>[9-11]</sup>。

本研究表明, 过度的淹水对于池杉的生理活动产生了影响, 在淹水过饱和的情况下, 池杉叶片可溶性糖含量升高、MDA 含量显著上升, 且相对电导率的变化趋势与丙二醛含量的变化趋势相一致, 均说明了水分过饱和的条件不利于池杉生长。这与杨燕<sup>[12]</sup>等人的研究一致, 主要原因可能是在水分过度饱和的状态下, 叶片机体膜脂过氧化作用加剧, 破坏了细胞膜系统, 植物因而受到伤害。而随着淹水深度的增加, 叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量的含量均为先升高后下降, 在淹水 70 cm 的条件下叶绿素含量最低, 这与肖宜安<sup>[7]</sup>等人的研究一致, 可能是由于水分过量会引起池杉根系产生大量的乙醇、乙烯等, 使细胞分裂素 (CTK) 降低, 导致叶绿素含量的减少<sup>[6, 13]</sup>。说明了在淹水 70 cm 的水分过饱和条件下不利于池杉生长。

综上所述, 在适度的淹水条件下, 池杉适应于生长; 而当水分过度饱和的情况下, 不利于池杉的生长。这对于淮南煤矿塌陷区不同淹水区域植被生长与选择具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 王福琴. 安徽省两淮采煤塌陷区的现状、存在问题及治理措施建议[J]. 安徽地质, 2010, 20(4): 291-294.
- [2] 吴林, 张志东, 李亚东, 等. 越桔耐涝品种的筛选[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(2): 46-48.
- [3] 李淑琴, 张璐, 张纪林, 等. 三种冬青属树种的耐涝性和耐旱性评价[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 204-208.
- [4] 熊庆娥. 植物生理学实验指导[R]. 雅安: 四川农业大学农学院, 2001: 27-28.
- [5] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 肖宜安. 醉蝶花 (*Cleomespinosa* L.) 幼苗对水分胁迫的生理反应[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(6): 524-528.
- [7] Kozłowski T T. Plant responses to flooding of soil[J]. Bio-Science, 1984, 34(3): 162-167.
- [8] Mielke M S, Almeida F A A, Gomes F P, et al. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 50: 221-231.
- [9] Sultan S E, Wilczek A M, Bell D L, et al. Physiological response to complex environments in annual *Polygonum* species of contrasting ecological breadth[J]. Oecologia, 1998, 115(4): 564-578.
- [10] 陈芳清, 郭成圆, 王传华, 等. 水淹对秋华柳幼苗生理生态特征的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1229-1233.
- [11] Glaz B, Morris D R, Daroub S H. Sugarcane photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance due to flooding and water table[J]. Crop Science, 2004, 44(5): 1633-1672.
- [12] 杨燕, 刘庆, 林波, 等. 不同施水量对云杉幼苗生长和生理生态特征的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2152-2158.
- [13] Chen Q, Zhang H Y, Tang L L, et al. Effects of water and nitrogen supply on spinach (*Spinacia oleracea* L.) growth and soil mineral residues[J]. Pedosphere, 2002, 12: 171-178.