

# 水翁 (*Cleistocalyx operculatus*) 幼苗对淹水的反应初报

靖元孝<sup>1</sup>, 程惠青<sup>1</sup>, 彭建宗<sup>1</sup>, 陈兆平<sup>1</sup>, 莫熙穆<sup>1</sup>, 郑中华<sup>2</sup>, 许大彬<sup>2</sup>

(1. 华南师范大学生物系, 广州 510631; 2. 高州水库管理局, 高州市 525242)

**摘要:**研究了水翁在生理和形态上对 3 个月淹水期的反应。在潮湿或淹水条件下水翁能存活并保持一定的净光合速率和生长速率, 全淹条件下存活期为 60d。水翁对淹水的适应包括: (1) 淹水的茎部产生肥大皮孔和不定根, (2) 不定根系的活力比正常根系的活力高, 有不定根的植株的气孔传导率和蒸腾速率比没有不定根的植株高得多。水翁是一种耐淹植物, 可在河岸、库岸等水位波动地区种植。

**关键词:** 水翁; 肥大皮孔; 不定根; 淹水

## Preliminary studies on responses of the seedlings of *Cleistocalyx operculatus* to flooding

JING Yuan-Xiao<sup>1</sup>, CHENG Hui-Qing<sup>1</sup>, PENG Jian-Zong<sup>1</sup>, CHEN Zhao-Ping<sup>1</sup>, MO Xi-Mu<sup>1</sup>, ZHENG Zhong-Hua<sup>2</sup>, XU Da-Bin<sup>2</sup> (1. Department of Biology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. Bureau of Gaozhou Reservoir, Gaozhou 525242, China)

**Abstract:** Several physiological and morphological responses to flooding of the seedlings of *C. operculatus* were studied. The seedlings of *C. operculatus* were survived and maintained certain net photosynthetic rate and growth rate in humid or drowned conditions, and survived 60 days of complete submersion. Adaptations of the seedlings of *C. operculatus* to flooding were indicated by (1) formation of hypertrophied lenticels and adventitious roots (AR) on the submerged stem, (2) higher vigor of AR system than that of normal root system and much higher transpiration rate and stomatal conductance in seedlings with AR than those in seedlings without AR. *C. operculatus* is tolerant of flooding, and it could be planted along river banks and reservoir banks where water levels fluctuate.

**Key words:** *Cleistocalyx operculatus*; hypertrophied lenticels; adventitious roots; flooding

文章编号: 1000-0933(2001)05-0810-04 中图分类号: Q142, Q178.1 文献标识码: A

近年来, 世界各国都十分重视防涝抗洪、水土保持等问题的研究, 尤其重视水库淤积问题的研究。据统计, 广东现有水库 7268 座, 总库容为  $430.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[1]</sup>, 从 50 年代初到 80 年代上半期, 广东 30a 间淤积山塘水库 800 多座。近年来, 水库库区通过植树造林, 植被已初步恢复。但专家和水库工作人员也面临一个老大难问题: 水库库岸在防汛水位与枯水位之间的水间带, 不生长植物, 水土流失严重, 虽经多次寻找试种各种植物都失败。因此, 从自然界选择耐淹植物在水库水间带种植、增加库区生物量、减少水库淤积、延长水库寿命是迫在眉睫的问题。在国外, Loucks<sup>[2]</sup> 提出在水位容易出现波动的地区 (如水库、河岸、堤岸等湿地) 种植耐淹植物可减少水土流失从而保护湿地, 许多学者<sup>[3~11]</sup> 对耐淹植物的筛选、植物对淹水的反应和适应等问题进行了较深入的研究, 但国内有关报道极少。经初步筛选发现水翁幼苗具有一定的耐淹能力。

### 1 材料与方法

基金项目: 广东省重点学科基金和广东省教育厅自然科学基金资助项目

收稿日期: 1999-09-22 修回日期: 1999-09-30

作者简介: 靖元孝 (1963~), 男, 湖北人, 硕士, 副教授。主要从事植物资源与环境保护研究。

**1.1 实验材料及处理方法** 水翁(*Cleistocalyx operculatus*)由华南师范大学生物系固氮中心提供,植株为10个月的幼苗,平均株高80cm、平均胸径6mm,共设4种处理:①干旱(对照)组,在本校牧草山种植;②潮湿组,地下部分淹水,土壤水分达到饱和状态;③半淹组,地上部分一半淹水;④全淹组,水翁整株淹没水中且水面高出植株顶端20cm左右。潮湿组、半淹组 and 全淹组均在水池中进行,每组处理40株,当半淹组植株形成的水生不定根系发育成熟、活力较强时(大约处理50d),开始测定各种形态和生理指标。实验从1998年9月10日开始,数据收集暂到1998年12月10日,并将继续收集。

**1.2 生物量测定** 每种植物在大田调查40株,分别记录株高和胸径,选择2株标准木、2株大于标准木和2株小于标准木的植株,共6株进行整株收获。按下式计算生物量(包括根、茎、叶)<sup>[12]</sup>:

$$W = a(D^2H)^b \text{ 即 } \lg W = \lg a + b \times \lg(D^2H)$$

式中, $W$ 为各相应部分的生物量, $D$ 为胸径, $H$ 为株高。

**1.3 相对生长速率( $R$ )的计算** 按下式计算 $R$ <sup>[6]</sup>:

$$R = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$$

式中, $R$ 代表相对生长速率, $W_1$ 和 $W_2$ 分别是时间 $T_1$ 和 $T_2$ 时的植株干重。

**1.4 净光合速率、蒸腾速率及气孔传导率的测定** 利用Li-cor 6200光合作用测定仪进行测定。

**1.5 根系活力的测定** 用 $\alpha$ -萘胺氧化法<sup>[13]</sup>测定。

2 结果及分析

2.1 存活分析

水翁属桃金娘科,高大乔木,主要分布华南地区,一般生长在溪边沟旁,淹水条件下的生长情况未见报道,它们在不同条件下存活情况见表1。

表1 水翁在不同条件下的存活情况

Table 1 Survival of *Cleistocalyx operculatus* seedlings in various conditions

干旱(对照)	潮湿	半淹**	全淹
Drought (control)	Humid	Half of stem for immersion	Complete submersion
正常*,存活 率为100%	正常*,存 活率为97%	正常*,存 活率为97%	存活60d左右, 存活率为93%

\*表示3个月 after 仍然正常存活 The seedlings of *Cleistocalyx operculatus* survived normally after three months. \*\*淹水高度为50cm Height of stem for immersion was 50cm.

表2 相对生长式及对数式回归方程

Table 2 Relative growth equation and linear regression equation

相对生长式	对数式回归方程
Relative growth equation	Linear regression equation
$W = 0.142(D^2H)^{0.646}$	$\lg W = -0.848 + 0.646 \times \lg(D^2H)$

结果表明:水翁在干旱、潮湿和半淹条件下,3个月试验期仍然正常存活;全淹60d后,部分叶子出现萎蔫和脱落,但在转至自然状态15d后又长出了新叶,恢复正常生长,存活率高达93%,初步说明水翁具有很强的耐淹能力。

2.2 净光合速率和相对生长速率

根据调查数据得到水翁的平均株高和平均胸径,然后选定6株收获。由 $W = a(D^2H)^b$ 或 $\lg W = \lg a + b \times \lg(D^2H)$ 方程式计算得出总生物量( $W$ )与 $D^2H$ 的相对生长式和对数式回归方程(表2)。

获得相对生长式后,计算出不同时间的生物量,然后得到植物的相对生长速率( $R$ )(表3为第50天所测值)。

结果表明:水翁在潮湿、半淹条件下,均能维持一定的净光合速率和相对生长速率,但与对照相比均有不同程度的下降,而在全淹条件下净光合速率和相对生长速率为零。

2.3 不定根生长情况

有些植物可通过产生特定的器官和组织来适应淹水环境,如许多水生草本植物具有发达的通气组织,

HooK<sup>[8]</sup>认为木本植物产生的肥大皮孔和水生不定根是适应淹水环境的特定形态结构。

水翁在半淹条件下,被水淹的茎部第30天皮孔开始肥大、茎部变粗、树皮开裂,通气组织(胞间隙)发达,到第42天开始产生不定根,第50天不定根发育成熟,到第60天不定根长达30cm(图1),其干重与地下根接近,占植株总干重的12.5%,未被水淹的茎部没有形成不定根。而对照组、潮湿组和全淹组的水翁均

没有肥大皮孔和不定根的形成。

表 3 净光合速率和相对生长速率

Table 3 Net photosynthetic rate and relative growth rate

项目 Item	对照 Control	潮湿 Humid	半淹 Half of stem for immersion	全淹 Complete submersion
净光合速率 <sup>①</sup> ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )	5.49±0.40	3.82**±0.15	2.52**±0.17	0
相对生长速率 <sup>②</sup> ( $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{d DW}$ )	7.4±0.91	6.4*±0.62	4.6**±0.57	0

数据为  $n$  次取样的平均值±标准差( $n=10$ )Values are means±SE for  $n$  times of sampling( $n=10$ ), \*, \*\* 分别表示潮湿或半淹平均值与对照平均值在  $\alpha=0.05$  水平上、 $\alpha=0.01$  水平上差异显著 Mean difference are significant at  $\alpha=0.05$  level,  $\alpha=0.01$  level respectively between humid or half of stem for immersion and control. ①Net photosynthetic rate; ②

Relative growth rate

表 4 根系活力( $\mu\text{g}\alpha\text{-萘胺}/\text{g DWmin}$ )

Table 4 Vigor of root system

干旱(对照)	半淹 Half of stem for immersion	
Drought(control)	不定根 Adventitious roots	正常根 Normal roots
19.77±0.89	63.41**±1.03	11.49**±0.88

数据为  $n$  次取样的平均值±标准差( $n=5$ ), \*\* 表示半淹平均值与对照平均值在  $\alpha=0.01$  水平上差异显著. Values are means±SE for  $n$  times of sampling( $n=5$ ). \*\* Mean difference are significant at  $\alpha=0.01$  level between half of stem for immersion and control.

蒸腾的控制,气孔传导率的变化规律能反映植物蒸腾的基本情况。经过半淹处理 50d 不定根发育成熟后,分别选取有不定根和没有不定根植株,测定叶片气孔传导率和蒸腾速率(上午 10:00 测定,光合有效辐射为  $800\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ),在第 85 天再测定一次(上午 10:00 测定,光合有效辐射为  $820\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ),结果见表 5。

表 5 气孔传导率( $\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )和蒸腾速率( $\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

Table 5 Stomatal conductance and transpiration rate

项目 Item	时间 Time	半淹 Half of stem for immersion		对照 Control
		没有不定根植株 Seedling without AR*	有不定根植株 Seedling with AR	
气孔传导率	第 50 天	17.6±2.28	48±8.4	168±18.8
Stomatal conductance	第 85 天	17.2±2.12	172±14.8	180±19.6
蒸腾速度	第 50 天	0.35±0.033	1.28±0.019	6.67±0.33
Transpiration rate	第 85 天	0.34±0.032	7.78±0.45	7.78±0.25

数据为  $n$  次取样的平均值±标准差( $n=9$ ), \* AR:不定根. Values are means±SE for  $n$  times of sampling( $n=9$ ), \* AR: Adventitious roots.

结果表明,在淹水处理的初期(第 50 天),淹水植株的气孔传导率和蒸腾速率明显比对照组低( $P<0.01$ ),但在淹水植株中,有不定根植株的气孔传导率与蒸腾速率比没有不定根植株高得多( $P<0.01$ ),而且在后期(第 85 天)有不定根植株的气孔传导率与蒸腾速率与对照组植株接近,这说明不定根的形成对气孔开放可能有一定的促进作用,这与 Sena Gomes<sup>[3]</sup>等人对 *Fraxinus pennsylvanica* 的实验结果非常接近。

3 讨论

3 个月的试验结果表明水翁在干旱(对照)、潮湿、半淹条件下均能生长,全淹条件下存活期为 60d。按照国际上通用的标准<sup>[5]</sup>,全淹存活 30d 以上为强耐淹植物,水翁是一种耐淹能力很强的植物,可用于水库库岸、河岸、牙片数据容易波动的湿地造林之用。Loucks<sup>[2]</sup>、Hook<sup>[8]</sup>等人报道了一些耐淹植物,但有关水翁的耐淹报道尚属首次。虽然水翁具有一定的耐淹能力,但淹水条件下的成功种植不仅取决于植物的耐淹

能力,而且与植物在退水后的生长情况密切相关,因为植物在淹水处理(特别是全淹处理)后,植物地下根系均有不同程度的破坏,能否适应退水后的干旱环境,正在作进一步研究。

Hook<sup>[8]</sup>等人认为,在淹水条件下,氧气供应减少,加速了厌氧呼吸,乙醇、乙醛等对植物有害物不断积累,从而导致不耐淹植物产生淹水伤害,而耐淹植物可通过形态和生理的变化来适应淹水环境,肥大皮孔和不定根的形成是植物适应淹水环境所需的一个重要条件。Tang<sup>[4]</sup>等人实验表明肥大皮孔和不定根可加速水中气体交换、加速释放厌氧呼吸产生的有毒化合物到体外;Sena Gomes<sup>[3]</sup>等人报道不定根的形成可提高气孔传导率和蒸腾速率,从而提高植物的吸水和吸收矿物质营养的能力。水翁在被水淹的茎部形成肥大皮孔和不定根,不定根的形成大大提高气孔传导率和蒸腾速率,这些特定的形态结构和生理上的变化是否就是水翁适应淹水环境所必需的条件?其适应机理如何?有待进一步研究。

Loucks<sup>[2]</sup>认为,树龄越长,则植物耐淹能力越强。本实验所用植物材料生长期较短(不到 1a)、植株高度均在 1m 以下,今后有必要利用树龄更长的植株在库区进行试验。

## 参考文献

- [1] 李驾三. 水资源. 见:程鸿主编. 中国自然资源手册. 北京:科学出版社,1990. 509~510.
- [2] Loucks W L. Flood-tolerant tress. *J. For.*, 1987, **85**:36~40.
- [3] Sena Gomes A R and Kozlowski T T. Growth responses and adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* Seedlings to flooding. *Plant Physiol.*, 1980, **66**:267~271.
- [4] Tang Z C and Kozlowski T T. Responses of *Pinus banksiana* and *Pinus resinosa* seedlings to flooding. *Can. J. For. Res.*, 1983, **13**:633~639.
- [5] Loucks W L and Keen R A. Submersion tolerance of selected seedling trees. *J. For.*, 1973, **71**:496~497.
- [6] Tang Z C and Kozlowski T T. Physiological, morphological, and growth responses of *Platanus occidentalis* seedlings to flooding. *Plant Soil*, 1982, **66**:243~255.
- [7] Kozlowski T T. Plant responses to flooding of soil. *BioScience.*, 1984, **34**:162~167.
- [8] Hook D D. Waterlogging tolerance of lowland tree species of the south. *South. J. Appl. For.*, 1984, **8**:136~149.
- [9] Hook D D and Brown C L. Root adaptations and relative flood tolerance of five hardwood species. *For. Sci.*, 1973, **19**:225~229.
- [10] Missouri department of conservation. The effect of flooding on tree. *Missouri forest management notes*, 1993, **5**:1~2.
- [11] Kawase M. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *HortScience*, 1981, **16**(1):30~34.
- [12] 木村允著. 森林生产力测定方法. 见:姜恕,等译. 陆地植物群落的生产量测定法. 北京:科学出版社,1981. 79~97.
- [13] 根系活力的测定. 见:华东师范大学生物系植物生理教研组主编. 植物生理学实验指导. 北京:高等教育出版社,1980. 68~70.

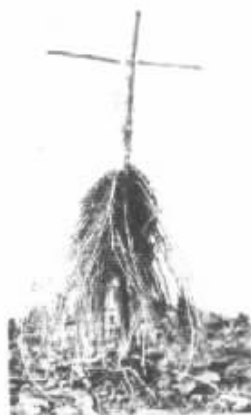


图 1 淹水 42d 被水淹茎部的肥大皮孔、开裂的树皮和不定根,水平线表示淹水的高度。

Fig. 1 Hypertrophied lenticels, split bark and adventitious roots on submerged stem portions after 42 days of flooding. Horizontal line indicates height to which the stems were flooded.