

# 干旱胁迫对杂交鹅掌楸无性系光合特性的影响

孙志勇<sup>1,2</sup>, 季孔庶<sup>2</sup>

(1. 天津市园林绿化研究所, 天津 300181; 2. 南京林业大学 林木遗传与生物技术省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210037)

**摘要:**以 5 个杂交鹅掌楸无性系 (NE04、NE22、NE23、NE25、NE78) 1 a 生扦插苗为试材, 研究了干旱胁迫对各无性系叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )和气孔导度( $G_s$ )等光合特性的影响。结果表明: 各无性系随胁迫程度加剧,  $P_n$ 、 $T_r$  和  $G_s$  逐渐下降, 而  $C_i$  则呈先降后升的趋势, 但各指标变化幅度因无性系不同而异。 $P_n$  下降是气孔因素与非气孔因素双重作用的结果, 轻度干旱胁迫下主要是由气孔限制引起的, 而严重干旱胁迫下非气孔限制是  $P_n$  下降的主要原因。采用隶属函数法对上述指标进行综合分析, 可得出其抗旱能力从大到小依次为: NE25 > NE78 > NE22 > NE04 > NE23。

**关键词:**杂交鹅掌楸; 无性系; 干旱胁迫; 光合特性

**中图分类号:** S 792.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)02-0086-04

光合作用是植物重要的生理过程, 光合作用强弱与植物本身的遗传组成和环境条件有密切的关系, 因此光合作用常作为植物抗逆性评价的重要指标。干旱胁迫是影响植物光合作用的重要因素之一, 改变了植物体内光合产物的分配, 因此光合作用强弱在一定程度上反映了植物的抗旱性。杂交鹅掌楸 (*Liriodendron chinense* × *L. tulipifera*) 以其优良的生物学特性和观赏特性, 近几年被广泛应用于城市园林绿化及景观建设, 并被评为 2008 年北京奥运会指定树种, 应用前景极为广阔。目前, 干旱胁迫已成为制约杂交鹅掌楸推广应用的主要障碍, 急待进行优良无性系的选育。现以 1 a 生盆栽杂交鹅掌楸无性系为试材, 研究了干旱胁迫下各无性系光合特性的变化, 并对其抗旱能力做出初步评价, 旨在为杂交鹅掌楸优良种质选育及合理开发提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料取自南京林业大学林木遗传与生物技术省部共建教育部重点实验室苗圃 2005 年的夏季扦插苗。该扦插苗为从双亲交配后代中初选出生长势强的 5 个无性系, 杂交亲本分别为: NE25 (N × T8)、NE22 (C4 × T5)、NE78 (T6 × C3)、NE04 (B1 × T1)、NE23 (C4 × T1)。

**第一作者简介:** 孙志勇 (1979—), 男, 在读博士, 工程师, 现主要从事滨海盐碱地绿化技术, 城市生态景观和园林植物抗性生理方面的研究工作。E-mail: szynky@yahoo.com.cn。

**通讯作者:** 季孔庶 (1965—), 男, 浙江宁海人, 博士, 教授, 研究方向为林木遗传育种。E-mail: jkshu@njfu.com.cn。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (30070633)。

**收稿日期:** 2009-08-07

其中, C 表示鹅掌楸, T 表示北美鹅掌楸, N 表示窄冠型杂种, B 表示宽冠型杂种。

### 1.2 试验方法

2006 年 3 月下旬选取长势一致的试验材料进行盆栽, 每盆栽植 2~3 棵。苗木生长期间正常浇水和施肥管理。8 月下旬选取长势一致的试材移入温室。试验设 2 个处理: 干旱胁迫和对照。9 月 1 日, 干旱胁迫苗木充分灌水后不再浇水, 令其自然失水 (以胁迫天数来表示胁迫程度), 对照苗木每隔 2 d 浇水 1 次。

选取植株第 3 层成熟叶片 (从展开心叶向下数), 采用德国 GFS-3000 光合气体分析系统仪进行连体测定。测定时间为干旱胁迫第 1、5、9、13、17 天的上午 9~11 时。每个无性系 3 次重复, 取平均值。测定前进行仪器校正, 采用人工光源, 叶室光合有效辐射 (PAR) 为  $1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 叶温  $28^\circ\text{C}$ , 相对湿度 68%,  $CO_2$  浓度  $370 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 气体流速 750, 气体混合速率为 5, 叶面积  $8 \text{ cm}^2$ 。

测定指标为: 净光合速率 ( $P_n$ ,  $\mu\text{mol } CO_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度 ( $G_s$ ,  $\text{mol } H_2O \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ,  $\text{mol } H_2O \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 并计算水分利用效率 ( $WUE = P_n / T_r$ ), 气孔限制值 ( $L_s = 1 - C_i / C_a$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫后杂交鹅掌楸不同无性系净光合速率的变化

净光合速率直接反映了植物光合能力强弱, 是评价植物适应性的重要参数之一。由图 1 可知, 正常水分条件下, 各无性系间  $P_n$  存在一定差异, NE25、NE22 和 NE78 的  $P_n$  值较大 ( $7.44 \sim 9.74 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 而 NE23 和 NE04 的  $P_n$  值较小。随着干旱胁迫时间的增

加, 各无性系  $P_n$  的变化规律基本一致, 呈现下降趋势。胁迫过程中, NE04 的  $P_n$  一直处于明显下降趋势, 对土壤干旱很敏感。NE25、NE22 和 NE78 胁迫第 9 天出现剧烈下降趋势, NE23 则出现在第 3 天。至胁迫第 17 天, NE04 和 NE23 分别较对照下降了 95% 左右, 而 NE25、NE78 和 NE22 降幅最小, 分别为 84.29%、87.01% 和 87.03%, 维持了较高的光合水平, 表现出较强适应干旱环境的能力。

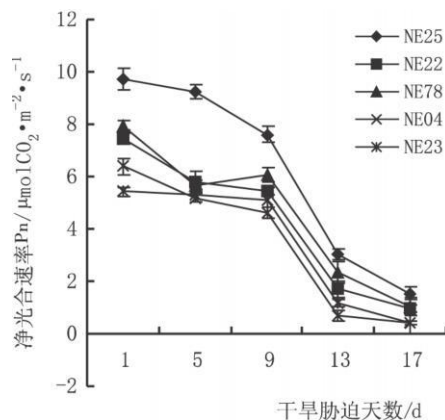


图1 干旱胁迫条件下各无性系净光合速率的变化

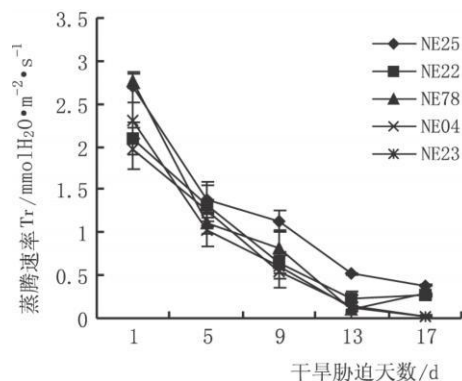


图2 干旱胁迫条件下各无性系蒸腾速率的变化

## 2.2 干旱胁迫后杂交鹅掌楸不同无性系蒸腾速率和水分利用效率的变化

蒸腾是一个生理过程, 它反映了植物对水分平衡的调节能力, 与植物的多种生理过程有关, 对光合作用起到间接调节作用<sup>[1]</sup>。由图2可知, 随着干旱胁迫时间的延长, 5个无性系  $Tr$  下降趋势与  $P_n$  相似, 胁迫后期维持在一个较低水平, 说明各无性系在干旱胁迫下都能够通过控制蒸腾作用减少水分的损失。至胁迫第17天, NE25、NE22 和 NE78 较对照下降了 85.89%、87.11% 和 89.5%, 降幅较小, 表明其控制失水和维持体内水分平衡能力较强。与之相反, NE04 和 NE23 无性系降幅较大, 5个无性系间  $P_n$  变化存在极显著差异 ( $F=155.22$ ,  $P<0.01$ )。

水分利用效率 (WUE) 是表示植物对水分有效利用的一个重要指标, 在植物干旱生理研究中有重要意义, WUE 值越大表明固定单位数量的  $CO_2$  所需水量越少<sup>[2]</sup>。在干旱胁迫过程中, 各无性系 WUE 变化趋势有所差别 (图3)。NE78 至胁迫第9天 WUE 就剧烈升高 (其它无性系出现在第13天), 且增幅最大, 表明其能更有效地利用土壤中的水分, 适应土壤干旱。在干旱胁迫第9~13天, NE04、NE23、NE55、NE25 和 NE22 的 WUE 出现了轻微升降波动, 这可能与植物自身生理调节有一定关系。另外, 在正常管理条件下 NE23、NE04 与 NE78 的 WUE 水平接近, 但是在干旱胁迫过程中 NE78 的 WUE 明显高于 NE23 和 NE04。说明 NE23 和 NE04 在正常水分条件下本身有较强的水分利用率, 但是适应干旱胁迫的能力不如 NE78 强。

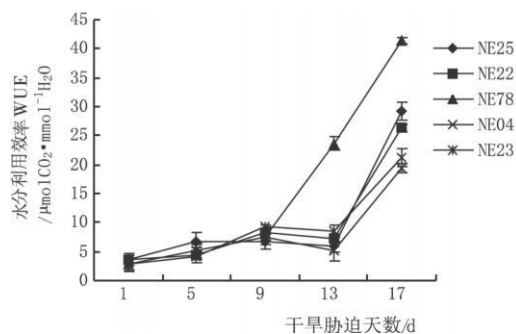


图3 干旱胁迫条件下不同无性系水分利用效率的变化

## 2.3 干旱胁迫后杂交鹅掌楸不同无性系胞间 $CO_2$ 浓度和气孔导度的变化

干旱胁迫通过各种途径降低植物的光合能力, 光合抑制的原因可分为气孔限制和非气孔限制。前者是指水分胁迫使气孔导度 ( $G_s$ ) 下降,  $CO_2$  进入叶片受阻,  $P_n$  下降, 从而直接影响植物的光合作用, 使植物的生长受阻。后者则是由于干旱使叶绿体结构发生变化, 植物膜系统遭受损伤, 光合色素严重降解, 光合电子传递系统遭到破坏等原因, 从而导致  $P_n$  下降。胞间  $CO_2$  浓度和气孔导度的变化是植物遭受干旱胁迫敏感性指标之一, 可更清楚解释  $P_n$  下降原因<sup>[3-4]</sup>。

由图4、5可知, 随着胁迫程度的加深, NE04、NE22、NE25 和 NE78 的  $G_s$  迅速下降, 至第13天后趋于平缓; NE23 的  $G_s$  在干旱胁迫第5天稍有增加, 以后迅速下降, 表明 NE23 对干旱胁迫的反应敏感程度慢于其它无性系。各无性系  $G_s$  与  $P_n$  总体都呈下降趋势, 但这并不能说明5个无性系光合抑制的原因就是气孔限制。依据 Farquhar 等提出的气孔限制值理论<sup>[5]</sup>, 应从光合气孔限制值 ( $L_s$ ) 大小与胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 变化来确定  $P_n$  下降的原因。结合表1可知, NE25 的  $G_s$ 、 $C_i$  整个胁迫过

程中一直处于下降趋势,  $L_s$  值始终增大, 表明其  $P_n$  下降主要是由于气孔限制而使进入叶肉细胞的  $CO_2$  减少所致。其它无性系的  $G_i$  先下降, 后又急剧上升, 不同的是 NE04 的转折点是在胁迫的第 9 天, NE22、NE23 和 NE78 出现在第 13 天。结合  $L_s$  值先上升后下降的变化, 表明随着干旱胁迫时间的持续和不断严重, 由于光合结构的破坏而引起的非气孔限制逐渐取代气孔限制而成为  $P_n$  下降的主要原因。整个胁迫过程中 NE25 表现出较强的干旱适应性。

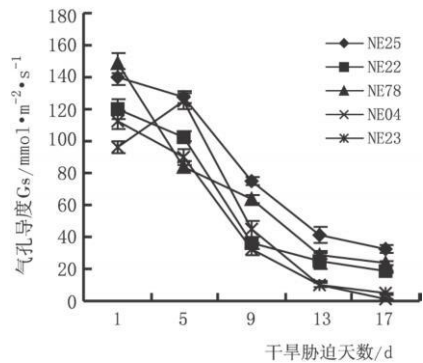


图 4 干旱胁迫条件下各无性系气孔导度的变化

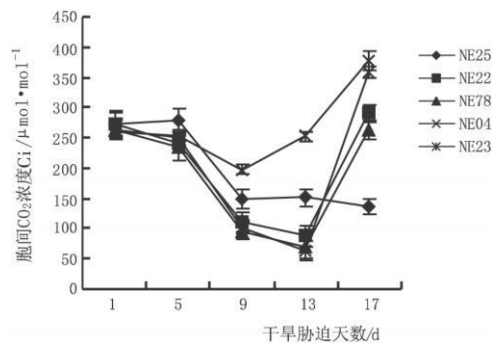


图 5 干旱胁迫条件下各无性系胞间  $CO_2$  浓度的变化

表 1 干旱胁迫条件下各无性系材料气孔限制值的变化

Clone	气孔限制值				
	1 d	5 d	9 d	13 d	17 d
NE04	0.31	0.34	0.48	0.34	0.01
NE25	0.28	0.26	0.61	0.61	0.64
NE78	0.31	0.39	0.75	0.81	0.31
NE23	0.31	0.34	0.73	0.83	0.06
NE22	0.29	0.37	0.71	0.77	0.24

2.4 杂交鹅掌楸各无性系光合指标与抗旱性综合评价  
该试验采用隶属函数法对  $P_n$ 、 $Tr$ 、 $G_s$ 、 $G_i$  与 WUE 的测定值进行综合评价。首先求出每个指标变化百分率, 然后再换算成隶属函数或反隶属函数, 将各指标隶属函数

值取平均, 得到综合评判结果<sup>[9]</sup>。平均值越大, 抗旱性越强。5 个无性系抗旱性由强到弱顺序为: NE25 (0.94)、NE78 (0.76)、NE22 (0.63)、NE04 (0.19)、NE23 (0.03)。

3 讨论与结论

植物叶片在含水量适宜的条件下光合作用较强, 而在一定干旱胁迫条件下, 其光合作用的同化能力明显下降。其原因主要有 2 种途径, 一是直接影响光合机构的结构和活性, 同时也影响光合作用中的光反应和暗反应; 二是通过影响植物体内其它生理生化过程而间接影响光合作用<sup>[7]</sup>。

干旱逆境可抑制植物的光合作用, 这已在台湾桫欏 (*Alnus formosana*)、(*Ginkgo biloba*)、(*Pistacia vera*) 等植物上得到证实<sup>[8-10]</sup>。干旱胁迫同样抑制了杂交鹅掌楸的光合作用, 但不同无性系在胁迫不同时期的适应性反应存在一定差异。该研究表明, 干旱胁迫过程中, 各无性系  $P_n$ 、 $G_s$  和  $Tr$  总体变化情况基本一致, 呈下降趋势。NE25 的  $G_i$  始终下降, NE22、NE78、NE04 和 NE23 则表现出先减少后增加的状态, 结合  $L_s$  值的变化, 表明整个胁迫过程中, NE25 光合作用的下降主要是由气孔限制引起的; 而其它无性系胁迫前期光合作用的下降主要是气孔限制的原因, 随着胁迫程度加剧非气孔限制因素成为光合下降的主要原因, 因此 NE22、NE78、NE04 和 NE23 经历了一个从气孔限制为主到非气孔限制为主的变化过程。田间表现较好的 NE25、NE22 和 NE78 能够维持较高光合能力和水分利用效率。

该试验采用隶属函数法对光合指标进行综合评价, 结果表明, 供试的 5 个杂交鹅掌楸无性系抗旱能力从大到小依次为: NE25、NE78、NE22、NE04、NE23。这与对其叶片相对含水量、质膜相对透性及可溶性蛋白质等生理生化指标的综合评价结果一致<sup>[11]</sup>, 表明杂交鹅掌楸各无性系的光合指标能够反映其抗旱能力的大小, 可作为早期抗旱性育种、鉴定依据。

参考文献

[1] 唐仕云, 陆国盈, 韩世健, 等. 不同水分处理对甘蔗光合作用的影响[J]. 广西蔗糖, 2005(3): 6-9.  
[2] 张香凝, 孙向阳, 王保平, 等. 土壤水分含量对 *Larrea tridentata* 苗木光合生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 95-101.  
[3] 杨凤云. 土壤水分胁迫对梨树生理特性的影响[J]. 安徽农业, 2004(6): 11-12.  
[4] 冀宪领, 盖英萍, 牟志美, 等. 干旱胁迫对桑树生理生化特性的影响[J]. 蚕业科学, 2004, 30(2): 117-122.  
[5] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(3): 317-345.  
[6] 杨敏生, 裴保华, 朱之梯, 等. 白杨双交杂种无性系抗旱性鉴定指标分析[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 36-42.  
[7] 房玉林, 惠竹梅, 陈洁, 等. 水分胁迫对葡萄光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 135-138.  
[8] 朱万泽, 薛建辉, 王金锡. 台湾桫欏种源对水分胁迫的光合响应及其

抗旱性[J].水土保持学报, 2004, 27(1): 170-173.

[9] 景茂, 曹福亮, 汪贵斌, 等. 土壤水分含量对银杏光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(6): 83-86.

[10] 路丙社, 白志英, 崔建州, 等. 干旱胁迫对阿月浑子叶片光合作用的

影响[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(1): 43-47.

[11] 孙志勇, 王维, 季孔庶. 6个杂交鹅掌楸无性系的抗旱性比较[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(2): 39-42.

## Effects of Drought Stress on Photosynthetic Characters of Hybrid Tulip Tree Clones

SUN Zhi-yong<sup>1,2</sup>, JI Kong-shu<sup>2</sup>

(1. Tianjin Landscape Architecture and Gardening Institute, Tianjin 300181; 2. Key Laboratory of Forest Genetics and Biotechnology, Ministry of Education, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

**Abstract:** With one-year old seedling of the six clones of hybrid tulip tree (NE04, NE22, NE23, NE25, NE78) as the experimental materials, the effects of drought stress on the photosynthetic characteristics of the clones such as net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), and stomatal conductance ( $G_s$ ) were studied. The result showed that  $P_n$ ,  $T_r$  and  $G_s$  decreased gradually as increasing of drought stress level. The  $C_i$  declined first, and raised continually later, but the variation level of indexes in five clones were different.  $P_n$  was induced by both stomatal factor and non-stomatal factor. Under low drought stress the decline of  $P_n$  was mainly limited by stomatal factor, while that under high drought stress was due to non-stomatal factor. Drought resistance ability of clones were evaluated by using the subordinate function, the drought resistance of the experimental materials from high to low were NE25, NE78, NE22, NE04, NE23.

**Key words:** *Liriodendron chinense* L. tulipifera; clone; drought stress; photosynthesis

## 栽培春兰“十字诀”

**选**,即选购兰花。宜选择叶面光泽浓绿,叶丛齐全新鲜,株型匀称端正,肉质根鲜嫩健壮,花苞挺拔的优良兰株。

**盆**,即选择花盆。种植春兰最好使用新瓦盆,但要放入清水中浸泡数小时退火气后才能使用。如用旧瓦盆,必须清洗干净,消毒后再使用。盆的大小以兰花根放入盆内能舒展开为宜,一般口径20~23 cm的盆可种植2~3丛。种植前先在盆底排水孔铺小块窗纱,以防蚂蚁等虫爬入盆内伤害兰根。在窗纱上垫3~4块碎盆片,盖住排水孔,再铺上山泥粗粒,为盆深的1/4。

**浸**,即浸泡消毒。把放置时间较长的春兰株放入清水盆里浸泡4~8 h后,兰根恢复饱满如初,这时将兰株捞出,稍晾干,修剪枯、病、残、断及腐烂的兰根后,再放入0.05%~0.1%的高锰酸钾水溶液中消毒0.5 h,捞出晾干待种植。

**土**,即选土用土。盆土用花卉市场出售的兰花泥为最好。如没有,可用自制的腐叶土和菜园土各1/2,再掺入适量的像

麦粒大小的砂粒或煤渣粒、锯末混合而成的培养土,并含微酸性且通透性能好。

**上**,即上盆栽植。先在盆底孔垫上瓦片,再铺一层粗砂粒或粗煤渣粒,以利排气通气。其上再铺一层培养土,然后把春兰植株坐入盆土上,把根理顺自然舒展开,填土至一半时,轻轻提兰株,同时轻轻摇动花盆,使兰根与盆土密切结合,再继续填土至盆沿,轻轻按压盆土,盆沿上留3 cm的水口,以便施肥液和浇水时不往盆外流淌。如在表面再盖一层白石子或翠云草,既美观又可保持表土湿润,防止水冲刷泥土。

**养**,即细心养护。上好盆后,首先要浇1次透水,放半阴稍见阳光而又温暖处缓苗,养护半月左右即可恢复生机。这时天气转冷,可把盆端至室内常有阳光处养护管理。整个冬季与初春都在室内防寒越冬。越冬期间,室内温度不宜太高,只要室温保持在10℃以下、0℃以上,即可生长旺盛,正常孕蕾、开花。

**施**,即科学施肥。兰花平时忌施浓肥,特别是新栽植的兰花,一般1 a内不宜施肥,以1~2 a的培育,待新发根密而壮,

植株生长旺盛时,才可施薄肥液。施肥宜在傍晚进行,肥水也应沿盆边浇水盆土,不要沾污兰叶,施过肥后,第2天清早再用清水淋浇1次,以利肥分的吸收。

**水**,即适当浇水。除非在盆土较干燥的情况下,才浇一次透水。春兰栽后第一次浇透水后,视盆土干湿情况,一般应掌握“见干见湿”的原则,冬天浇水宜少,平时保持盆土微湿润为宜。浇水时需在中午前后,水温应与室温相同或相近时,沿盆边缓缓浇下,不可淋浇叶面和叶心,以免沤烂花心。

**疏**,即疏除花蕾。原春兰植株如带花蕾较多时,应在未栽入盆土前适当进行疏蕾,一般留2~3个蕾即可,留多了空耗植株养分,影响兰株的正常生长。待到春节或初春时,春兰绿叶青翠,花蕾绽放,清香溢室,给节日增色不少。

**光**,即适当光照。春兰是喜阴性植物,过强的阳光会灼伤春兰的叶片,这时应适当遮挡,但并不等于不要阳光,在春兰的原生地,荫处生长的兰花叶长而花稀,向阳处生长兰花叶片短而花多,半阴半阳处的兰株则花叶并茂。栽培春兰,一般应在春末时开始遮阳,至中秋后方结束遮阳,晚秋、冬季和初春宜充分接受光照为宜。