

水分胁迫逆境处理对水土保持经济树种长山核桃的生理特性的影响^①

孙 凡^{1,2}, 赵靖明^{1,3}, 姚小华³,
张富华^{1,2}, 马生丽^{1,2}, 张 磊^{1,2}

1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715;
3. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400

摘要: 三峡库区消落带冬蓄夏汛水文生态过程形成的典型干湿交替的特殊生态区域环境已引起国内外环境生态研究者的广泛关注。目前, 消落带植被的恢复与重建成为库区消落带生态环境治理的重要内容, 但评价适生植物的标准还存在较大分歧, 特别是对水土保持经济适生树种对干湿交替周期性复杂多变生境的生理生态响应机制更是知之甚少。以长山核桃作为研究对象, 研究消落带自然环境条件下长山核桃抗性生理响应机制, 揭示长山核桃抗性生理指标的变化规律。借助盆栽模拟试验, 模拟干旱和水淹胁迫条件, 分析了长山核桃抗性生理和光合作用特征适应机制。研究表明, 干旱胁迫对长山核桃的影响最大, 持续 6 天干旱就引起光合和生理生化指标下降, 第 10 天就有植株死亡, 第 23 天植株全部死亡, 而间接性淹水处理下的长山核桃全部存活, 生长良好。试验过程中生长、光合作用及生理生化指标都和对照组差异不大, 说明长山核桃可以适应短期的淹水, 持续涝渍胁迫的存活率为 87.5%, 第 20 天以后, 净光合速率值下降很快, 并出现了皮孔增大等适应性性状, 表明长山核桃具有耐水淹的特性。

关键词: 薄壳山核桃; 水土保持; 经济树种; 水分胁迫

中图分类号: X173

文献标志码: A

长山核桃(*Carya illinoensis*)又名薄壳山核桃、美国山核桃, 属胡桃科(Juglandaceae)山核桃属(*Carya*)落叶乔木^[1-2], 大树高约 20~25 m, 雌雄同株, 是世界著名干果之一, 也是优良的果材兼用树种^[3]。长山核桃原产于美国中南部和墨西哥北部, 我国大约在 19 世纪末 20 世纪初开始引种。20 世纪 90 年代以后, 由于长山核桃的价值越来越受到人们的肯定, 为了扩大长山核桃的生产规模, 提高产量和改善品质, 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 原中南林学院, 中国科学院南京中山植物园等单位为长山核桃优良新品种和先进栽培技术的引进做了大量的工作。目前, 我国的栽培主要集中在浙江、江苏、云南、安徽、江西等地。

长山核桃产量高, 果实个大(约 10~15 g/个), 果壳很薄, 出仁率很高且取仁容易。长山核桃果仁色香味美, 营养丰富, 含有多种矿物质及维生素, 核桃仁还有医疗效用, 它可以止咳润肺、顺气补血、温肠补

① 收稿日期: 2014-01-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40671113); 国家科技支撑计划重点项目(2008BAD98B01); 林业公益性行业科研专项资助课题(201204404)。

作者简介: 孙 凡(1956-), 男, 重庆人, 博士, 教授, 主要从事生态学、水土保持及可持续发展的研究。

肾、治疗胆结石、防治心血管疾病等^[4]。长山核桃也是重要的木本油料植物,其果仁油脂含量达 70% 以上,不饱和脂肪酸达 97%。其油还可以作为保健品,促进血液循环,改善消化系统功能,保护皮肤,降低癌症发生几率^[4]。长山核桃生长快,树体高大,枝叶茂密,树姿优美,是很好的绿化树种和园林树种。长山核桃树干通直,木材坚固强韧,不易翘裂,纹理致密,富有弹性,是优良的家具用材和很好的建筑用材树种。因此,长山核桃是一个用途广,收益期长(50~70 年),经济效益、社会效益和生态效益都很高的优良经济树种。目前,我国的长山核桃产量远远满足不了市场的需求,主要以进口加工为主,所以,在我国发展长山核桃具有广阔的市场前景,意义重大^[5-6]。

根据三峡水库拟定的蓄清排浊的运行方案,长江干流及其支流由于江河水位季节性涨落,沿江(河)两岸土地出现周期性淹没,自然形成一个最高水位 175 m,最低水位 145 m,垂直落差达 30 m,长度在 2 000 km 以上,面积达 400 多平方公里的三峡库区沿岸消落区带(或称消落带)。由于三峡水库运行期间水文调度引起的库区水位变化,原陆地生境迅速变为冬水夏陆交替型生境,在库区流域两岸周边形成一段特殊生态环境区域。由于库区水位周期性涨落的影响,消落带成为了库区生态系统中能量、物质转运与转化的活跃地带,也是库区泥沙、有机物、化肥和农药进入水库的最后一道屏障^[7-8]。作为库区水域与周边环境系统之间的过渡地区,消落区时时经受着来自陆地、水体和社会等方面的交叉干扰,对外界变化的响应相当敏感,具有生态脆弱性和不稳定性特征。一旦这种干扰强度超过了系统的忍受阈值,将导致消落带功能系统的紊乱,进而对三峡水库的安全与三峡工程的正常运行以及长江中下游社会经济带来比现今雾霾问题更为严重的负面影响。针对三峡库区消落带的实际特点,积极稳妥地促进消落带生态系统朝着功能完善、稳定可靠、生态保障有力的方向发展演化,是当前保护治理好消落带人工干预过程中的既定目标^[9]。基于此,及时开展三峡库区消落带植被恢复的理论与技术研究,筛选出一些适合在三峡库区消落带或者其他滩涂地生长的水土保持经济树种来稳定三峡库区的土壤,改善立地条件,在提高经济收入的情况下更有效地改善生态环境,对于确保库区库岸安全,确保三峡工程的正常运行以及促进三峡库区社会经济发展都具有重要的现实意义^[10]。而模拟研究水土保持经济适生树种在淹水变化条件下的生理生化适应机理,是三峡库区消落带植被恢复理论与技术研究中的核心内容之一,可直接为三峡库区消落带植被恢复实践活动提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究材料及试验设计

选取生长健壮且一致的长山核桃 1 年生实生苗 120 株,随机分成 4 组,每组 30 株,包括对照组(CK)、持续淹水组(T1)、持续干旱组(T2)、间接性淹水组(T3)。CK 为正常生长对照组,土壤田间持水量保持在 70% 左右;T1 组为持续淹水组,试验开始后,将植株带盆一起放入长 80 cm,宽 60 cm,高 60 cm 的塑料容器中(T3 组淹水时也为同一容器),始终保持水面超过土壤表层 2~3 cm;T2 组为持续干旱组,试验开始前其土壤田间持水率大约为 70%,试验开始后,不浇水,让其自然干旱,直至植株死亡;T3 组为间接性淹水组,试验开始第 1 天淹水,保持水面超过土壤表层 2~3 cm,一直淹水 5 天,第 6 天开始将容器中的水排净,并且不给植株浇水,使其连续自然干旱 5 天,第 11 天重复第 1 天的方法,如此每 10 天为一个淹水、干旱周期,直至试验结束。

1.2 试验测定

1.2.1 生长指标的测定

试验结束时统计长山核桃存活棵数。用游标卡尺和卷尺分别在试验开始和结束时测定地径和苗高。在试验开始前和结束后,取整株实生苗测鲜质量和干质量(103 °C 杀青 30 min,83 °C 烘干至恒定质量)。计算每个处理下的存活率,相对地茎生长(相对地茎生长等于试验结束时地径减去试验开始时地径,以下同),相对苗高,相对鲜质量和相对干质量。每项测定重复 3 次。

1.2.2 光合作用指标的测定

在试验处理完后的第 3 天上午 9 时(天气晴朗),用美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400XT 便携式光合测

定义测定植株叶片净光合速率(net photosynthetic rate, x_{Pn})、气孔导度(stomatal conductance, x_{Cond})、胞间 CO_2 质量分数(intercellular CO_2 concentrations, x_{Ci})、蒸腾速率(transpiration rate, x_{Tr})。每项测定重复3次。测定时温度为 $26\text{ }^\circ\text{C}\sim 28\text{ }^\circ\text{C}$, 光合有效辐射(x_{PAR})为 $1\ 138.23\sim 1\ 126.67\ \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, O_2 质量分数(x_{Ca})为 $386.21\sim 393.39\ \mu\text{mol}/\text{mol}$, 相对湿度为 33% , 设定流速为 $300\ \mu\text{mol}/\text{s}$ 。并计算气孔限制值(stomatal limits, x_{Ls})、水分利用效率(water use efficiency, x_{WUE})、瞬时羧化速率(instant carboxyl use efficiency, x_{CUE})和瞬时光能利用率(instant solar energy use efficiency, x_{SUE}), 换算公式分别为 $x_{Ls}=1-\frac{x_{Ci}}{x_{Ca}}$,

$$x_{WUE}=\frac{x_{Pn}}{x_{Tr}}, x_{CUE}=\frac{x_{Pn}}{x_{Ci}}, x_{SUE}=\frac{x_{Pn}}{x_{PAR}}.$$

1.2.3 数据统计分析

采用 Excel 2003 处理数据(保留小数点后 2 位), 通过 SPSS19.0 统计软件进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对长山核桃生长的影响

2.1.1 水分胁迫对长山核桃存活率的影响

从表 1 知, 试验结束时, CK 和 T3 组的植株全部存活, T1 组的存活率为 87.50% , T2 组全部死亡。T2 组在试验开始后第 5 天植株上部叶片开始出现卷曲、萎蔫现象; 第 10 天开始有植株死亡; 第 16 天大部分叶片干枯、卷曲, 死亡率到达 50% ; 第 23 天全部死亡。当遇到天晴高温时, 植株加速干旱死亡。T1 组在试验开始后第 19 天, 植株在土壤以上淹水部位出现皮孔增生现象; 第 21 天叶片出现褐色斑点, 枯黄, 有部分叶片开始掉落。T3 组在第 30 天, 有个别植株出现和 T2 组相同的褐色斑点, 斑点数量比 T2 组少。

表 1 不同水分胁迫对长山核桃幼苗存活率的影响

处理	CK	T1	T2	T3
存活率/%	100	87.50	0	100

2.1.2 水分胁迫对长山核桃相对生长量的影响

从表 2 可以看出, 试验结束时, T3 组的相对苗高生长、相对地茎生长、相对鲜质量、相对干质量与 CK 组没有显著差异; T1 组在淹水分胁迫后, 相对苗高生长只有 CK 组的 53.98% 。试验结束后, T1 组全部出现皮孔增大现象, 相对地茎生长没有出现显著差异, 相对鲜质量、相对干质量分别只有 CK 组的 62.59% 和 55.35% ; T2 组在干旱水分胁迫后, 生长几乎停滞, 相对鲜质量和相对干质量为负值, 植株落叶现象严重, 可能是胁迫发生后, 植株为了生存, 不断利用自身的能量, 使其尽量减少胁迫对自身的影响。

表 2 不同水分胁迫对长山核桃幼苗相对苗高生长、相对地茎生长、相对鲜质量、相对干质量影响的比较

处理	相对苗高生长 /($\text{cm}\cdot\text{株}^{-1}$)	相对地茎生长 /($\text{mm}\cdot\text{株}^{-1}$)	相对鲜质量 /($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)	相对干质量 /($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)
CK	$4.65\pm 0.06\text{Aa}$	$0.94\pm 0.87\text{Aab}$	$12.75\pm 0.30\text{Bb}$	$3.83\pm 0.09\text{Aa}$
T1	$2.51\pm 0.11\text{Bb}$	$0.89\pm 0.39\text{Ab}$	$7.98\pm 0.14\text{Cc}$	$2.12\pm 0.07\text{Bb}$
T2	$1.05\pm 0.10\text{Cc}$	$0.06\pm 0.16\text{Bc}$	$-4.35\pm 0.14\text{Dd}$	$-0.75\pm 0.34\text{Cc}$
T3	$4.85\pm 0.12\text{Aa}$	$1.21\pm 1.03\text{Aa}$	$14.41\pm 0.32\text{Aa}$	$3.83\pm 0.10\text{Aa}$

注: 表 2 中数据为平均值士标准误, 同列数据后不同大、小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平上的差异显著性。

2.2 水分胁迫对长山核桃光合特性的影响

2.2.1 水分胁迫对长山核桃净光合速率的影响

由图 1 可以看出, 水分胁迫对 x_{Pn} 均有不同程度的影响。随着胁迫时间的延长, T2 组的 x_{Pn} 变化最大, 叶片失水很快, 胁迫第 11 天, x_{Pn} 为 CK 组的 28.67% ; 第 16 天时, x_{Pn} 仅为 CK 组的 12.90% 。说明干旱胁迫对长山核桃净光合速率的影响很大, 时间越长, 干旱胁迫程度越大, 对 x_{Pn} 的影响越大。T1 组的 x_{Pn} 先增

大后减小, 前 16 天的 x_{Pn} 大于 CK 组, 16 天以后 x_{Pn} 快速下降且小于 CK 组. T3 组的 x_{Pn} 变化情况呈“W”型且总体 x_{Pn} 和 CK 组相差不大, 表明周期性淹水——干旱也对长山核桃的净光合速率有影响.

2.2.2 水分胁迫对长山核桃气孔导度的影响

图 2 表明, 不同水分胁迫下长山核桃的 x_{Cond} 变化不同. T2 组在干旱胁迫下 x_{Cond} 变化和 x_{Pn} 的变化曲线相似, 随着时间的推移, x_{Cond} 下降很快, 且干旱时间越长下降越快. T1 组一开始就淹在水里, 在渍渍胁迫下, 长山核桃叶片 x_{Cond} 的变化与 x_{Pn} 的变化相似, 与 CK 组的 x_{Cond} 变化规律也相似, 为先上升后下降. T3 组的 x_{Cond} 呈“W”型变化, 与 T3 组 x_{Pn} 的“W”型变化相似, 说明在淹水时, 长山核桃植株叶片 x_{Cond} 变大, 在排水时, x_{Cond} 变小.

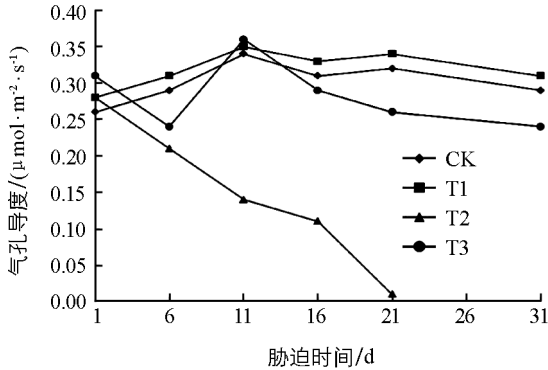


图 1 不同水分胁迫对长山核桃幼苗叶片 x_{Pn} 的影响

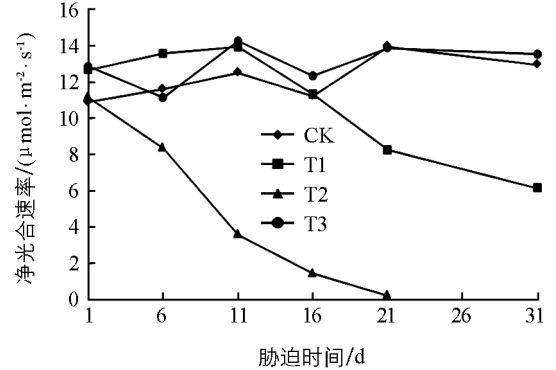


图 2 不同水分胁迫对长山核桃幼苗叶片 x_{Cond} 的影响

2.2.3 水分胁迫对长山核桃蒸腾速率的影响

水分胁迫对长山核桃 x_{Tr} 的影响(见图 3)与对 x_{Cond} 的影响大致相似. 随着胁迫时间的增加, CK 组的 x_{Tr} 变化不大, T1 组和 T2 组的 x_{Tr} 均大幅度减小, T3 组的 x_{Tr} 呈“W”型变化且小于 CK 组. T1 组第 1 天淹水时, 气孔增大, 蒸腾速率变大, 随着胁迫时间增加, 蒸腾速率逐渐减小, 说明长山核桃植株能通过降低蒸腾速率来适应淹水环境. 由于干旱, T2 组的 x_{Tr} 随着时间的推移变化很大, 第 11 天时仅为 $3.84 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. T3 组 x_{Tr} 的变化和 x_{Cond} 的变化规律相似, 说明在淹水状态下, 长山核桃植株叶片 x_{Tr} 变大, 在排水时, x_{Tr} 变小.

2.2.4 水分胁迫对长山核桃幼苗叶片胞间 CO_2 质量分数的影响

由图 4 可以看出, 水分胁迫对长山核桃幼苗叶片胞间 CO_2 的 x_{Ci} 的影响最明显的是 T2 组, 随着时间的推移, T2 组的 x_{Ci} 下降很快, 第 16 天以后, 虽然小幅上升, 但仍然下降很多, 干旱导致长山核桃幼苗叶片胞间 CO_2 质量分数快速下降. CK 组与 T1 组的 x_{Ci} 曲线大致水平, 表明时间的增加对 CK 组与 T1 组的 x_{Ci} 影响不大. 随着淹水——排水的变化, T3 组 x_{Ci} 的曲线与 x_{Pn} 的曲线类似.

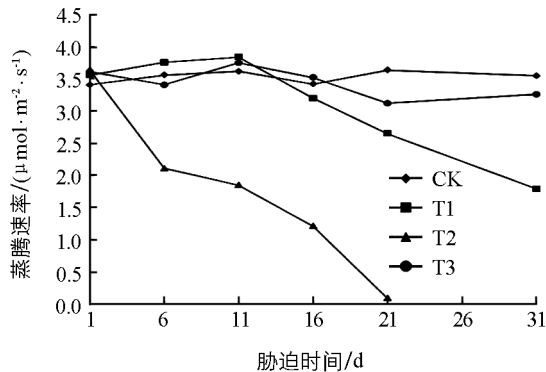


图 3 不同水分胁迫对长山核桃幼苗叶片 x_{Tr} 的影响

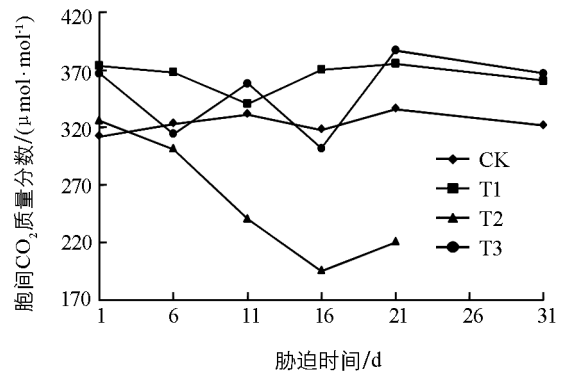


图 4 不同水分胁迫对长山核桃幼苗叶片 x_{Ci} 的影响

2.2.5 水分胁迫对长山核桃水分利用效率 x_{WUE} 的影响

长山核桃水分利用效率 x_{WUE} 和 x_{Pn} , x_{Tr} 密切相关^[10], 从图 5 可以看出, T2 组的 x_{WUE} 先小幅升高, 后大幅降低, 表明干旱胁迫下, 长山核桃为了自身保护, 关闭气孔, 减少蒸发, 大幅降低水分利用效率. T1 组的 x_{Tr} 先增大后减小, 所以 x_{WUE} 先增大后大幅降低. T3 组在淹水时, x_{WUE} 下降, 排水时, x_{WUE} 上升.

2.2.6 水分胁迫对气孔限制值 x_{Ls} 的影响

根据 Farquhar 和 Sharkey 提出的观点^[11], 当净光合速率下降时, 如果胞间 CO_2 质量分数和气孔导度同时下降, x_{Ls} 升高, 说明净光合速率的降低主要是由于气孔导度的下降所致; 如果气孔导度下降, 而胞间 CO_2 质量分数却在上升, x_{Ls} 降低, 则表明此时净光合速率下降的主要原因是叶肉细胞光合能力的降低, 即非气孔因素^[12-19]. 根据图 6 看出, T1 组的 x_{Ls} 先升高, 后降低, 说明长山核桃在一直淹水环境下, 前 10 天限制净光合速率的主要因素是气孔因素, 后期是非气孔因素. T2 组的 x_{Ls} 也是先上升, 后下降, 说明在干旱环境持续过程中, 基本上都是气孔因素限制长山核桃的净光合速率. T3 组实验表明长山核桃在淹水时限制净光合速率的主要因素是气孔因素, 排水时为非气孔因素.

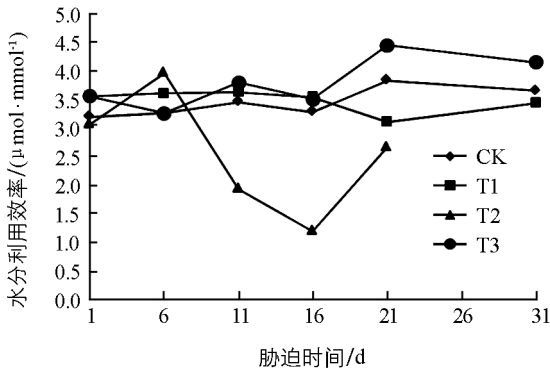


图 5 不同水分胁迫对长山核桃幼苗叶片 x_{WUE} 的影响

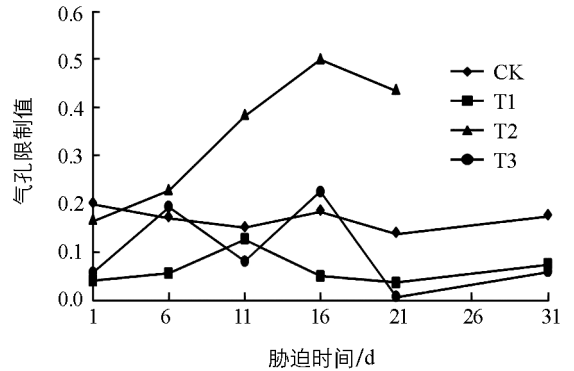


图 6 不同水分胁迫对长山核桃幼苗叶片 x_{Ls} 的影响

3 结论与讨论

生物量的改变是植物对外界环境变化适应性的综合反映, 也是植物受胁迫程度和抗胁迫能力的重要标准^[20]. 植物在生长过程中对缺水最为敏感, 各种水分变化都会对植物生长产生明显影响^[20], 水分亏缺时植物分生组织细胞膨压降低, 细胞分裂减慢或停止, 细胞伸长受到抑制^[21]. 本项试验研究表明, 干旱对长山核桃生长影响最大, 在完全干旱条件下, 盆栽植株 20 天左右就死亡, 天晴高温加速了植株死亡. 淹水胁迫对薄壳山核桃影响也很大, 表现出生长较慢, 叶片出现褐色斑点等症状. 但是植株在长期处在淹水状态时, 出现大量皮孔增生, 没有全部死亡, 存活率为 87.50%. T3 组与 CK 组差异不大, 也有少量皮孔增生现象, 表明长山核桃可以适应短期的淹水以及短期的干旱. 淹水可促进皮孔的增生, 比较大的表面积和疏松的结构有利于溶于水中的氧分子以及其它物质分子的交换, 是植物适应淹水的一种生理表现.

虽然植物在光合作用时利用水分不多, 但是水分变化可以引起植物其他物质代谢和气体交换, 从而间接影响光合作用. 在试验过程中, 长山核桃在干旱胁迫下, 光合作用的各项生理数据随着时间增加而加速下降, 直至死亡. 相反, 在涝害的胁迫下, 光合作用的各项生理数据均比 CK 组下降, 但是在胁迫后期仍然有光合作用进行, 维持植株生命, 这与 T1 组、T2 组的生长情况相对应, 说明干旱胁迫比淹水胁迫对长山核桃的危害性更大.

水分利用效率是光合速率和蒸腾速率的比值, 是在干旱环境下确定栽培植物种植方式和评价其水分生产的重要指标. 在干旱环境下, 植物水分利用效率的大小直接决定了植物的节水能力和水分生产力水平, 叶片水分利用效率与土壤水分关系的研究是确定植物水分管理指标和措施的重要依据^[20-22]. 本试验表明, 涝害环境下, 当处于过多的土壤水分环境时, 长山核桃将加大叶片气孔导度, 提高蒸腾速率, 增强生理活

性,增大水分利用效率,保持或提高光能利用效率和 CO₂ 利用效率,合成更多光合产物以满足呼吸速率提高的需要,克服根部处于缺氧的环境条件以及过多水分带来的不利影响,随着胁迫时间延长,长山核桃的水分利用效率大幅降低.当处于干旱环境时,长山核桃将因水分不足而降低气孔导度,减小蒸腾速率,提高水分利用效率,进而降低光能利用效率和 CO₂ 利用效率,随着干旱程度加剧,长山核桃的气孔关闭,进而降低水分利用效率.

王勇等^[23]对三峡库区消落带植物群落的数量进行了分析,认为水淹时间和土壤湿度是该区域植物群落组成和空间分布的主要限制性影响因子^[23].从上述试验看出,虽然水淹或干旱的环境条件都会对长山核桃幼苗产生一定的影响,但淹水试验组植株存活率较高,并表现出多种积极的适应性特征,T3组还表现出较好的生长情况.所以长山核桃适宜在易发生潮汐的滩地种植.长山核桃适宜于大陆性气候带的地区,在南、北纬 25~35°的地区生长结实表现更佳.重庆在北纬 28°10′到 32°13′间,正好在最适宜的栽培区,而且长山核桃为直根系深根性树种,栽植 2 到 3 年,向下的根系就很发达^[5].所以,综合考虑长山核桃光合生理生态适应特征,可以将其列为三峡库区消落带水土保持防护林体系建设树种之一.但在栽植营造以及管护时,需充分考虑该树种的耐湿性特征,避免将其置于干旱环境之中,以免造成不应有的损失.

参考文献:

- [1] 吴国良,陈丽霞,段良骅,等.美国山核桃[J].山西果树,2003,1(1):33-36.
- [2] 常君,姚小华,杨水平,等.美国山核桃不同品种接穗对嫁接苗木根系生长发育影响的研究[J].西南大学学报:自然科学版,2007,29(10):104-108.
- [3] DARRELL S. Pecan Cultivars The Orchardps Foundation [M]. Georgia: Pecan Production Innovations Watkinsville, 1992: 20-21.
- [4] 常君,杨水平,姚小华,等.美国山核桃果实性状变异规律研究[J].林业科学研究,2008,21(1):44-48.
- [5] 常君,姚小华,王开良,等.不同无性系美国山核桃种子对其苗木根系生长影响的研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(1):109-114.
- [6] 姚小华,王开良,任华东,等.薄壳山核桃优新品种和无性系开花物候特性研究[J].江西农业大学学报,2004,26(5):675-680.
- [7] 冯大兰,刘芸,钟章成.三峡库区消落带现状与对策研究[J].中国农学通报,2006,22(4):378-381.
- [8] 熊平生,谢世友,谢金宁.初探三峡水库湿地面临的问题及其对策[J].国土与自然资源研究,2004(4):60-62.
- [9] 熊平生,谢世友,莫心祥.长江三峡库区水土流失及其生态治理措施[J].水土保持研究,2006,13(2):272-273.
- [10] 熊平生,谢世友,谢金宁.初探三峡水库湿地面临的问题及其对策[J].国土与自然资源研究,2004(4):60-62.
- [11] FARQUHAR G D, SHSRKKEY T D. Stomatal Conductance and Photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [12] 曹福亮.人工淹水逆境处理对美洲黑杨苗木生理特性的影响[J].南京林业大学学报,1993,17(2):16-21.
- [13] 李莉,钟章成,缪世利,等.诸葛菜对水分胁迫的生理生化反应及调节适应能力[J].西南师范大学学报:自然科学版,2000,25(1):33-37.
- [14] ANDESNE P C, LOMBARD J M, WESTWOOD M N. Leaf Conductance, Growth, and Survival of Willow and Deciduous Fruit Tree Species Under Flooded Soil Conditions [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1984, 109: 132-138.
- [15] SCHAFFER B, ANDERSEN P C, PLOETZ R C. Responses of Fruit Crops to Flooding [J]. Hort Rev, 1992, 13: 257-313.
- [16] 倪君蒂,李振国.淹水对大豆生长的影响[J].大豆科学,2000,19(1):42-48.
- [17] 靖元孝,陈兆平,程惠青,等.淹水时水翁幼苗光合特性与不定根的关系[J].热带亚热带植物学报,2000,8(4):361-364.
- [18] 蒋明义,郭绍川.渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用[J].植物学报,1994(4):289-295.
- [19] 高健,侯成林,吴泽民.淹水胁迫对 I-69/55 杨蒸腾作用的影响[J].应用生态学报,2000,11(4):518-522.
- [20] 卓仁英,陈益泰.木本植物抗涝性研究进展[J].林业科学研究,2001,14(2):215-222.
- [21] 单长卷,徐新娟,韩占江.土壤干旱对洛麦 9133 幼苗根系生理特性的影响[J].西北农业学报,2006,15(4):

129-132.

[22] 罗芳丽,王玲,曾波,等.三峡库区岸生植物野古草(*Arundinella anomala* Steud)光合作用对水淹的响应[J].生态学报,2006,26(11):3602-3609.

[23] 王勇,吴金清,黄宏文,等.三峡库区消涨带植物群落的数量分析[J].武汉植物学研究,2004,22(4):307-314.

Effects of Water Stress on Physiological Characteristics of *Carya illinoensis*-an Economical Plant for Soil and Water Conservation

SUN Fan^{1,2}, ZHAO Jing-ming^{1,3}, YAO Xiao-hua³,
ZHANG Fu-hua^{1,2}, MA Sheng-li^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}

1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing 400715, China;

2. School of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Research Institute of Subtropical Forestry, Fuyang Zhejiang 311400, China

Abstract: The alternate flooding and drying environment caused by the typical hydro-ecological processes of winter impoundment and summer flooding of the Three Gorges Reservoir has attracted widespread interests from the environmental and ecological researchers. At present, the vegetation restoration and reconstruction of water-level-fluctuating zone become a major task of the Three Gorges Reservoir ecological environmental management. However, large differences in criteria of how to evaluate pioneer suitable plants are still existing. Specifically, little is known about the physiological and ecological response mechanisms of the pioneer plants to the habitats which have complicated wet-dry alternate cycles. In this study, *Carya illinoensis* was selected as the researched object. A field plot investigation was conducted to determine its response mechanism to the physiological resistance in natural habitats. Parallel pot experiments, were carried out under laboratory conditions, in order to analyze physiological characteristics of resistance and photosynthetic characteristics of *Carya illinoensis*. The results show that the drought stress impacted most significantly on *Carya illinoensis* during the water single factor test. Photosynthetic rate and some indexes decreased when treated for 6-day drought, pecan plants began to die after 10-day treatment, and all plants died on the 23rd day. All of the plants survived and grew well under indirect water treatment during the test. Compared with the control group, the growth, photosynthesis and physiological indexes showed insignificant variations. This indicates that the *Carya illinoensis* can adapt to short-term flooding. The survival rate of the plant was 87.5% under continuous waterlogging stress. Treated for 20 days, The net photosynthetic rate of the plant dropped sharply, and some adaptive traits, such as the increase of lenticel, appeared. These indicate that the pecan has waterlogging tolerance to some extent.

Key words: *Carya illinoensis*; soil and water conservation; economical plant; water stress

