

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

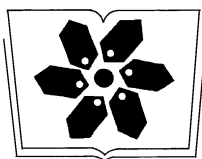
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响

李昌晓*, 魏虹, 吕茜, 张晔

(西南大学生命科学学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要:模拟三峡库区土壤水分变化特征,设置常规生长水分条件(NG组)、轻度干旱水分胁迫(MD组)、土壤潮湿(WS组)以及水淹(BS组)4个不同处理组,研究多种水分胁迫对湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)当年实生幼苗的生长与生理影响。结果表明:不同水分处理、时间对湿地松幼苗的生长、生物量、根系的草酸与酒石酸含量均产生显著的影响($P < 0.05$,水分处理对茎生物量的影响例外)。与NG相比,MD、WS和BS均显著降低湿地松幼苗的高生长与叶生物量积累,但对茎生物量的影响均不显著。MD显著降低地径生长,与WS和BS显著增加地径生长正好相反。与此同时,MD、WS和BS能显著增加湿地松幼苗主根、侧根以及总根的草酸和酒石酸含量(MD主根的草酸含量例外)。在同一处理组内,湿地松幼苗根系草酸与酒石酸含量随着处理时间的延长呈现出不同的变化趋势。在多种水分逆境胁迫条件下,湿地松幼苗虽然在生长与生物量方面表现出一定的敏感性,但该树种幼苗较好的适应性特征仍然表现明显。因此,在对湿地松幼苗进行管护时,应当特别注意干旱环境下浇水、水淹环境下排水等土壤水分管理措施,确保湿地松幼苗的健康生长。

关键词:三峡库区;水分胁迫;湿地松幼苗;草酸;酒石酸;生理生化

Effects of different water treatments on growth and contents of secondary metabolites in roots of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) seedlings

LI Changxiao*, WEI Hong, LÜ Qian, ZHANG Ye

Key Laboratory for the Eco-Environment of the Three Gorges Reservoir Region of the Ministry of Education, College of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to simulate soil water regimes in the riparian zone of the Three Gorges Reservoir Area, four different kinds of water treatment were applied to study the effects of multiple water stresses on growth and physiological traits of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) seedlings. The water treatments were normal growth water treatment (NG), mild drought stress (MD), wet soil (WS) and belowground submergence (BS). The results showed that both water treatment and time had significant ($P < 0.05$) effects on growth, biomass accumulation, and contents of oxalate and tartarate in the roots of slash pine seedlings, but had no effect of water treatment on shoot biomass. Compared to NG, the MD, WS and BS treatments significantly reduced the seedlings' height growth and leaf biomass accumulation, but had no significant effect on shoot growth. In addition, diameter growth was significantly decreased in MD in contrast to a significant increase in WS and BS, respectively. Furthermore, MD, WS and BS not only significantly increased content of oxalate, but also content of tartarate, respectively in taproot, lateral roots, and total roots in slash pine seedlings; the content of oxalate in taproot was however not affected by MD. When subjected to multiple water stresses, slash pine seedlings demonstrated some characteristics of acclimation although the seedlings showed susceptibility in growth and biomass accumulation. Thus, intensive water management will be necessary for maintaining adequate water regimes for healthy growth of slash pine

基金项目:重庆市自然科学基金项目(CSTC-2008BA7032, CSTC-2010BB7003);国家林业公益性行业科研专项(201004039);中央高校基本科研业务费专项资金重点项目(XDJK2009B032);国家林业局948项目(2008-4-45);西南大学博士基金项目(SWU109020)

收稿日期:2010-07-01; 修订日期:2010-09-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lichangx@swu.edu.cn

seedlings.

Key Words: Three Gorges Reservoir Region; multiple water stresses; *Pinus elliottii* seedlings; oxalate; tartarate

湿地松原产北美东南部亚热带低海拔的潮湿地带,抗干旱、耐水涝、耐瘠薄,有良好的适应性和抗逆力,生长迅速,因此在世界上的分布极其广泛。湿地松既是优良的造林绿化树种,又是很好的经济树种。我国长江流域及其以南各省广为引种造林,目前在三峡库区也有一定分布。近年来,三峡库区已先后开展实施“长江中上游防护林体系建设工程”、“长江上游水土保持工程”、“天保工程”、“退耕还林”、“森林重庆”、“重庆长江两岸森林工程”等一系列林业生态项目,采用湿地松种子撒播造林、植苗造林、林分天然更新的生产实践活动较为频繁。然而,湿地松在三峡库区的分布仍然非常有限。目前三峡水库“冬蓄夏排”的反季节水位调度管理方式,极有可能进一步加强库区本已干旱多雨的丘陵山地气候特征,使库区两岸大部分区域受到水淹、水渍、干旱等多种水分逆境胁迫的影响^[1-3],进而对湿地松的生长发育与生理节律产生影响。因此,开展湿地松对多种水分逆境胁迫的响应机理研究显得十分必要。

国内外学者对湿地松已开展大量研究,包括生长发育^[4-5]、光合生理^[6-10]、耐旱特征^[11-12]、林分特性^[13]等方面,但有关该树种根系应对多种水分逆境胁迫的生理生化机制还未见报道。因此,本研究的目的旨在从生理生化的角度深入了解湿地松幼苗根系对多种水分胁迫环境的适应性机理。一般而言,在水淹、水渍、干旱等多种水分逆境胁迫条件下,植物根系将会产生一系列的适应性代谢变化^[14-18]。已有大量研究表明,植物根部草酸、酒石酸含量的增加可以有效地提高植物的抗逆能力,诸如抗 Al 毒性,螯溶土壤中的难溶性磷、诱导植物抗病性等^[19-23]。由此假设:(1)湿地松幼苗不论是在干旱胁迫条件下,还是在潮湿与淹水逆境中,其根部的草酸、酒石酸含量均会增加;(2)因该树种的抗旱耐涝特性,湿地松幼苗生长不会受到干旱、潮湿与淹水胁迫的负面影响。

1 材料与方法

1.1 研究树种和地点

本试验选择湿地松当年实生幼苗作为研究对象。2008 年 6 月中旬将大小、生长基本一致的 100 株幼苗移栽入盆钵(盆高 18 cm,盆口直径 23 cm),每盆内装紫色土 3.5 kg,每盆 1 株。将所有盆栽试验用苗置于西南大学生态试验园地中(海拔 249 m)进行相同土壤基质、光照和水管理适应,并于 7 月 20 日将所有植株移入透明遮雨棚内开始进行实验处理。

1.2 试验设计

本试验采用完全随机区组设计。将平均高度为 14 cm 的试验用苗随机分成 4 组,每组 25 盆,包括对照组 NG、轻度干旱组 MD、潮湿组 WS 和水淹组 BS。NG 为常规生长组,土壤含水量为田间持水量的 70%—80%。MD 为轻度干旱水分胁迫,土壤含水量为田间持水量的 50%—55%(土壤含水量采用称重法测定)。WS 的土壤表面一直处于潮湿状态。BS 在本试验中为苗木根部土壤全部淹没,淹水超过土壤表面 5 cm。水淹处理时,将苗盆放入直径为 80 cm、高 25 cm 的大型塑料盆内,然后向盆内注水,直到盆内水面超过土壤表面 5 cm 为止^[15]。试验期间每天傍晚通过称盆重监测失水情况并确定补充水分量,使各处理保持设定的土壤含水量。

取样测试分别于处理 25 d 和 100 d 后进行,生长与生物量每个处理每次测定 6 个重复,根系次生代谢物含量每个处理每次测定 3 个重复,最后取各次测定的平均值作为比较结果。

1.3 生长与生物量指标的测定

使用刻度尺和游标卡尺分别测定植株的株高和基径等生长指标。取样时,将植株叶、茎和根(分主、侧根两部分)分开取样,随后立即放入 80 ℃ 烘箱中烘干至恒重,用分析天平称量各部分质量。总根生物量指每株主、侧根两部分以干质量计的生物量之和。

1.4 根系草酸、酒石酸含量的测定

溶液制备时,向事先称取好的主、侧根样品中加入少量去离子水,分别研磨至匀浆,转入 25 mL 具塞试管

中定容至 10 mL。然后在 80 °C 恒温条件下水浴 30 min, 静置、冷却。取上清液转入 5 mL 离心试管, 8 000 r/min, 离心 10 min。最后取上清液, 用孔径为 0.45 μm 的注射式过滤器(美国 Millipore 公司生产)过滤。滤液用 1.5 mL 离心试管盛装, 用于高效液相色谱分析。在预备试验的基础上, 参照高智席等^[24]的方法, 采用日本岛津 LC-20A 高效液相色谱仪, 用 HClO_4 (pH = 2.5) 溶液作流动相, 在美国产 Phenomenex C_{18} (150 mm $\times$ 4.6 mm) 色谱柱上进行测定。流动相流速 0.5 mL/min; 检测波长 214 nm, 带宽 4 nm; 柱温 30 °C, 进样量 20 μL 。

98.5% 的分析纯草酸、酒石酸标样由上海化学试剂研究所提供。草酸的标准曲线方程为: $Y = 99172.9 + 1.8595 \times 10^7 X$, $r = 0.99986$, 检测限 5.06×10^{-4} mg/mL; 酒石酸的标准曲线方程为: $Y = 66085.22 + 5.2360 \times 10^6 X$, $r = 0.99999$, 检测限 9.94×10^{-4} mg/mL。主根、侧根草酸与酒石酸含量分别以每克主根、侧根干物质含有的草酸、酒石酸毫克数计 (mg/g); 总根草酸与酒石酸含量指由主根、侧根组成的根系整体所含有的草酸、酒石酸平均含量 (mg/g)。

1.5 统计分析

本试验将水分与时间作为影响所测指标的两个因数, 采用双因素方差分析法揭示水分、时间以及二者的交互作用对湿地松生理生化特征的影响 (GLM 程序, SPSS 13.0 版)。并用 Tukey's 检验法检验每个生理指标在处理间、不同时间 ($\alpha = 0.05$) 的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 生长与生物量的变化

不同水分处理能显著影响湿地松幼苗的高度 ($F = 29.56$, $P = 0.000 < 0.001$)、地径 ($F = 26.18$, $P = 0.000 < 0.001$)、叶生物量 ($F = 20.12$, $P = 0.000 < 0.001$)、根生物量 ($F = 3.78$, $P = 0.018 < 0.05$) 以及总生物量 ($F = 11.80$, $P = 0.000 < 0.001$), 但对茎生物量的影响却并不显著 ($F = 0.62$, $P = 0.61 > 0.05$)。与对照组 NG 相比, 轻度干旱组 MD、潮湿组 WS 和水淹组 BS 均显著降低湿地松幼苗的高生长 (表 1), 而且 MD 与 BS 的降低幅度显著大于 WS。MD 组也显著降低地径生长, 这与 WS 和 BS 显著增加地径生长形成鲜明对比。MD 与 BS 两处理组之间的生物量无显著差异, 叶与总生物量均显著低于 WS 与 NG 组 (表 1)。虽然 WS 组的叶生物量也显著低于 NG 组, 但其茎、根及总生物量与 NG 组并无显著差异。随着处理时间的延长, 湿地松幼苗的高和地径生长、根茎叶生物量的积累均显著增加 (各比较的 $P = 0.000 < 0.001$)。

表 1 不同水分处理条件下湿地松幼苗的生长与生物量

Table 1 Growth and biomass of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) seedlings under different water treatments

处理 Water treatment	高度 Height /cm	地径 Diameter/mm	叶质量 Leaf biomass /(g/株)	茎质量 Shoot biomass /(g/株)	根质量 Root biomass /(g/株)	总质量 Total biomass /(g/株)
NG	20.96 $\pm$ 1.53a ^①	2.2 $\pm$ 0.15b	0.38 $\pm$ 0.05a	0.14 $\pm$ 0.01a	0.14 $\pm$ 0.02a	0.66 $\pm$ 0.07a
MD	16.8 $\pm$ 0.59c	1.75 $\pm$ 0.05c	0.24 $\pm$ 0.01c	0.13 $\pm$ 0.01a	0.12 $\pm$ 0.01ab	0.49 $\pm$ 0.02b
WS	18.45 $\pm$ 0.97b	2.4 $\pm$ 0.17a	0.31 $\pm$ 0.03b	0.13 $\pm$ 0.01a	0.15 $\pm$ 0.02a	0.59 $\pm$ 0.05a
BS	16.49 $\pm$ 0.61c	2.51 $\pm$ 0.21a	0.24 $\pm$ 0.02c	0.12 $\pm$ 0.01a	0.1 $\pm$ 0.01b	0.47 $\pm$ 0.03b

①表中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 样本数 = 12; 同一栏中的不同字母表示不同处理组之间差异显著 ($P = 0.05$)

2.2 根系草酸含量的变化

不同水分、时间以及水分与时间的交互作用显著影响湿地松幼苗的主根、侧根和总根草酸含量 (表 2)。与 NG 相比, WS 和 BS 组的主根、侧根以及总根的草酸含量均显著增加 (表 3)。虽然 MD 组侧根与总根的草酸含量也显著高于 NG 组, 但其主根的草酸含量却显著低于 NG 组。就单个处理组而言, BS 组主根在处理 100 d 后的草酸含量比处理 25 d 后的含量降低 20%, 与该组侧根、总根草酸含量同比分别增加 89% 与 39% 形成鲜明对照。WS 组侧根在处理 100 d 后的草酸含量虽也显著增加, 但其主根、总根前后两次测定的草酸含量分别并无显著差异 (表 4)。

表 2 不同水分处理及时间对湿地松幼苗根部草酸与酒石酸含量方差分析结果

Table 2 ANOVA of the effects of water treatment and time on growth, biomass, and metabolites of the roots of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) seedlings

变量 Variable ^①	效应 Effect	df	F	P
主根草酸含量 Oxalate content in taproot/(mg/g)	处理 Treatment	3	124.83	<0.001
	时间 Time	1	27.41	<0.001
	处理×时间 Treatment×time	3	6.36	<0.01
侧根草酸含量 Oxalate content in lateral roots/(mg/g)	处理 Treatment	3	198.36	<0.001
	时间 Time	1	135.18	<0.001
	处理×时间 Treatment×time	3	23.01	<0.001
总根草酸含量 Oxalate content in total roots/(mg/g)	处理 Treatment	3	31.15	<0.001
	时间 Time	1	31.35	<0.001
	处理×时间 Treatment×time	3	3.61	<0.05
主根酒石酸含量 Tartarate content in taproot/(mg/g)	处理 Treatment	3	18.76	<0.001
	时间 Time	1	40.40	<0.001
	处理×时间 Treatment×time	3	20.13	<0.001
侧根酒石酸含量 Tartarate content in lateral roots/(mg/g)	处理 Treatment	3	65.74	<0.001
	时间 Time	1	150.24	<0.001
	处理×时间 Treatment×time	3	0.52	0.672
总根酒石酸含量 Tartarate content in total roots/(mg/g)	处理 Treatment	3	18.90	<0.001
	时间 Time	1	18.68	<0.001
	处理×时间 Treatment×time	3	0.76	0.534

①草酸与酒石酸含量样本数=6

表 3 不同水分处理条件下湿地松幼苗根部的草酸与酒石酸含量

Table 3 Contents of oxalate and tartarate in roots of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) seedlings under different water treatments

处理 Water treatment	草酸含量 Oxalate content/(mg/g)			酒石酸含量 Tartarate content/(mg/g)		
	主根 Taproot	侧根 Lateral roots	总根 Total roots	主根 Taproot	侧根 Lateral roots	总根 Total roots
NG	1.41±0.06b ^①	1.01±0.03d	1.10±0.03c	7.65±0.21c	1.08±0.33c	2.52±0.3b
MD	0.56±0.05c	2.62±0.1a	1.71±0.17b	9.76±1.29b	2.83±0.27a	5.77±0.58a
WS	2.15±0.2a	1.32±0.16c	1.60±0.06b	9.46±0.3b	2.22±0.31b	4.73±0.35a
BS	2.22±0.12a	1.99±0.28b	2.03±0.15a	10.75±0.53a	2.93±0.3a	5.75±0.6a

①表中数据为平均值±标准误,样本数=6;同一栏中的不同字母表示不同处理组之间差异显著(P=0.05)

2.3 根系酒石酸含量的变化

不同水分处理与时间也显著影响湿地松幼苗主根、侧根和总根的酒石酸含量;水分与时间交互作用虽然显著影响湿地松幼苗主根酒石酸含量,但对侧根和总根的酒石酸含量并无显著影响(表2)。与NG相比,MD、WS、BS三组的主根、侧根以及总根的酒石酸含量均显著增加(表3)。在主根,MD与WS两组的酒石酸含量并无显著差异,但均显著低于BS主根的酒石酸含量。相反,在侧根,MD与BS的酒石酸含量无显著差异,但均显著高于WS侧根的酒石酸含量。就单个处理组而言,NG组侧根在处理100 d后的酒石酸含量比处理25 d后的含量显著增加435%,MD、WS、BS三组侧根的酒石酸含量也表现出显著增加,分别提高51%、85%与52%。与此同时,MD与BS两组主根在处理100 d后的酒石酸含量比处理25 d也显著增加(表5)。

3 结论与讨论

湿地松为松科松属乔木,是世界松属植物中具有重要经济价值的针叶用材树种之一^[10]。我国于1930年开始引种,现已成为国内普遍采用的造林绿化树种和用材树种^[25]。尽管湿地松被认为具有抗旱耐涝的特性,但本研究却发现湿地松幼苗在干旱、潮湿与水淹等多种水分逆境条件下,高生长与叶干物质积累显著降低,说明湿地松幼苗并未表现出良好的耐水湿特性。因此,前面的假设“湿地松幼苗生长不会受到干旱、潮湿与淹

表 4 不同水分处理条件下湿地松幼苗根部草酸含量随时间的变化

时间 Time	主根 Taproot/(mg/g)					侧根 Lateral roots/(mg/g)					总根 Total roots/(mg/g)				
	NG	MD	WS	BS	NG	MD	WS	BS	NG	MD	WS	BS	NG	MD	WS
25 d	1.4 ± 0.14 ^①	0.66 ± 0.02	2.54 ± 0.2	2.46 ± 0.11	0.95 ± 0.02	2.47 ± 0.17	0.96 ± 0.01	1.38 ± 0.02	1.05 ± 0.03	1.43 ± 0.18	1.49 ± 0.06	1.7 ± 0.04			
100 d	1.42 ± 0.04	0.45 ± 0.03	1.75 ± 0.04	1.96 ± 0.01	1.07 ± 0.04	2.77 ± 0.03	1.68 ± 0.02	2.61 ± 0.09	1.16 ± 0.03	1.99 ± 0.16	1.71 ± 0.01	2.36 ± 0.09			
<i>T</i> -value	0.215	4.073	3.404	4.624	2.225	1.513	35.054	17.015	3.688	2.085	4.09	7.471			
<i>P</i>	0.85	0.055	0.077	0.044 * ^②	0.156	0.269	0.001 **	0.003 **	0.066	0.172	0.055	0.017 *			

①表中数据为平均值 ± 标准误,样本数 = 3; ② * 表示显著水平 $P < 0.01$; * 表示显著水平 $P < 0.05$

表 5 不同水分处理条件下湿地松幼苗根部酒石酸含量随时间的变化

时间 Time	主根 Taproot/(mg/g)					侧根 Lateral roots/(mg/g)					总根 Total roots/(mg/g)				
	NG	MD	WS	BS	NG	MD	WS	BS	NG	MD	WS	BS	NG	MD	WS
25 d	7.76 ± 0.27	6.91 ± 0.22	9.32 ± 0.65	9.84 ± 0.57	0.34 ± 0.01	2.26 ± 0.14	1.56 ± 0.05	2.33 ± 0.18	1.99 ± 0.12	4.96 ± 0.5	4.2 ± 0.43	4.58 ± 0.23			
100 d	7.54 ± 0.36	12.61 ± 0.44	9.6 ± 0.06	11.67 ± 0.5	1.82 ± 0.05	3.41 ± 0.14	2.88 ± 0.22	3.53 ± 0.23	3.05 ± 0.41	6.59 ± 0.88	5.25 ± 0.39	6.93 ± 0.62			
<i>T</i>	1.878	8.72	0.477	6.612	26.968	5.315	4.926	3.775	2.951	1.23	1.659	5.896			
<i>P</i>	0.201	0.013 *	0.68	0.022 *	0.001 **	0.034 *	0.039 *	0.036 *	0.098	0.344	0.239	0.028 *			

①表中数据为平均值 ± 标准误,样本数 = 3; ② * 表示显著水平 $P < 0.01$; * 表示显著水平 $P < 0.05$

水胁迫的负面影响”不能成立。分析表明,湿地松幼苗高生长与叶生物量具有高度的相关性($R=0.86$, $P=0.000<0.001$),预示着叶生物量越大,光合产能可能越高,供给植物高生长的能力更强。与此同时,植物加快高生长将有助于叶片获取更多的光照,进而提高湿地松幼苗叶片的碳同化水平。这与湿地松的喜光特性完全相符^[25]。湿地松幼苗高生长与叶干物质积累对多种水分胁迫的敏感性表现,很可能与本试验所采用的苗龄有较大关系。一般而言,苗龄高、生长健壮的苗木,应对逆境胁迫的能力会相对强一些^[26-27]。

本试验发现湿地松幼苗在 WS 与 BS 组的地径显著高于 NG 组,而 MD 组的地径显著低于 NG 组,表明土壤水分含量与地径的生长关系密切。已有研究表明,对水淹有较强适应能力的树种,在水分胁迫期间通常形成不定根、肥大的皮孔与气生根^[28-29]等组织,以增加植物根系对氧气的获取。湿地松幼苗在 WS 与 BS 组条件下有不定根长出,同时还产生肥大的皮孔,这对其根部氧的获取非常有效。这也可能直接导致了湿地松幼苗在 WS 与 BS 组的地茎增大。非常有趣的是,湿地松幼苗的茎干物质积累在四个处理组之间没有显著差异性,这反映出该树种幼苗适应多种水分胁迫的一定能力。MD、WS 组的根系干物质积累与 NG 组并无显著差异,更进一步证实湿地松幼苗具有一定的耐水湿特性。因此,在多种水分胁迫条件下,尽管湿地松幼苗在生长与干物质积累方面存在敏感性特征,但仍然具有一定的适应能力。

大量研究表明,草酸在植物对生物和非生物胁迫的抗性中起着非常重要的作用^[30-32]。本试验研究发现,无论是 MD,还是 WS 与 BS,湿地松幼苗的侧根与总根的草酸含量均显著高于对照组 NG。然而,主根的草酸含量在 MD 组则显著降低,与 WS、BS 两组主根草酸含量显著高出 NG 组形成反差。这与假设湿地松幼苗在 MD、WS、BS 三种水分胁迫条件下根部草酸含量会增加是不完全相符的。虽然湿地松幼苗 MD 组主根的草酸含量显著低于另外 3 组,但 MD 组侧根的草酸含量却最高,依次分别高出 NG、WS、BS 组 159%、31%、97%。因此可以推测,湿地松幼苗 MD 组主根的草酸可能大部分转移到侧根,致使主根草酸含量出现显著偏低的现象。当然这还需要进一步的试验结果来验证。植物草酸的合成主要通过光呼吸乙醇酸途径进行^[33]。因此,湿地松幼苗根部草酸含量的增加很有可能是由于根中光呼吸乙醇酸途径加强的结果,即在乙醇酸氧化酶的作用下,乙醇酸氧化生成乙醛酸,乙醛酸再进一步氧化生成草酸。

在 MD、WS、BS 三种水分逆境胁迫条件下,湿地松幼苗主根、侧根以及总根的酒石酸含量均显著高于各自对应的 NG 组,表现出与草酸含量基本类似的变化特征(MD 主根的草酸含量除外)。可见,根部酒石酸含量的变化特征符合我们先前的假设,即湿地松幼苗在干旱、潮湿与水淹胁迫下根部的酒石酸含量会增加。这与葡萄成熟过程中酒石酸含量在干旱季节降低,阴雨季节升高的现象明显不同^[34-35]。在不同水分胁迫条件下,湿地松幼苗根部酒石酸含量显著增加的变化特征,很可能与酒石酸的合成途径加强有关。目前,有关植物在应对逆境过程中酒石酸含量变化机理方面的研究,国内外还少见报道,可供参考的文献也较少。特别是酒石酸合成酶基因的发育调节、环境调节和组织特异性调节机理还不清楚^[36]。然而,有研究表明葡萄属植物酒石酸的合成来自于抗坏血酸的 C1—C4 四碳片段,天竺葵属植物酒石酸的合成来自于抗坏血酸的 C3—C6 四碳片段,而且艾杜糖酸脱氢酶所催化的反应是葡萄属植物中酒石酸生物合成的限速步骤^[36]。因此,继续深入研究植物在多种水分胁迫条件下酒石酸的代谢机理显得很有必要。

本试验发现湿地松幼苗根系在 MD、WS、BS 三种水分逆境胁迫条件下草酸、酒石酸含量较 NG 组显著升高的现象(MD 主根的草酸含量除外),也有可能是叶中合成的草酸、酒石酸通过茎运送至根的结果。还有可能是植物根分解利用草酸、酒石酸的酶活性降低的缘故。湿地松幼苗根部积累较多的草酸和酒石酸,可以将其分泌出体外或代谢分解掉,这样既可以增强植物自身的抗逆性又可以减少过多的草酸、酒石酸以免造成伤害^[37]。当然,上述几个方面有可能在同时发生并共同起作用。研究发现落雨杉(*Taxodium distichum*)、池杉(*Taxodium ascendens*)幼苗在水淹与渍水条件下侧根苹果酸、莽草酸含量显著增加^[3,38],至于两树种幼苗根部的草酸与酒石酸含量是否也存在显著增加的现象,还有待于进一步的研究证实。本试验中,湿地松幼苗根系在同一处理组内草酸与酒石酸含量随着时间的推移呈现出不同的变化趋势,各组主根在处理 100 d 后的草酸含量始终未显著高出对应的 25 d 后的值,而各组侧根、总根的草酸含量以及根系各部分的酒石酸含量 100 d

后的值始终未显著低于对应的 25 d 后的值(表 4,表 5)。由此充分说明,湿地松幼苗根部在不同水分条件下、根系不同部分(如主侧根)以及不同时间的草酸与酒石酸含量可能存在明显差异,这与前人研究草酸含量变化^[31-32]所得结论基本一致。说明根部草酸与酒石酸含量受到合成、分解、转运及分泌等因子的综合控制。

目前,随着“后三峡”时期的到来,三峡库区林业生态建设任务日趋繁重。在已开展实施的三峡库区生态环境建设项目中,适地适树的基本原理在个别地方并未得到切实有效地贯彻执行。三峡库区适宜造林树种的选择、配置和管护应当遵循科学发展观的指导,注重科学研究与科研成果的集成应用。本研究发现湿地松幼苗在多种水分逆境胁迫条件下,虽然在生长与生物量的积累方面表现出一定的敏感性,但该树种幼苗的适应性特征仍然比较明显,幼苗存活率达到 100%。因此,在对湿地松幼苗进行管护时,应当特别注意土壤水分管理,加强干旱环境下的浇水、水淹环境下的排水管理等措施,以确保湿地松幼苗的健康生长。然而,本试验并未研究湿地松幼苗在全淹条件下的生长与生理生化响应,这是本研究的不足之处。考虑到三峡库区水位变化的实际,研究湿地松在全淹条件下的适应机理显得尤为必要。

References:

- [1] Shi X H. Eutrophication and phosphorus release of soil in drawdown area of Three Gorges reservoir. *Soils and Fertilizers*, 2004, 1: 40-44.
- [2] Jiang H T, Xu F F, Cai Y, Yang D Y. Weathering characteristics of sloping fields in the Three Gorges Reservoir area, China. *Pedosphere*, 2006, 16 (1): 50-55.
- [3] Li C X, Zhong Z C. Influences of mimic soil water change on the contents of malic acid and shikimic acid and root-biomasses of *Taxodium distichum* seedlings in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges reservoir region. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (11): 4394-4402.
- [4] Li L W, Du C Q, Zhang W, Liu C L, Li W. Research on test for different afforestation density of *Pinus elliottii* Engelm. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2007, 6: 16-19.
- [5] Wu J Y, Long Y Z, Hu D M, Tong F P, Ai W S. An approach to inheritance and variation of main economic characters and comprehensive selection of half-sib families of slash pine. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 4: 89-92.
- [6] Zeng X P, Zhao P, Peng S L, Yu Z Y, Cai X A. Physioecological characteristics of three species of pine. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10 (3): 275-278.
- [7] Gong W, Gong Y B, Hu T X, Chen L W, Zhang F Q, Wang J Y, Zhu Z F. Responses of transpiration characteristics and water use efficiency of *Pinus elliottii* leaf to elevated CO₂ concentration. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19 (5): 178-182.
- [8] Tong F P, Fang W, Ma L Y, Song Q A, Long Y Z, Wu J Y, Yi A Q, Cheng Y. Study on physiological response of protein and sugar of slash pine's half-sib under water stress. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22 (12): 459-464.
- [9] Tong F P, Fang W, Ma L Y, Song Q A, Long Y Z, Wu J Y, Yi A Q, Cheng Y. Study on response of the contents of photosynthetic pigments of slash pine's half-sib under water stress. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22 (11): 97-102.
- [10] Tong F P, Fang W, Ma L Y, Song Q A, Long Y Z, Wu J Y, Yi A Q, Cheng Y. Study on response to photosynthetic characters of slash pine's half-sib under water stress. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2007, 31 (2): 32-36.
- [11] Chen Y Q, Ye B Y, Zhu J H. Comparison of water relation among three woody plants by using pressure-volume technique. *Journal of Fujian Teachers University*, 1999, 15 (4): 71-75.
- [12] Zhou X H, Liu X Q, Hu X Y, Cai S, Chen Y Q. The drought tolerance characteristics of the main afforestation trees in Northwest Hubei Province. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2005, 29 (1): 67-70.
- [13] Ford C R, Brooks J R. Detecting forest stress and decline in response to increasing river flow in southwest Florida, USA. *Forest Ecology and Management*, 2002, 160: 45-64.
- [14] Patonnier M P, Peltier J P, Marigo G. Drought-induced increase in xylem malate and mannitol concentrations and closure of *Fraxinus excelsior* L. stomata. *J Exp Bot*, 1999, 50:1223-1229.
- [15] Bragina T V, Martinovich L I, Rodionova N A, Bezborodov A M, Grineva G M. Ethylene-induced activation of xylanase in adventitious roots of maize as a response to the stress effect of root submersion. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2001, 37 (6): 618-621.
- [16] Kozłowski T T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. *Wetlands*, 2002, 22: 550-561.
- [17] Vann C D, Magonigal J P. Elevated CO₂ and water depth regulation of methane emissions: Comparison of woody and non-woody wetland plant species. *Biogeochemistry*, 2003, 63: 117-134.
- [18] Jackson M B, Colmer T D. Response and adaptation by plants to flooding stress. *Ann Bot*, 2005, 96: 501-505.

- [19] Dai X C, Peng X X, Li M Q. Changes in oxalate content of tobacco plants under phosphorus deficiency. *Plant Physiology Communication*, 2001, 37 (6): 515-516.
- [20] Liu X H, Peng X X, Chen D W. Distribution of oxalate in tobacco plantlets. *Plant Physiol Commun*, 2001, 37 (2): 126-127.
- [21] Liang Y Q, Pan W, Liu T T, Tie M, Deng B, Sun P, Xing Z Q, Zang S L. Study on effect of organic acid on cadmium-contaminated soil remediation. *Environmental Science and Management*, 2006, 31 (8): 76-78.
- [22] Huang Y M, Li G, Chen H. Effect of EDTA and tartaric acid on Cu and Pb releasing from soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25 (19): 283-286.
- [23] Fox T R, Cornerford N B. Influence of oxalate loading on phosphorus and aluminum in spodosols. *Soil Sci Soc Amer J*, 1992, 56: 290-294.
- [24] Gao Z X, Zhou G M, Huang C, Li C X, Wang L. Rapid determination of rudimental organic acids in root of *Taxodium ascendens* and *Taxodium distichum* by Ion-suppression RP-HPLC. *Chinese Journal of Pharmacy Analysis*, 2005, 25 (9): 1082-1085.
- [25] Zhang T P, Ren H, Peng S L, Yu Z Y. The ecological and biological characteristics of *Pinus elliottii*. *Ecologic Science*, 1999, 18 (2): 8-12.
- [26] Islam M A, Macdonald S E, Zwiazek J J. Responses of black spruce (*Picea mariana*) and tamarack (*Larix laricina*) to flooding and ethylene treatments. *Tree Physiology*, 2003, 23: 545-552.
- [27] Islam M A, Macdonald S E. Ecophysiological adaptations of black spruce (*Picea mariana*) and tamarack (*Larix laricina*) seedlings to flooding. *Tree Physiology*, 2004, 18: 35-42.
- [28] Gibberd M R, Gary J D, Cocks P S, Colmer T D. Waterlogging tolerance among a diverse range of *Trifolium* accessions is related to root porosity, lateral root formation and 'aerotropism'. *Annals of Botany*, 2001, 88: 579-589.
- [29] Mulia R, Dupraz C. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in southern France: What consequences for modeling of tree root dynamics?. *Plant Soil*, 2006, 281: 71-85.
- [30] Libert B, Franceschi V R. Oxalate in crop plants. *J Agric Food Chem*, 1987, 35: 926-938.
- [31] Peng X X, Li M Q. Oxalate and its metabolism in plants. *Plant Physiology Communication*, 199, 28 (2): 93-96.
- [32] Zhang Y P, Yang Y J, Yang L, Li Y, Gao B M, Wang X J, Dong X X. Hazard of oxalate in plants and its control manners. *Anhui Agri Sci Bull*, 2007, 13 (10): 34-39.
- [33] Liu Y H, Peng X X, Yu L. Difference in oxalate content between buckwheat and soybean leaves and its possible cause. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2004, 30 (2): 201-208.
- [34] Zhang J, Gao N F, Yang H. Study on the organic acids during the grapes growing. *Liquor Making*, 2004, 34 (5): 72-74.
- [35] Peng J, Sheng H, Jiang Z J. An easy controlled quality index pH value. *Liquor-making Science and Technology*, 2005, 4: 68-71.
- [36] Wen Y Q, Zhang Y F, Pan Q H. Progress on organic acids in grape berries. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2009, 27 (3): 302-307.
- [37] Liu X H, Peng X X. Formation of oxalate in tobacco leaves and the downward transport. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2002, 10 (2): 183-185.
- [38] Li C X, Zhong Z C, Tao J P. Malic acid, shikimic acid, and biomass accumulation in the roots of *Taxodium ascendens* seedlings under different soil water conditions. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44 (10): 1-7.

参考文献:

- [1] 石孝洪. 三峡水库消落区土壤磷素释放与富营养化. *土壤肥料*, 2004, 1: 40-44.
- [3] 李昌晓, 钟章成. 三峡库区消落带土壤水分变化对落羽杉(*Taxodium distichum*)幼苗根部次生代谢物含量及根生物量的影响. *生态学报*, 2007, 27 (11): 4394-4402.
- [4] 李丽文, 杜超群, 张维, 刘纯良, 李蔚. 湿地松不同造林密度试验研究. *湖北林业科技*, 2007, 6: 16-19.
- [5] 吴际友, 龙应忠, 胡蝶梦, 童方平, 艾文胜. 湿地松半同胞家系主要经济性状的遗传变异及其综合选择. *林业科学*, 2000, 36 (4): 89-92.
- [6] 曾小平, 赵平, 彭少麟, 余作岳, 蔡锡安. 三种松树的生理生态学特性研究. *应用生态学报*, 1999, 10 (3): 275-278.
- [7] 龚伟, 龚渊波, 胡庭兴, 陈林武, 张发会, 王景燕, 朱志芳. CO₂浓度升高对湿地松针叶蒸腾特性和水分利用效率的影响. *水土保持学报*, 2005, 19 (5): 178-182.
- [8] 童方平, 方伟, 马履一, 宋庆安, 龙应忠, 吴际友, 易霁琴, 程勇. 湿地松优良半同胞家系蛋白质及糖类对水分胁迫的生理响应. *中国农学通报*, 2006, 22 (12): 459-464.
- [9] 童方平, 方伟, 马履一, 宋庆安, 龙应忠, 吴际友, 易霁琴, 程勇. 水分胁迫下湿地松优良半同胞家系光合色素的响应. *中国农学通报*, 2006, 22 (11): 97-102.
- [10] 童方平, 方伟, 马履一, 宋庆安, 龙应忠, 吴际友, 易霁琴, 程勇. 水分胁迫下湿地松优良半同胞家系的光合特性响应研究. *南京林业大学学报*, 2007, 31 (2): 32-36.

- [11] 陈由强,叶冰莹,朱锦含. PV 曲线技术比较三种木本植物的水分状况. 福建师范大学学报, 1999, 15 (4): 71-75.
- [12] 周席华,刘学全,胡兴宜,蔡晟,陈义群. 鄂西北主要造林树种耐旱生理特性分析. 南京林业大学学报, 2005, 29 (1): 67-70.
- [19] 戴修纯,彭新湘,李明启. 缺磷胁迫下烟草中草酸含量的变化. 植物生理学通讯, 2001, 37 (6): 515-516.
- [20] 刘小琥,彭新湘,陈德万. 烟草植株各部位的草酸含量变化. 植物生理学通讯, 2001, 37 (2): 126-127.
- [21] 梁彦秋,潘伟,刘婷婷,铁梅,邓斌,孙鹏,邢志强,藏树良. 有机酸在修复 Cd 污染土壤中的作用研究. 环境科学与管理, 2006, 31 (8): 76-78.
- [22] 黄怡民,李果,陈宏. 酒石酸释放土壤中 Cu 和 Pb 的研究. 中国农学通报, 2009, 25 (19): 283-286.
- [24] 高智席,周光明,黄成,李昌晓,王莉. 离子抑制-反相高效液相快速测定池杉、落羽杉根系中有机酸. 药物分析杂志, 2005, 25 (9): 1082-1085.
- [25] 张太平,任海,彭少麟,余作岳. 湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 的生态生物学特征. 生态科学, 1999, 18 (2): 8-12.
- [31] 彭新湘,李明启. 植物中的草酸及其代谢. 植物生理学通讯, 1992, 28 (2): 93-96.
- [32] 张英鹏,杨运娟,杨力,李彦,高弼模,王学君,董晓霞. 植物体内的草酸危害及其调控措施. 安徽农学通报, 2007, 13 (10): 34-39.
- [33] 刘拥海,彭新湘,俞乐. 荞麦与大豆叶片中草酸含量差异及其可能的原因. 植物生理与分子生物学报, 2004, 30 (2): 201-208.
- [34] 张军,高年发,杨华. 葡萄生长成熟过程中有机酸变化的研究. 酿酒, 2004, 34 (5): 72-74.
- [35] 彭军,盛慧,姜忠军. 一个容易控制的质量指标 pH 值. 酿酒科技, 2005, 4: 68-71.
- [36] 问亚琴,张艳芳,潘秋红. 葡萄果实有机酸的研究进展. 海南大学学报, 2009, 27 (3): 302-307.
- [37] 刘小琥,彭新湘. 烟草叶片中草酸形成及其向下运输. 热带亚热带植物学报, 2002, 10 (2): 183-185.
- [38] 李昌晓,钟章成,陶建平. 不同水分条件下池杉幼苗根系的苹果酸、莽草酸含量及生物量. 林业科学, 2008, 44 (10): 1-7.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元