

# 17 种云南乡土树种对不同程度水涝胁迫的忍耐性调查

张学星, 周 筑, 陈 强, 孙 宏, 毕 波

(云南省林业科学院, 云南 昆明 650204)

**摘 要:**以 17 种苗木为研究对象, 调查了其在人工模拟根系全部淹没、1/2 淹没和间隙性淹没等 3 种不同程度水涝胁迫下的死亡率及危害症状情况等, 并对其耐水湿性进行了评价。结果表明: 在根系全部淹没水涝胁迫 14 d 时, 毛果冬青、云南金钱槭出现死亡, 死亡率分别为 3.33%、13.33%; 42 d 时, 云南金钱槭死亡率达 100%; 56 d 时, 毛果冬青、云南木樨榄、灯台树、水马桑的死亡率分别为 86.67%、56.67%、80.00%、86.67%, 这些树种均表现出耐水湿性弱。而肋果茶、香油果、红河榕、榉树、多果槭、金丝桃、厚皮香等树种, 在根系全部淹没水涝胁迫 56 d 时, 虽然成活率高, 但危害症状较重, 在实际应用中只能作为稍耐水湿树种。而鳞斑莢迷、川滇桤木、连香树、枫杨在根系全部淹没 63 d 时, 均未出现植株死亡, 尤其川滇桤木、连香树在根系全部淹没 77 d 的水涝胁迫下, 未出现植株死亡, 表现出具有较好的耐水湿性。

**关键词:**水涝胁迫; 乡土树种; 死亡率; 耐水性; 生态修复

**中图分类号:**S718.43      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)01-0015-07

## Waterlogging Tolerance of 17 Native Tree Species in Yunnan

ZHANG Xue-xing, ZHOU Zhu, CHEN Qiang, SUN Hong, BI Bo

(Yunnan Academy of Forestry, Kunming, Yunnan 650204, China)

**Abstract:** Seedlings of 17 native tree species occurring in Yunnan were selected to investigated their damage symptoms and mortality rates under three simulated water logging conditions, including full root-submersion, 1/2 root-submersion and intermittent root-submersion, and to assess their tolerances to waterlogging. The results showed that the seedlings of *Ilex trichocar* and *Dipteronia dyerana* began to die at 14 days after full root-submersion with the motarity rates of 3.33% and 13.33% respectively. All seedlings of *D. dyerana* died at 42 days. At 56 days after full root-submersion, rates of mortality of the seedlings of *I. trichocar*, *Olea yuennanensis*, *Cornus controversa* and *Coriaria nepalensis* were 86.67%, 56.67%, 80.00% and 86.67% respectively. The five tree species mentioned above exhibited poor tolerance to waterlogging. The seedlings of *Sladenia celastriifolia*, *Lindera communis*, *Ficus orthoneura*, *Zelkova schneideriana*, *Acer proliferum*, *Hypericum monogynum* and *Ternstroemia gymnanthera* had higher survival rate at 56 days after water flooding, but they were damaged considerably and could be used as the strongish tolerant species in the ecological reparation. No death was observed for the seedlings of *Viburnum punctatum*, *Aluum cremastogyne* cv. *yanshan*, *Cercidiphgllum japonicum* and *Plerocarya stenoptera* until 63 days after their roots were submerged completely, especially no seedlings of *A. cremastogyne* cv. *yanshan* and *Cercidiphyllum japonicum* died until to 77 days indicating that these tree species exhibited better tolerances to waterlogging.

**Key words:** waterlogging; native tree species; mortality; waterlogging-tolerance; ecological repair

收稿日期:2010-11-29    修回日期:2011-04-14

基金项目:云南省“十一五”社会发展科技计划项目“滇池南岸湿地生态保护与修复关键技术研究示范”(2008CA002)

作者简介:张学星,男,高级工程师,主要从事城市绿化植物选育及生态工程建设研究。

\* 通讯作者:陈强,男,研究员,主要从事森林资源培育及石漠化生态治理研究。

在云南高原湖泊湿地生物修复工程中,利用乡土的湿生植物不仅适应当地的气候、地理等环境条件,易于成活和管理,而且在成本方面也比较低廉,是比较理想的首选植物<sup>[1]</sup>。但因湿生植物受生活环境的限制,其生命力较之陆生植物脆弱<sup>[2]</sup>。因此对树种抗逆性、耐水湿筛选方面的系统和深入的研究十分必要。

本文对乡土树种在水涝胁迫下的苗木生长差异性 & 死亡率作了研究,为滇池湿地湿生乔灌木的评价、筛选及引种栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为毛果冬青(*Ilex trichocarpa*)、肋果茶(*Sladenia celastriifolia*)、鳞斑荚迷(*Viburnum punctatum*)、香油果(*Lindera communis*)、云南木樨榄(*Olea yuennanensis*)、红河榕(*Ficus orthoneura*)、川滇桤木(*Alnus cremastogyne* cv. *yanshan*)、灯台树(*Cornus controversa*)、云南金钱槭(*Dipteronia dyerana*)、水马桑(*Coriaria nepalensis*)、金丝桃(*Hypericum monogynum*)、连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、榉树(*Zelkova schneideriana*)、多果槭(*Acer proliferum*)、滇鼠刺(*Itea yunnanensis*)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera*) 17 个云南乡土树种的实生容器苗木,苗龄均为 2 a, 4 月移栽。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 将 17 个试验树种的容器苗木,脱袋后栽植在试验地,成活后采用根系全部淹没、根系 1/2 淹没、间隙性淹没 3 种处理进行试验,每个处理安排 30 株。具体如下:

- I. 根系 1/2(即苗木土球高度的 1/2)淹没,水位保持在根系 1/2。
- II. 间隙性淹没,水位保持在地面以上 3~5 cm,一周后撤水,间歇一周后再加水至地面以上 3~5 cm。
- III. 根系全部淹没,水位一直保持在地面以上 3~5 cm。

试验地原为农田,土壤系水稻田土。分设半淹没区、间隙性淹没区和淹没区,每区各树种安排 30 株苗木,一行 10 株,单行定植,每区各树种共 3 行,定植株行距 30 cm×30 cm,按照试验设计及天气状况进行正常灌水。

观测指标:生长势(发叶、发梢及根系情况),病虫害情况,死亡株数。每周观测一次,共测定 11 周。

1.2.2 树种综合得分及等级评判方法 存活率是评价植物抗涝性的一个重要指标,长期涝渍胁迫下强抗涝性植物的存活率明显高于弱抗性的植物<sup>[3]</sup>,因此,选用同一特定基准日的各树种苗木累计死亡率,反映树种的耐水涝胁迫能力。

根据滇池湿地季节水位变化的情况,一般淹没期时间 60 d,少数年份淹没期时间 70 d,大多湿地为半淹没、间歇性淹没期。因此,本试验选定 77 d 为各树种苗木耐水涝胁迫的基准日,统计各树种苗木的累计死亡率作为综合得分而进行耐水涝胁迫能力等级评判。

树种累计死亡率(即综合得分值)

$$D_r = \sum_j w_j D_{rj} \tag{1}$$

其中  $r$  表示树种, $j=1,2,3$  表示 3 种处理, $w_j$  为 3 种处理的权重,分别为  $w_1=w_2=0.25, w_3=0.50$ 。

若将综合得分值作为判别指数进行分类,当  $0 \leq D_r \leq 5\%$  时,为耐水涝胁迫能力强(I 级), $5\% < D_r \leq 15\%$  时,为耐水涝胁迫能力较强(II 级), $15\% < D_r \leq 25\%$  时,为耐水涝胁迫能力弱(III 级), $D_r > 25\%$  时,为耐水涝胁迫能力极弱(IV 级)。

2 结果与分析

2.1 根系半淹没处理对树种成活率和长势的影响

根系半淹没下各树种成活率和长势情况如表 1。水涝 14 d 以后,云南金钱槭出现死亡,死亡率为 6.67%,在水涝 21~49 d 期间,其死亡率基本保持 16.67%;在水涝 56~77 d 期间,其死亡率保持在 20.00%,水涝试验结束后,其叶片已经受到严重伤害,大部分叶片失去绿色,变为黄色或红色,部分植株出现死亡,表现出耐水湿性弱。

水涝 21 d 时,滇鼠刺出现死亡,死亡率为 13.33%,直到水涝 77 d 时,其死亡率一直保持在 13.33%。

水涝 49 d 时,榉树出现死亡,死亡率为 16.67%;水涝 56 d 时,金丝桃出现死亡,死亡率为 3.33%。

对不同树种与水涝时间下的成活率进行差异性检测表明(表 2),树种间在水涝后成活率差异性极显著;在不同水涝时间上苗木成活率差异性极显著。

17 个乡土树种的苗木对半淹性水涝胁迫有较强的适应性,除云南金钱槭、滇鼠刺和榉树出现少部份死亡外,其它树种随水涝时间的延续,直至水涝 77 d 时,均未出现死亡现象。其中,毛果冬青、肋果茶、鳞斑荚迷、香油果、川滇桤木、灯台树、水马桑、连香树、多果槭、枫杨、厚皮香 12 种苗木表现出新梢生



水涝 21 d 时，榉树、多果槭出现死亡，死亡率分别为 16.67%、10.00%，但在水涝过程中死亡率一直恒定。在水涝胁迫下，榉树、多果槭均表现出新梢生长量小。

水涝 49 d 时，滇鼠刺出现死亡，死亡率分别为 13.33%，水涝 56 d 时，死亡率达 100%，其长势极弱。

水涝 56 d 时，毛果冬青出现死亡，死亡率分别为 6.67%，其后死亡率一直恒定为 6.67%。

对不同树种与水涝时间处理的成活率进行差异性检测表明(表 4)，树种间在水涝后成活率差异性极显著；在不同水涝处理时间的成活率差异性显著。

17 个乡土树种的苗木对间歇性水涝胁迫有较强的适应性，云南金钱槭、榉树、多果槭、毛果冬青等 4 种苗木仅有部分苗木死亡或长势不佳，对间歇性水涝胁迫有较强的适应性，表现出一定的耐水湿性。滇鼠刺能适应 40 余 d 的间歇性水涝胁迫，耐水湿性相对较差。其它树种随水涝时间的延续，直至水涝

77 d 时，均未出现死亡，表现出对间歇性水涝胁迫有极强的适应性。

表 4 间歇性全淹处理成活率方差分析

Table 4 Variance analysis of the survival rate under intermittent root-submersion condition

变差来源	SS	df	MS	F
树种	18 497.02	16	1 156.064 0	7.768 2**
水涝时间	2 853.85	10	285.385 2	1.917 7*
误差	23 811.23	160	148.820 2	
总计	45 162.11	186		

2.3 根系全部淹没处理对各树种成活率和长势的影响

根系全部淹没下各树种成活率和长势情况如表 5。水涝 14 d 时，毛果冬青、云南金钱槭出现死亡，死亡率分别为 3.33%、13.33%，其中毛果冬青苗木发芽、抽梢，长势正常，云南金钱槭苗木长势极弱、叶片发黄。

表 5 供试树种在根系全部淹没处理下不同水涝天数的累计死亡率和长势的影响

Table 5 Cumulative mortality rates and growth performances of the tested tree species at different days under full root-submersion condition

树种	死亡率/%											症状
	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d	56 d	63 d	70 d	77 d	
毛果冬青	0	3.33	6.67	26.67	50.00	53.33	66.67	86.67	96.67	96.67	96.67	叶片无光泽、新梢萎蔫
勒果茶	0	0	0	0	0	3.33	3.33	10.00	10.00	13.33	13.33	前期长势强、42 d 部分新梢出现萎蔫
鳞斑荚蒾	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.67	6.67	长势弱、未发新梢
香油果	0	0	0	6.67	23.33	23.33	30.00	30.00	30.00	33.33	33.33	前期长势中等、中期部分植株落叶、出现枯梢，后期枯梢植株再次发芽。
云南木樨榄	0	0	0	3.33	10.00	10.00	16.67	56.67	70.00	83.33	83.33	长势弱、未发新梢，叶片发黄、枯梢
红河榕	0	0	0	0	16.67	23.33	26.67	26.67	26.67	93.33	93.33	前期长势弱、中期部分植株落叶、枯梢，后期枯梢植株再次发芽。
川滇桤木	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	前期长势中等、中期少部分植株落叶，后期枯梢植株再次发芽。
灯台树	0	0	0	0	6.67	16.67	46.67	80.00	100	100	100	前期长势中等、中期部分植株发黄、落叶、枯梢。
云南金钱槭	0	13.33	26.67	63.33	80.00	100	100	100	100	100	100	长势极弱、叶片发黄、枯梢直至死亡。
水马桑	0	0	0	0	0	23.33	23.33	86.67	86.67	100	100	前期长势中等、中后期始大部分植株发黄、落叶、枯梢。
金丝桃	0	0	0	0	0	6.67	10.00	46.67	83.33	83.33	83.33	前期长势中等、中后期部分植株发黄、落叶、枯梢。
连香树	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	前期长势中等、中后期长势弱、大部分植株发黄、落叶、未见死亡。
榉树	0	0	10.00	10.00	20.00	23.33	23.33	23.33	23.33	80.00	80.00	前期长势弱、中后期始部分植株发黄、落叶、枯梢。
多果槭	0	0	0	0	0	0	3.33	13.33	73.33	96.66	96.66	前期长势中等、中后期长势弱、部分植株叶片无光泽、新梢出现萎蔫。
枫杨	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.67	6.67	长势中等、发新梢，部分植株底角叶片发黄。
滇鼠刺	0	0	26.67	26.67	26.67	30.00	30.00	30.00	53.33	93.33	93.33	长势一直较弱、大部分植株叶片发黄、枯梢、甚至死亡。
厚皮香	0	0	0	0	3.33	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	前期长势中等、未发新梢，中后期部分植株叶片发黄、脱落

水涝 21 d 时, 榉树、滇鼠刺出现死亡, 死亡率分别为 10.00%、26.67%, 两者均表现为生长势极弱。

水涝 28 d 时, 香油果、云南木樨榄出现死亡, 死亡率分别为 6.67%、3.33%, 其中云南木樨榄长势弱, 香油果长势中等; 而云南金钱槭死亡率达 63.33%。

水涝 35 d 时, 红河榕、灯台树、厚皮香出现死亡, 死亡率分别为 16.67%、6.67%、3.33%。其中红河榕生长势弱, 灯台树、厚皮香长势中等; 而毛果冬青、云南金钱槭死亡率分别为 50%、80%。

水涝 42 d 时, 勒果茶、水马桑、金丝桃出现死亡, 死亡率分别为 3.33%、23.33%、6.67%。其中勒果茶叶片失去光泽, 新梢萎焉症状, 水马桑、金丝桃出现部分植株发黄、落叶、枯梢等症状; 此时云南金钱槭死亡率达 100%。

水涝 49 d 时, 多果槭出现死亡, 死亡率仅 3.33%, 苗木表现出生长势弱、叶片无光泽、新梢出现萎焉症状。

水涝 56 d 时, 毛果冬青、云南木樨榄、灯台树、水马桑、金丝桃死亡率分别达到 86.67%、56.67%、80%、86.67%、46.67%, 均表现出叶片发黄、落叶、枯梢。

水涝 63 d 时, 灯台树全部植株死亡; 毛果冬青、云南木樨榄、金丝桃、多果槭、滇鼠刺死亡率分别达到 96.67%、70%、83.33%、73.33%、53.33%, 均表现出叶片发黄、落叶、枯梢。

水涝 70 d 时, 鳞斑莢蒾、枫杨出现死亡, 死亡率均为 6.67%。其中鳞斑莢蒾表现出不发芽、不抽梢、不落叶症状; 枫杨表现出部分植株底角叶片发黄、抽稍发芽症状。而毛果冬青、云南木樨榄、红河榕、水马桑、榉树、多果槭、滇鼠刺死亡率分别达到 96.67%、83.33%、93.33%、100%、80%、96.66%、93.33%, 均表现出叶片发黄、落叶、枯梢症状。

水涝 77 d 时, 川滇桤木、连香树均未出现死亡现象, 其中川滇桤木表现出部分植株落叶后再次发新梢, 连香树表现出大部分植株叶片发黄、落叶症状。

对不同树种与水涝时间的成活率进行了差异性检测表明(表 6), 树种间耐水涝的差异性极显著; 苗木耐水涝时间的差异性极显著。

17 种树种苗木对全淹性水涝胁迫的适应能力差异较大, 在 77 d 时, 川滇桤木和连香树还能保持 100% 的成活率, 鳞斑莢蒾、肋果茶和枫杨保持 85% 以上的成活率, 香油果和厚皮香保持 65% 以上的成活率, 说明肋果茶、鳞斑莢蒾、香油果、川滇桤木、连

香树、枫杨、厚皮香等 7 种苗木对全淹性水涝胁迫适应性极强, 耐水湿性好; 在 49 d 时, 金丝桃和多果槭保持 90% 以上的成活率, 云南木樨榄、红河榕、水马桑、榉树、滇鼠保持 70% 以上的成活率; 说明云南木樨榄、红河榕、水马桑、金丝桃、榉树、多果槭和滇鼠刺等 7 种苗木对全淹性水涝胁迫适应性较强, 耐水湿性较好; 云南金钱槭在全淹性水涝胁迫下 28 d 死亡率达 63.3%, 毛果冬青在全淹性水涝胁迫下 35 d 死亡率达 50.0%, 灯台树在全淹性水涝胁迫下 49 d 死亡率达 46.67%。说明毛果冬青、云南金钱槭、灯台树等 3 种苗木对全淹性水涝胁迫适应性较差, 耐水湿性弱; 这种耐水涝胁迫能力对在滇池湿地生态建设中大力引种栽培, 具有现实的指导意义。

表 6 全部淹没处理成活率方差分析

Table 6 Variance analysis of the survival rate under full root-submersion condition

差异源	SS	df	MS	F
树种	71 661.39	16	4 478.837	11.445 2**
水涝时间	85 664.38	10	8 566.438	21.890 7**
误差	62 612.42	160	391.328	
总计	219 938.20	186		

### 3 树种的耐水湿性评价

水涝胁迫对树种造成的伤害主要是由于根系缺氧引起的, 缺氧会影响一些关键的生理功能和代谢途径, 进而对树种造成伤害, 耐水湿性树种会通过形态的改变以适应缺氧环境<sup>[4]</sup>, 因此通过对树种在各种水涝胁迫下的耐水涝时间、形态变化、生长势等指标测定来评价树种的耐水湿性, 在评价树种耐水湿性差异及为湿地树种的选择利用时具有重要意义。但对于树种的耐水湿性评价, 由于树种之间遗传差异性的存在, 树种之间的指标很难进行定量化评价, 因此, 国内外在评价树种耐水湿性时大多还是以树种耐水涝后的成活率及生长势作为耐水湿性的分级标准, 主要分耐水湿类、稍耐水湿类、不耐水湿类 3 个等级来评判树种的耐湿性<sup>[4,7]</sup>。

本研究依据各树种苗木在不同水涝胁迫下 77 d 累计死亡率的综合得分, 进行等级评判发现, 在全淹、半淹和间歇性水涝胁迫下各树种的适应性表现不一, 所选择的 17 个树种对半淹和间歇性水涝胁迫具有较强的适应性, 表明所选择树种均具有一定的耐水湿能力, 而全淹性水涝胁迫对树种的抗性要求较高, 因此, 将半淹、间歇性、全淹 3 种处理死亡率指标分别赋予权重 0.25、0.25、0.50, 计算得到各树种的综合得分。

首先用公式(1)不同处理下 77 d 苗木的累计死

亡率乘以权重得到综合得分进行排序并进行分级(表 7)。

由表 7 可看出,耐水涝胁迫能力强的树种有川滇桤木、连香树、鳞斑莢迷、枫杨 4 种种;耐水涝胁迫

能力较强的树种有肋果茶、厚皮香;耐水涝胁迫能力弱的树种有香油果;耐水涝胁迫能力极弱的树种有红河榕、金丝桃、多果槭、云南木樨榄、榉树、水马桑、灯台树、毛果冬青、滇鼠刺和云南金钱槭 10 个树种。

表 7 77 d 各树种苗木的死亡率综合得分及耐水涝胁迫能力分级表

Table 7 Comprehensive scores for mortality rate and grades for waterlogging tolerance of all tree species at 77 days after full root-submersion

树种	77 d			各处理加权重的得分值			综合得分	耐水涝胁迫能力等级
	处理 1	处理 2	处理 3	处理 1	处理 2	处理 3		
川滇桤木	0	0	0	0	0	0	0	I
连香树	0	0	0	0	0	0	0	I
鳞斑莢迷	0	0	6.67	0	0	3.34	3.34	I
枫杨	0	0	6.67	0	0	3.34	3.34	I
肋果茶	0	0	13.33	0	0	6.67	6.67	II
厚皮香	0	0	30.00	0	0	15.00	15.00	II
香油果	0	0	33.33	0	0	16.67	16.67	III
云南木樨榄	0	0	83.33	0	0	41.67	41.67	IV
金丝桃	3.33	0	83.33	0.83	0	41.67	42.50	IV
榉树	16.67	16.67	80.00	4.17	4.17	40.00	48.34	IV
红河榕	0	0	93.33	0	0	46.67	46.67	IV
毛果冬青	0	6.67	96.67	0	1.68	48.34	50.00	IV
多果槭	0	10.00	96.66	0	2.50	48.33	50.83	IV
水马桑	0	0	100.00	0	0	50.00	50.00	IV
灯台树	0	16.67	100.00	0	4.17	50.00	54.17	IV
云南金钱槭	20.00	30.00	100.00	5.00	7.50	50.00	62.50	IV
滇鼠刺	13.33	100.00	93.33	3.33	25.00	46.67	75.00	IV

#### 4 讨论

国内外对树种的耐水湿性研究,主要是以调查自然洪涝灾害后树木受危害状况<sup>[5]</sup>,其树种种类单调,不利于耐水湿性树种的选择,本试验选择在原生环境具有喜水湿、耐水湿特性的树种<sup>[8]</sup>,利用其幼龄与成龄植株间具有较强的正相关性,进行苗木耐水涝胁迫树种选择<sup>[9]</sup>,这对云南高原湖泊生态修复中树种的选择利用,具有一定的可靠性。

由于树种经水淹后影响成活率的因素很多,有水淹时间、深度和受淹部位等客观因素,因此,试验采用根系半淹没、间歇性淹没和全淹没处理,更能反映树种耐水涝的胁迫能力。本试验发现不同树种对水涝胁迫的敏感性及耐受性不同,有的树种对水涝胁迫比较敏感,如在 3 种处理中,云南金钱槭 14d 时均出现死亡;滇鼠刺在半淹没处理中,21 d 时出现死亡,在间歇性淹没处理中,49 d 时出现死亡;毛果冬青在半淹没处理中,77 d 时未出现死亡,在间歇性淹没处理中,56 d 时出现死亡,在全淹没处理中,14 d 时出现死亡;而一些对水涝胁迫不敏感的树种出现受害症状较晚,而较晚出现受害症状的往往是较为耐水湿的树种,如鳞斑莢迷、连香树、鳞斑莢迷、枫杨。

最终成活率虽然在一定程度上反应了树种在水

涝条件下的耐受性,但是,树种耐水湿性的强弱,应从受淹树木的综合因素来考虑,综合分析植物形态、生长势等方面的变化以及不同水涝条件下的存活率和叶片受害症状,才能科学评价植物的抗涝性强弱<sup>[3]</sup>。

试验通过对根系半淹、间歇性、全淹 3 种处理死亡率指标分别赋予权重方法,计算各树种的综合得分,确定判别指数进行树种耐水涝胁迫能力分级评判。评判出的川滇桤木、连香树、鳞斑莢迷、枫杨、肋果茶树种均具有较好的耐水湿性,在根系全部淹没 63 d 的水涝胁迫下,均未出现植株死亡;川滇桤木表现出后期枯梢植株再次发芽;鳞斑莢迷表现出不发芽、不抽梢、不落叶;连香树、枫杨表现出前期发芽、抽梢,中后期停止生长、甚至出现大部分植株叶片发黄、发红、落叶、但未见死亡,存活率可达 100%。由于水涝胁迫使苗木新叶形成受阻,叶片发红、变黄,并加快脱落。在全淹水条件下,新叶形成受抑制,老叶加快脱落,使植株总叶面积减少,树高、形成层、根系生长减缓或停止,甚至死亡<sup>[10]</sup>。

综上所述,本文对 17 个树种的耐水湿性仅仅作出了初步的选择、评价,由于涉及的树种较多,树种本身的生物学特性及耐水湿机制存在很大差异,树种之间在形态解剖、生理生化等方面的响应差异还

需要进一步深入研究。

参考文献：

[1] 俞孔坚,李迪华,孟亚凡. 湿地及其在高科技园区中的营造[J]. 中国园林,2001(2):26-28.  
YU K J,LI D H,MEN Y F. Wetland and its making in high-tech park[J] Chinese garden,2001(2):26-28.

[2] 施季森. 迎接 21 世纪现代林木生物技术育种的挑战[J]. 中国农业科技导报,2000,2(1):36-41.  
SHI J S. The challenges to forestry biotechnology and tree breeding in the 21stcentury[J ] China’s agricultural science and technology herald,2000,2 (1) :36-41.

[3] 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.  
ZHUO R Y, CHEN Y T. Advances in waterlogging-resistance of woody plants[J]. Forest Research,2001,14(2):215-222.

[4] WILLIAM L L. 耐涝的树木[J]. 植物学译文选辑,1988(11): 58-62.  
WILLIAM L L. Waterlogging tolerant trees [J]. A Collection of Translation on Batany,1988(11):58-62.

[5] 顾佳清,张智奇,周音,等. 树种耐水湿筛选研究综述[J]. 上海农业学报,2004,20(4):66-69.  
GU J Q, ZHANG Z Q, ZHOU Y,*et al.* Review on screening

of waterlogging tol erant trees[J] . Acta Agriculturae Shang-hai,2004,20(4):66-69.

[6] 彭镇华,康忠铭. 安徽淮河流域耐水湿树种的聚类分析及布局研究[J]. 安徽农业大学学报,1994,21(2):101-108.  
PENG Z H,KANG Z M, *et al.* Cluster analysis of water toler- ant trees of huaihe river afea of Anhui Province[J ] Journal of Anhui Agricultural University,1994 ,21 (2) :101-108.

[7] 范川, 李贤伟,张健,等. 毛豹皮樟 4 个品种幼苗对水涝胁迫的生理响应[J]. 西北林学院学报,2009,24(6):10-14.  
FAN C, LI X W,ZHANG J, *et al.* Physiological response of flooding stress on the seedlings of four varieties of *Litsea core- ana* var. *lanuginosa*[J ] Journal of Northwest Forestry Univer- sity2009,24(6):10-14.

[8] 西南林学院,云南省林业厅. 云南树木图志[M]. 昆明:云南科 技出版社,1991.

[9] W AGNER I. Testing of juvenile 2 mature co rrelations in in- vestigations of the water regime in 12 clones of Norway sp ruce (*Picea abies*) illustration of height growth [J]. Forest wissen- schaftliches Centralblatt, 1994, 113 (2):125-136.

[10] TANG Z C, KOZLOWSKI T T. Some physio logical and grow th responses of Betu lapapy rifea seedlings to flooding [J ]. Physiologia Plantarum , 1982, 55: 415-420.

(上接第 14 页)

[5] 乌凤章,王贺新,陈英敏. 蓝莓嫩枝扦插繁殖技术[J]. 东北林业 大学报,2007,35(11):44-46.  
WU F Z,WANG H X,CHEN Y M. Propagation technique of Blueberry by softwood cuttings[J]. Journal of Northeast For- estry University,2007,35(11):44-46.

[6] 杨玲,聂飞,周洪英,等. 兔眼蓝莓在贵州的引种栽培试验及应 用评价[J]. 贵州农业科学,2007,35(5):48-52.  
YANG L,NIE F,ZHOU H Y,*et al.* The introduction cultiva- tion of Blueberry and its utilization evaluation in guizhou[J]. Guizhou Agricultural Sciences,2007,35 (5) :48-52.

[7] 陈薇,马怀宇,李亚东,等. 三种栽培方式对越橘光合特性的影 响[J]. 园艺学报,2008,(35)9:1255-1260.  
CHEN W,MA H Y,LI Y D, *et al.* The influence of threecul- tivation patterns on photosyntheticscharacteristi of Blueberry [J]. Acta Horticulturae Sinica,2008,35 (9):1255-1260.

[8] 张宇清,齐实,邹青,等. 梯田埂坎杨树的根系分布研究[J]. 西 北林学院学报 2002,17(2):6-9.  
ZHANG Y Q,QI S,ZOU Q, *et al.* Root distribution of poplar on terrace ridge[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2002,17(2):6-9.

[9] 柴成武,徐先英,唐卫东,等. 石羊河流域荒漠区主要固沙植物 根系研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(4):21-26.  
CHAI W C,XU X,TANG W D,*et al.* Root system of the main sand fixing plants in desert zone of Shiyanghe River Basin[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(4):21-26.

[10] 张志山,樊恒文,赵金龙,等. 沙漠人工植物群落的根系分布及 动态[J]. 中国沙漠,2006,(26)4:41-45.  
ZHANG Z S,FAN H W,ZHAO J L,*et al.* Root distribution and dynamics of re — vegetated communities in desert area [J]. Journal of Desert Research,2006,(26)4:41-45.