

水涝胁迫下海州常山形态和生理指标的变化

曾德静^{1,2}, 王 铖¹, 刘 军³, 尹丽娟¹

(1. 上海市园林科学研究所, 上海 200232; 2. 四川省眉山市园林局, 四川 眉山 620020; 3. 四川农业大学 林学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 为研究海州常山 *Clerodendrum trichotomum* 的耐水涝胁迫能力, 以海州常山 1 年生扦插盆栽苗(苗高为 80~100 cm, 盆的直径为 20 cm, 高 25 cm, 盆土高度为 22 cm)为试验材料, 研究了不同水位高度对其叶片形态和生理指标的影响。结果表明: 1/4 和 1/2 盆土厚度水分处理对海州常山植株形态影响不大, 各生理指标与对照的差异不显著 ($P>0.05$), 植株生长正常; 2/3 盆土厚度水分处理下, 随着胁迫时间的延长, 形态和各生理指标变化明显, 叶片起皱、边缘卷曲、逐渐失水萎蔫、下垂, 12 d 后植株死亡; 水位达到盆土表面和盆土表面以上 5 cm 时, 短时间内形态和生理指标变化剧烈, 叶片迅速失水萎蔫, 8 d 后植株死亡。海州常山耐水湿能力较强, 1/2 盆厚度水分是其极限水位, 耐水淹能力一般且持续时间不长。随着胁迫程度的增加, 可溶性糖质量分数、脯氨酸质量分数、相对电导率、丙二醛质量摩尔浓度不断增加, 相对含水量、超氧化物歧化酶活性持续下降, 叶绿素质量分数、可溶性蛋白质质量分数先降后增。海州常山植株具有很强的渗透调节能力, 能通过脯氨酸和可溶性糖的大量积累来适应水涝环境。图 8 参 21

关键词: 植物学; 海州常山; 水涝胁迫; 形态指标; 生理指标

中图分类号: S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)02-0172-07

Morphological characteristics and physiological indexes of *Clerodendrum trichotomum* with waterlogging

ZENG Dejing^{1,2}, WANG Cheng¹, LIU Jun³, YIN Lijuan¹

(1. Shanghai Institute of Landscape Gardening Science, Shanghai 200232, China; 2. Gardens Bureau of Meishan City, Meishan 620020, Sichuan, China; 3. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China)

Abstract: To determine resistance ability of *Clerodendrum trichotomum* to waterlogging stress, taking small bowl in large bowl as method, the experiment set five waterlogging levels (water height treatments of 1/4, 1/2, and 2/3 of the soil thickness; level to the surface; and 5 cm above the surface). Each processing had 10 plants and taking the day-to-day management plants as control group. One-year-old cuttings of *Clerodendrum trichotomum* were used with five waterlogging levels to study their morphological characteristics and physiological indexes. Results showed that when the water level was 1/4 or 1/2 of the soil thickness, there were no significant changes in morphological characteristics and physiological indexes compared with the control, but at 2/3 of the soil thickness, after 6 d of waterlogging stress and with an increase of stress time, the leaves wrinkled, curled, wilted, and drooped compared with the control, and at 12 d of stress relative water content, proline content, SOD activities respectively were significantly decreased to 0.55 times, 0.59 times, 0.80 times that of the control; relative conductivities, MDA content, soluble sugar content, soluble protein content respectively were significantly increased to 2.71 times, 1.76 times, 21.93 times, 2.03 times that of the

收稿日期: 2012-03-29; 修回日期: 2012-05-14

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字 2008 第 10-5 号)

作者简介: 曾德静, 从事园林植物生理生态与应用研究。E-mail: zende@126.com。通信作者: 王铖, 高级工程师, 从事园林植物引种选育研究。E-mail: wang74829@sina.com

control, and then the plants died. When the water level was at the surface of the soil or 5 cm above it, plants wilted because of rapid loss of water which could be proved by the significantly decreased of relative water content, and then died after 8 d of stress. With an increase in water level and stress time, compared with the control, the proline content, soluble sugar content, MDA content, and relative conductivity significantly increased; relative water content and SOD activity significantly decreased; and soluble protein content and chlorophyll content were decreasing first then increasing trend. We could conclude that plants exhibits strong osmotic adjustment capacity, mainly by significantly increasing the proline and soluble sugar content to adapt to the waterlogged environment. Plants have a strong ability to maintain the stability of morphological characteristics and physiological indexes to tolerate water-stress, but only when the water level is up to 1/2 of the soil thickness. Flood tolerance is poor, because when the water level was at the surface of the soil or 5 cm above it, plants died after 8 d of waterlogging stress. In the configuration of the plant, they can be planted in the lake, river, pool springs, streams and other relatively high moisture content of the soil, which enrich their usages as an ornamental plant. [Ch, 8 fig. 21 ref.]

Key words: botany; *Clerodendrum trichotomum*; waterlogging; morphological characteristics; physiological indexes

随着全球环境的不断恶化，生态系统遭到严重破坏，全球气候异常加剧，雨量分布极不均衡，局部地区水灾不断，土壤淹水现象极为常见。上海地区夏季的梅雨季节，降水量大，持续时间长，容易造成局部土壤积水，对该地区植物的耐涝能力提出了一定的要求。目前，关于植物耐涝方面的研究主要集中在作物、造林树种及果树方面，对园林观赏植物的研究还相对较少，且对植物耐涝能力研究主要是在淹水条件下植物的形态和生理变化方面进行的，对于不同水涝的程度即水位的高度，对植物的影响方面的报道极少。海州常山 *Clerodendrum trichotomum* 是马鞭草科 Verbenaceae 大青属 *Clerodendrum*，落叶灌木或小乔木^[1]。海州常山花开时红白相间，花朵繁密似锦，秋季果实成熟时，亮蓝紫色的球形果与花同时宿存枝顶，艳丽可爱，是点缀园林、庭院的优良观花观果植物。它抗性强，是一种很有潜力的盐碱地区园林绿化和城市废弃地恢复植物^[2-3]。同时，该植物具有一定的药用价值，有降压、镇静、镇痛等作用^[4]，茎皮中抗肿瘤活性成分高达 4.6%^[5]。另外，据罗艳等^[6]报道，海州常山的种子含油量达 34.1%，是值得推广栽植的生物柴油植物。目前，关于海州常山抗性研究主要集中在光强^[7]、盐胁迫^[8-9]及二氧化硫^[10]等方面，对于其耐水涝能力方面的研究报道很少，只有魏娟等^[11]对海州常山在湿害、涝害和干旱等 3 种条件下的生理特性进行了研究，但并未对其耐受程度进行研究。本试验对海州常山耐水涝程度进行进一步研究，通过设置不同的淹水高度，观察各处理下植株的形态变化，并对其相关生理指标进行测定和分析，初步得出其耐水涝胁迫的能力，以期在海州常山的绿化应用、耐涝育种以及作为药物、生物柴油等栽植提供相关的依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

选取生长健壮、一致的海州常山 1 年生扦插盆栽苗作为试验材料，苗高为 80~100 cm。于试验前 1 个月将盆栽苗移入上海市园林科学研究植物资源与环境试验区防雨棚内进行缓苗，并进行正常的日常管理。

1.2 试 验 方 法

试验采用大盆套小盆的方法，设置不同的水位高度对海州常山进行水涝胁迫试验。盆栽苗盆的直径为 20 cm，高 25 cm，盆土厚度为 22 cm。试验分水湿和淹水 2 种类型的处理，水湿处理设置水位达到 1/4 盆土厚度、1/2 盆土厚度、2/3 盆土厚度、盆土表面共 4 个水平，分别设为处理 A，处理 B，处理 C 和处理 D。淹水处理为水位达盆土表面以上 5 cm 处，设为处理 E。为防止水分蒸发，引起大盆内的水位下降，试验开始后，定期向处理植株的大盆内补水，保证水位维持在所设定的位置，对照为正常管理。自处理当天起，2 d 观察 1 次，记录植株外观形态特征变化，并取植株上部第 3~5 叶序叶片带回实验室进行各项生理指标的测定，直至叶片枯黄或植株死亡。

1.3 测定指标及方法

叶片相对含水量、叶绿素质量分数、相对电导率、脯氨酸质量分数、可溶性糖质量分数、可溶性蛋白质量分数测定参照王学奎^[12]的方法, 超氧化物歧化酶(SOD)活性参照朱广廉^[13]的方法测定, 丙二醛(MDA)质量摩尔浓度测定参照刘祖祺等^[14]的方法。

1.4 数据统计与分析

所有试验数据采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 18.0 进行统计、分析。

2 结果与分析

2.1 水涝胁迫对海州常山形态的影响

处理 A 和处理 B 下, 海州常山植株长势良好, 与对照相比, 形态无明显变化。处理 C 下, 第 6 天, 海州常山植株部分下部叶片起皱, 开始出现萎蔫症状, 中上部叶片形态无明显变化; 第 8 天, 植株下部叶片萎蔫现象明显, 边缘卷曲, 叶片泛黄, 开始下垂; 第 10 天, 中部叶片均失水萎蔫, 卷曲, 下部部分叶片下垂, 已经枯黄而死亡; 第 12 天, 植株失水严重, 萎蔫范围进一步扩大, 上部叶片出现轻度萎蔫, 中部全部失水下垂, 下部叶片完全干枯死亡, 开始脱落。处理 D 和处理 E 之间植物形态变化基本一致, 无明显的差异, 在处理第 2 天, 植株部分叶片开始出现萎蔫, 仅表现在最下部的叶片上; 第 4 天, 植株下部叶片失水萎蔫, 叶片起皱, 边缘卷曲, 明显下垂, 中部叶片开始出现萎蔫现象, 上部叶片无明显的变化; 第 6 天, 中部叶片出现大面积失水萎蔫下垂, 上部叶片也失水变皱, 下部叶片已经干枯死亡, 开始脱落; 第 8 天, 上部叶片已卷曲下垂, 中下部已干枯死亡, 整个植株全部萎蔫, 接近死亡。

2.2 水涝胁迫对海州常山生理指标的影响

2.2.1 对相对含水量的影响 海州常山叶片含水量随着湿涝胁迫时间延长而减小, 且胁迫程度越高, 叶片含水量越低(图 1)。处理 A 和处理 B 的含水量在整个胁迫期间与对照的差异不显著($P>0.05$), 处理 C 在胁迫前 6 d 相对含水量变化不大, 第 8 天开始出现明显失水现象, 且之后每 2 d 的含水量的差异达到显著水平($P<0.05$), 处理 D 和处理 E 从第 4 天起含水量就显著($P<0.05$)下降, 且下降幅度较大, 第 8 天分别比对照减少 43.19% 和 46.24%。

2.2.2 对叶绿素质量分数的影响 由图 2 可知: 水涝胁迫下, 不同处理之间海州常山叶片叶绿素质量分数变化各不相同。处理 A 在整个胁迫期间叶绿素质量分数能保持稳定, 叶绿素质量分数与对照差异不显著($P>0.05$); 随着胁迫时间延长, 处理 B, 处理 C, 处理 D 和处理 E 叶绿素质量分数先下降后升高, 处理 B 叶绿素质量分数缓慢下降, 第 6 天与对照差异达到显著水平($P<0.05$); 处理 C 叶绿素质量分数在第 8 天急速下降, 之后又急速升高, 在第 12 天显著($P<0.05$)高于对照的质量分数; 处理 D 和处理 E 叶绿素质量分数在胁迫第 2 天明显低于对照, 随胁迫时间延长, 叶绿素质量分数持续升高, 且上升幅度较大, 胁迫结束时显著高于对照($P<0.05$)。

2.2.3 对相对电导率和丙二醛质量摩尔浓度的影响 水涝胁迫下, 海州常山叶片相对电导率随胁迫时间延长逐渐增大(图 3)。在胁迫前期, 各处理的相对电导率水平较低, 随着胁迫时间的延长, 处理 A 和

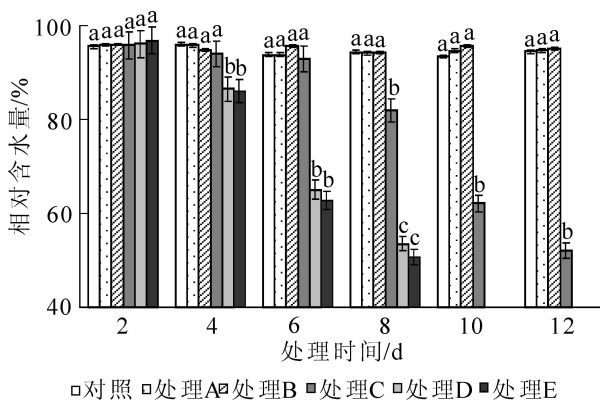


图 1 水涝胁迫对相对含水量的影响

Figure 1 Effect of water logging on relative water content

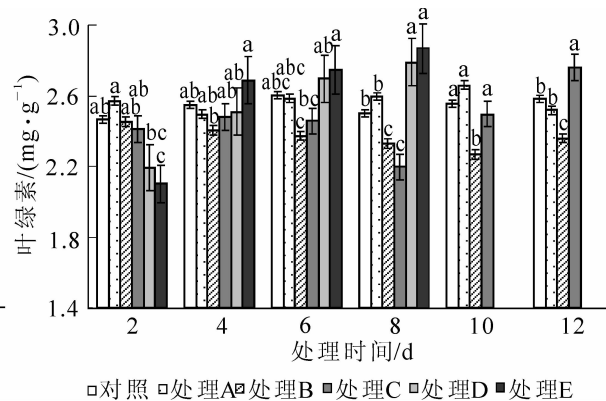


图 2 水涝胁迫对叶绿素质量分数的影响

Figure 2 Effect of water logging on chlorophyll content

处理 B 变化不大，与对照无明显差异 ($P>0.05$)；处理 C，处理 D 和处理 E 的相对电导率持续升高，处理 C 在第 6 天时与对照差异显著 ($P<0.05$)，处理 D 和处理 E 在第 4 天与对照差异就达到显著水平 ($P<0.05$)，升高幅度大小依次是处理 E>处理 D>处理 C。由图 4 可以看出：水涝胁迫引起海州常山叶片的丙二醛质量摩尔浓度增加。处理 A 和处理 B 在整个胁迫过程中丙二醛质量摩尔浓度稳定，虽有起伏但差异不显著，与对照也无显著差异 ($P>0.05$)；处理 C，处理 D 和处理 E 随着胁迫时间延长，丙二醛质量摩尔浓度显著 ($P<0.05$) 升高，试验结束时，丙二醛质量摩尔浓度分别达到对照的 2.71 倍、2.68 倍和 2.74 倍。

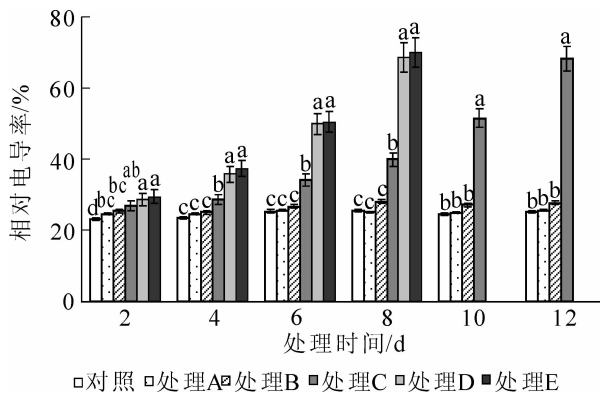


图 3 水涝胁迫对相对电导率的影响

Figure 3 Effect of water logging on relative electrical conductivity

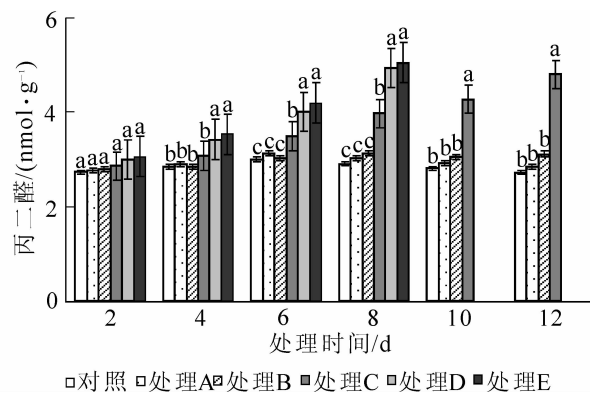


图 4 水涝胁迫对丙二醛质量摩尔浓度的影响

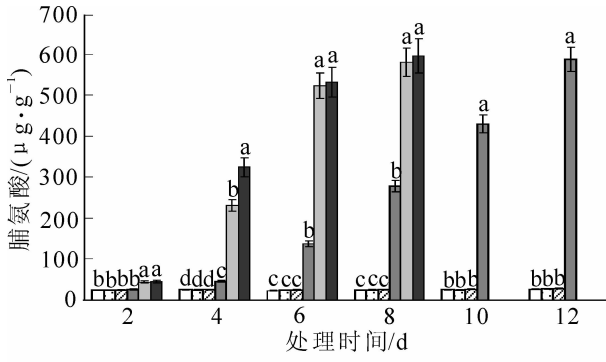
Figure 4 Effect of water logging on MDA content

2.2.4 对脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质量分数的影响 如图 5 所示：当水涝胁迫严重时，海州常山叶片脯氨酸质量分数迅速增加。各处理的脯氨酸质量分数变化规律与丙二醛变化一致，变化幅度更大。处理 A 和处理 B 在整个胁迫过程中与对照无显著差异 ($P>0.05$)；处理 C，处理 D 和处理 E 脯氨酸质量分数随胁迫时间延长而急剧增加，最大值分别达到了对照的 21.9 倍、24.2 倍和 24.8 倍。水涝胁迫能促使海州常山体内可溶性糖质量分数的增加(图 6)。处理 A 在整个胁迫期间的可溶性糖质量分数变化不明显，与对照无显著差异 ($P>0.05$)；处理 B 在胁迫前 8 d 可溶性糖质量分数缓慢升高，第 8 天与对照差异显著 ($P<0.05$)，之后维持在较高水平；处理 C，处理 D 和处理 E 可溶性糖质量分数在胁迫中持续增加，相比之下处理 C 增加速度较慢；处理 D 和处理 E 可溶性糖质量分数迅速增加，每次测定值间均存在显著差异 ($P<0.05$)，但两者之间差异不显著 ($P>0.05$)。水胁迫下海州常山叶片可溶性蛋白质量分数的变化见图 7。在水涝胁迫过程中，处理 A 和处理 B 的可溶性蛋白质量分数虽有所波动，但与对照组的差异不显著 ($P>0.05$)；处理 C 可溶性蛋白质量分数逐渐下降，第 4 天时与对照差异显著 ($P<0.05$)，第 10 天降到最低，之后在第 12 天有所回升；处理 D 和处理 E 可溶性蛋白质量分数出现先降后升趋势，谷值出现在第 6 天，在整个胁迫过程中可溶性蛋白质量分数均显著 ($P<0.05$) 低于对照。

2.2.5 对超氧化物歧化酶活性的影响 对照、处理 A 和处理 B 在各时间阶段下超氧化物歧化酶活性呈现一定的波动性，可能与外界环境因素如温度等的变化有关，但在各胁迫时间段，处理 A 和处理 B 的超氧化物歧化酶活性与对照差异不显著 ($P>0.05$)；处理 C，处理 D 和处理 E 随着胁迫时间的延长，超氧化物歧化酶活性呈持续下降趋势，降幅较大直至植株死亡(图 8)。

3 讨论

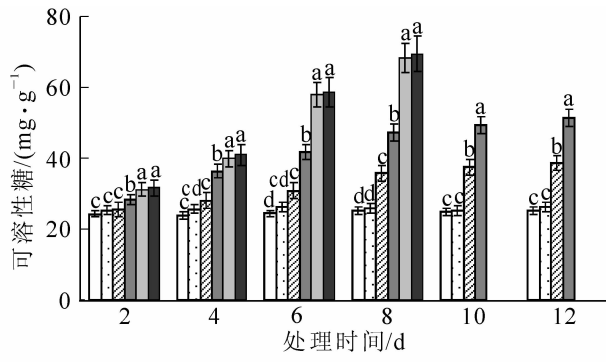
水涝胁迫使植物处于周期或长期的厌氧或缺氧状态，限制植物的需氧呼吸和维持生命活动所需的能量产生，从而对植物的水分代谢、光合作用、细胞膜系统、抗氧化系统、能量代谢等造成伤害。为了适应或减轻缺氧伤害，植物会启动形态、生理方面的适应机制。形态方面主要表现为叶片形态的改变、茎伸长生长、不定根和通气组织的形成等^[15-16]。生理方面表现为代谢途径改变，通过厌氧代谢获得维持生命的能量；通过体内乙烯、赤霉素和脱落酸等激素水平的改变来调节生理活动或形态等方面的变化；抗氧化酶系统对活性氧自由基的清除等^[17]。糖酵解被认为是植物对厌氧胁迫适应的基本功能，维持糖酵



□对照 □处理A □处理B □处理C □处理D □处理E

图5 水涝胁迫对脯氨酸质量分数的影响

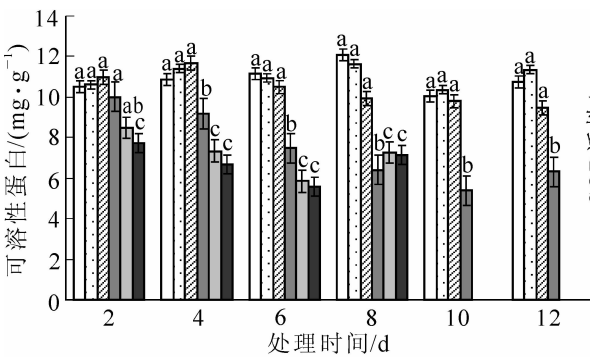
Figure 5 Effect of water logging on proline content



□对照 □处理A □处理B □处理C □处理D □处理E

图6 水涝胁迫对可溶性糖质量分数的影响

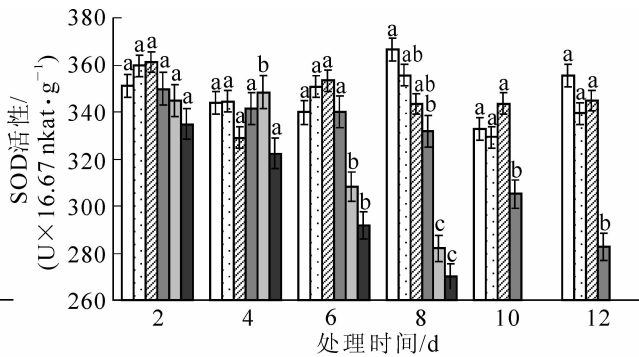
Figure 6 Effect of water logging on soluble sugar content



□对照 □处理A □处理B □处理C □处理D □处理E

图7 水涝胁迫对可溶性蛋白质质量分数的影响

Figure 7 Effect of water logging on soluble protein content



□对照 □处理A □处理B □处理C □处理D □处理E

图8 水涝胁迫对超氧化物歧化酶活性的影响

Figure 8 Effect of water logging on SOD activities

解途径需要源源不断的可溶性糖的供应^[17]，因此，水涝胁迫下植株可溶糖的增加，对植物生长的能量供应至关重要。脯氨酸除作为渗透调节物质外，还可以是能量库、氮素储存剂、羟基清除剂、保护酶系和细胞结构稳定的兼容性溶剂。水涝胁迫下，植物往往通过脯氨酸、可溶性糖的大量积累来适应环境，这在紫穗槐 *Amorpha fruticosa*^[18]，金钱松 *Pseudolarix kaempferi*^[19]等中得到了验证。抗氧化酶能够清除植物体内的活性氧自由基，防止细胞膜脂过氧化，对植物形成有效保护。大量研究^[20-21]显示，水涝胁迫下，植物的抗氧化酶系统能产生及时的响应，来增强植物的耐涝能力，从而减轻伤害。本试验结果显示，海州常山在水涝胁迫过程中其体内发生了一系列的生理变化。随着胁迫程度的增加，相对电导率、丙二醛质量分数的持续上升，说明在胁迫过程中海州常山细胞膜系统受到的伤害逐渐加重；超氧化物歧化酶活性持续下降，说明水涝胁迫下，海州常山的抗氧化酶系统不敏感，不能够做出迅速而适当的调整，而逐渐受到伤害；可溶性糖质量分数、脯氨酸质量分数不断升高，最高分别为对照的 2.77 倍和 24.82 倍，说明海州常山具有极强的渗透调节能力，能够通过脯氨酸和可溶性糖的大量积累来适应环境。

从海州常山植株在干旱胁迫^[11]、水涝胁迫和土壤盐胁迫^[8]下的生理指标变化来看，不同类型胁迫下海州常山的生理响应既有相同点也有不同点。3 种胁迫下，植株的叶绿素质量分数均下降，光合作用受到影响；膜的透性和膜脂过氧化产物均增加，表现为相对电导率和丙二醛质量摩尔浓度的增加，导致细胞膜伤害加重；植株均具有较强的渗透调节能力，能够通过可溶性糖和脯氨酸的主动积累来适应胁迫环境。但抗氧化酶在胁迫中的表现不同，盐胁迫下植株能够迅速提高过氧化物歧化酶和过氧化物酶活性来增强植物的抗逆能力，干旱胁迫和水涝胁迫下过氧化物歧化酶的活性在试验初期能维持在对照组水平，之后随胁迫时间延长过氧化物歧化酶活性逐渐下降，说明在水分胁迫下，海州常山植株的抗氧化酶系统不敏感，难以做出迅速而适当的调整，植株逐渐受到伤害。

本试验中，1/4 和 1/2 盆土厚度的水位高度处理对海州常山影响不大，植株生长正常；而水位达到

2/3 盆土厚度处理,在胁迫 12 d 之后植株死亡。综合各生理指标可知,处理 C 在胁迫前期对水涝有一定的抗性,随着胁迫时间的延长,抗性降低,植株逐渐死亡,说明处理 C 对海州常山有伤害,但伤害较缓慢;当水位达到盆土表面或超过表面,对海州常山伤害较大,各生理指标变化十分剧烈,8 d 后植株死亡。可见,海州常山耐水湿能力较强,1/2 盆土厚度是其极限水位高度,耐水淹能力一般且持续时间不长。

参考文献:

- [1] 裴鉴,陈守良.中国植物志:第 65 卷[M].北京:科学出版社,1982:186-187.
- [2] 包志毅,陈波.工业废弃地生态恢复中的植被重建技术[J].水土保持报,2004,18(3):160-163.
BAO Zhiyi, CHEN Bo. Study on revegetation during ecological restoration of industrial wasteland [J]. *J Soil Water Conserv*, 2004, 18(3): 160-163.
- [3] MAHMUD R, INONE N, KASAJIMAS, *et al.* Assessment of potential indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic-contaminated areas of Bangladesh [J]. *Int J Phytorem*, 2008, 10(2): 119-132.
- [4] 徐叔云.臭梧桐的药理学研究[J].生理学报,1962,25(4):272-276.
XU Shuyun. The pharmacological research of *Clerodendrum trichotomum* [J]. *J Physiol*, 1965, 25(4): 272-276.
- [5] NAGAO T, ABE F. Antiproliferative constituents in the plant 7. leaves of *Clerodendron bungei* and leaves and bark of *C. trichotomum* [J]. *Biol Pharm Bull*, 2001, 24(11): 1338-1341.
- [6] 罗艳,刘梅.开发木本油料植物作为生物柴油原料的研究[J].中国生物工程杂志,2007,27(7):68-74.
LUO Yan, LIU Mei. Oil-bearing trees as a source for biodiesel [J]. *China Biotechnol*, 2007, 27(7): 68-74.
- [7] 胡凤琴,杨文杰,徐贵明,等.不同光强与水分条件对海州常山幼苗形态与生长的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(5):27-30.
HU Fengqin, YANG Wenjie, XU Guiming, *et al.* Influence of light intensity and soil water content on morphological and growth traits of *Clerodendrum trichotomum* seedling [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2009, 33(5): 27-30.
- [8] 谢福春,张文婷,刘富强,等.土壤盐胁迫对海州常山生理生化特性的影响[J].江西农业大学学报,2008,30(5):839-844.
XIE Fuchun, ZHANG Wenting, LIU Fuqiang, *et al.* Effect of soil NaCl stress on physiological and biochemical characteristics of *Clerodendrum trichotomum* [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2008, 30(5): 839-844.
- [9] 谢福春,陈才业,张文婷,等.土壤盐胁迫对海州常山形态与气体交换特性的影响[J].浙江林学院学报,2009,26(2):176-181.
XIE Fuchun, CHEN Caiye, ZHANG Wenting, *et al.* Soil NaCl stress and photosynthetic characteristics with *Clerodendrum trichotomum* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, 26(2): 176-181.
- [10] 郑立文,胡丁猛,刘伟峰,等.11个园林绿化树种对SO₂胁迫的适应性反应[J].山东农业大学学报:自然科学版,2006,37(3):363-368.
ZHENG Liwen, HU Dingmeng, LIU Weifeng, *et al.* Study of 11 ornamental tree species on sulfur dioxide stress resistance [J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci Ed*, 2006, 37(3): 363-368.
- [11] 魏娟,谢福春,王华田,等.水分胁迫对海州常山抗逆生理特性的影响[J].山东农业大学学报:自然科学版,2009,40(3):371-376.
WEI Juan, XIE Fuchun, WANG Huatian, *et al.* Effect of water stress on growth and physiological characteristics of *Clerodendrum trichotomum* [J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci Ed*, 2009, 40(3): 371-376.
- [12] 王学奎.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 朱广廉.植物生理学实验[M].北京:北京大学出版社,1990.
- [14] 刘祖祺,张石城.植物抗性生理学[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [15] 赵可夫.植物对水涝胁迫的适应[J].生物学通报,2003,38(12):11-14.
ZHAO Kefu. Adaptation of plants to waterlogging stress [J]. *Bull Biol*, 2003, 38(12): 11-14.
- [16] 陈芳清,李永,郟光武,等.水蓼对水淹胁迫的耐受能力和形态学响应[J].武汉植物学研究,2008,26(2):142-146.
CHEN Fangqing, LI Yong, QIE Guangwu, *et al.* The morphological responses and endurance of *Polygonum hydropiper* to flooding stress [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2008, 26(2): 142-146.
- [17] 谭淑端,朱明勇,张克荣,等.植物对水淹胁迫的响应与适应[J].生态学杂志,2009,28(9):1871-1877.

- TAN Shuduan, ZHU Mingyong, ZHANG Kerong, *et al.* Response and adaptation of plants to submergence stress [J]. *Chin J Ecol* 2009, **28** (9): 1871 – 1877.
- [18] 王瑞, 梁坤伦, 周志宇, 等. 不同淹水梯度对紫穗槐营养生长和生理响应[J]. 草业学报, 2012, **21** (1): 149 – 155.
- WANG Rui, LIANG Kunlun, ZHOU Zhiyu, *et al.* Effect of different waterlogging stress condition on growth and some physiological characteristics of *Amorpha fruticosa* [J]. *Acta Pratacul Sin*, 2012, **21** (1): 149 – 155.
- [19] 廖文燕, 高捍东. 金钱松幼苗在淹水胁迫过程中的生理响应[J]. 林业科技开发, 2011, **25** (3): 27 – 31.
- LIAO Wenyan, GAO Handong. Physiological responses of *Pseudolarix kaempferi* seedlings to waterlogging stress [J]. *China For Sci Technol*, 2011, **25** (3): 27 – 31.
- [20] 李纪元. 涝渍胁迫对枫杨幼苗保护酶活性及膜脂过氧化物的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2006, **33** (4): 450 – 453.
- LI Jiyuan. Variations of activities for protecting enzymes and superoxide of lipid membrane in Chinese wingnut tree seedlings (*Pterocarya stenoptera*) after flooding treatment [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2006, **33** (4): 450 – 453.
- [21] 曾淑华, 赵正雄, 覃鹏, 等. 淹水对转超氧化物歧化酶或过氧化氢酶基因烟草某些生理生化指标的影响[J]. 植物生理学通讯, 2005, **41** (5): 603 – 606.
- ZENG Shuhua, ZHAO Zhengxiong, QIN Peng, *et al.* Effects of waterlogging on some physiological and biochemical indexes of transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) lines with superoxide dismutase or peroxidase gene [J]. *Plant Physiol Commun*, 2005, **41** (5): 603 – 606.

周国模教授应邀出席多哈联合国气候大会并作专题报告

作为中国最早从事森林碳汇研究的专家之一, 浙江农林大学校长周国模教授再次以国际竹藤组织代表团成员的身份, 获邀参加了联合国第 18 次气候大会。

在多哈期间, 周国模教授于 2012 年 11 月 29 日出席了在中国馆举行的“应对气候变化——林业碳汇”研讨会, 围绕“竹林可持续经营与应对气候变化的研究和在国内外的实践”的主题作了学术报告。报告吸引了来自美国、荷兰、德国、英国、法国、越南、印度、中国等国家以及国际竹藤组织等国际组织的 90 多名代表参加, 并引起了与会代表广泛关注和热烈讨论。研讨会上, 周国模校长与国际竹藤组织、中国绿色碳汇基金会等单位, 共同发布了《中国竹子碳汇造林方法学》, 并代表学校与国际竹藤组织、中国绿色碳汇基金会、浙江省安吉县人民政府共同签署了“竹林碳汇试验示范区建设”的框架协议。

《中国竹子碳汇造林方法学》是由浙江农林大学和国际竹藤组织、中国绿色碳汇基金会等单位, 参照有关国际规则, 依托多年的研究成果和 2008 年实施的首个毛竹碳汇造林试点项目的实践经验开发的。在国际竹藤组织成员国以及 2011 年的亚太林业周和联合国德班气候大会上, 广泛征求了国内外专家和利益相关方的意见, 修改完善, 通过专家评审, 正式发布使用。该方法学, 不仅适用于中国, 也可供其他国家开发竹林碳汇项目时参考, 是中国首个也是世界领先的竹子碳汇项目方法学。

新闻中心