

# 观赏植物耐涝性鉴定指标的种类及其评价方法

王 萍<sup>1,2</sup>, 胡永红<sup>2</sup>, 王丽勉<sup>2</sup>, 刘庆华<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学 环境艺术学院, 山东 青岛 266109; 2. 上海植物园科研中心 上海 200231)

**摘 要:** 综述了目前用于观赏植物耐涝性鉴定的形态、生长、生理生化和分子生物学指标及其综合评价的方法, 并对目前研究中存在的问题和需要研究的几个方面进行了讨论。

**关键词:** 观赏植物; 耐涝性; 鉴定指标; 评价方法

**中图分类号:** S68.03.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2007)11-0078-04

植物各项生理活动都离不开水, 但土壤水分过多或大气湿度过高都会破坏植物体的水分平衡, 不仅影响植物的生长发育, 而且还会影响植物的分布和群落结构。我国有大量的滨海低洼地、季节性积水地, 洪涝灾害频繁发生, 生态环境进一步恶化, 限制了这些地区的观赏植物分布。所以筛选和培育耐涝性强的观赏植物材料, 并在涝渍土地上种植是解决涝渍土地利用的根本途径, 也是一些具有高观赏价值的园林植物(如牡丹、月季等)扩大种植范围的有效手段。因此, 很有必要鉴定植物的

耐涝性, 以便为品种的筛选和选育提供科学的理论依据。

## 1 形态与解剖指标

### 1.1 地上部分形态

耐涝性强的植物种类、品种, 在涝渍胁迫下具有茎基增粗, 皮孔肥胖, 皮层中产生大量的融生或裂生通气组织, 基部叶片延迟衰老等特征<sup>1-4</sup>。叶片死亡百分数、单位面积茎的气隙百分率、叶片绿色稳定性亦可以作为植物耐水渍指标<sup>5,6</sup>。

### 1.2 形成不定根

耐涝性强的植物往往具有根皮层厚、皮层细胞呈柱状排列、细胞间隙较大的特征<sup>7</sup>。耐涝植物在受淹条件下, 也可以在根的皮层中产生大量的融生或裂生通气组织, 形成不定根, 与茎叶的空腔和细胞间隙相通, 以缓解缺氧。

**第一作者简介:** 王萍(1980-), 女, 山东青岛人, 硕士, 研究方向为园林植物与观赏园艺。

**通讯作者:** 胡永红, 上海植物园园长, 教授级高工。

**基金项目:** 上海市绿化管理局科学技术资助项目(F050304)。

**收稿日期:** 2007-07-31

Primula L. and Related Genera (Primulaceae) Based on Noncoding Chloroplast DNA [J]. International Journal of Plant Sciences, 2004, 162: 1381-1400.  
[27] 颜海飞, 王小兰, 胡启明, 郝刚. 鄂报春亲缘地理学研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(6): 526-532.

带植物学报 2005, 13(6): 526-532.

[28] 郝刚, 李南淑. 报春花属藏报春组、毛茛叶报春组的界定和系统发育关系: 核糖体 DNA ITS 序列证据 [J]. 植物学报, 2002, 44(1): 72-75.

## Progress in Ecophysiology and Molecular Biology in Primula

CHEN Qiang<sup>1</sup>, SHU Xianzhi<sup>2</sup>, PAN Yuanzhi<sup>1,3</sup>, SUN Zhenyuan<sup>3</sup>

(1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China; 2. Flowering Plants Center of Chengdu Huangcheng, Chengdu 610063, China; 3. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

**Abstract:** This article reported the progress in ecophysiology and molecular biology in *Primula* through summarizing the studies in recent decade. Improving the knowledge about *Primula*, people had started to study them. The disadvantages in studying were discussed and the future research and application on ecophysiology and molecular biology in *Primula* were prospected.

**Key words:** *Primula*; Ecophysiology; Molecular biology

### 1.3 细胞的超微结构

研究水湿胁迫下玉米叶片细胞超微结构的变化发现, 首先液泡膜内陷且逐渐松弛, 叶绿体向外突出一个泡状结构, 随后破坏解体, 且叶绿体膜结构在液泡膜出现破裂之前被破坏; 其次是线粒体、细胞核解体<sup>8</sup>。因此, 可以通过观察水湿胁迫下细胞中液泡、线粒体、细胞核、叶绿体等细胞器的结构变化来判断植物的耐水涝程度。

## 2 生长指标

### 2.1 种子生活力

耐涝性不同的植物种子在水淹胁迫下发芽情况的差异极显著。抗涝性强的植物种子长期淹水后仍能保持生活力, 正常生长发育; 抗性弱的植物种子短期淹水后则丧失生活力, 而一些植物种子在水淹时不能发芽, 当逆境消失后又能发芽<sup>9</sup>。

### 2.2 植株的成活率、恢复力

成活率是植物抗涝性鉴定的最直接指标之一。长期涝渍胁迫下抗涝性强的植物成活率明显高于弱抗性的, 而一旦胁迫停止, 抗性强的植物又能较快恢复。Angelov 等的实验发现美国蓝果树和美国枫香的苗木成活率达 95%, 而两种栎树在 1 a 之内全部死亡。

### 2.3 生长量与生物量

近年来对水湿胁迫下植物地上部分的形态学研究发现, 利用同一种植物不同水湿胁迫时间, 生物量和相对生长率的差异作为指示植物对水渍的反应, 这两个参数被视为重要的耐水渍指标<sup>[10-11]</sup>。一般涝渍胁迫下, 植物的叶片生长受到的影响相对较小, 原有根系大多死亡, 从而抑制了植物的高生长, 但强耐涝性植物受影响程度较小, 其初始根系死亡较少, 并能形成大量新根, 形成新的通气组织, 以适应氧气缺乏的环境, 从而使根茎比降低幅度小, 甚至有所增加, 生物量积累下降程度小。

## 3 生理生化指标

### 3.1 光合作用

植物遭受水湿胁迫后, 最早做出的反应就是气孔收缩或部分关闭, 导致气孔导度降低, CO<sub>2</sub> 扩散阻力增加, 也使叶片的 RuBP 羧化酶活性下降, 从而大大降低了光合速率, 同时光合产物的运输也因水涝而减慢。因此, 可以通过淹水条件下 RuBP 羧化酶活性下降幅度及恢复能力大小和净光合速率降低幅度的大小来鉴定植物的耐涝能力。

### 3.2 水分代谢

淹水胁迫引起植物气孔关闭, 气孔阻力上升, 其呼吸作用明显减弱, 根系对水分的吸收速率下降, 蒸腾作用降低。耐涝植物在适应淹水环境后, 气孔阻力又逐渐下降或恢复, 气孔又可重新开放, 直到水淹结束后仍然保持开放状态<sup>[12]</sup>。

### 3.3 光合色素

叶绿素含量是一个有效的涝害鉴定指标。在水淹环境下, 无氧呼吸使根系能量缺乏, 阻碍矿物质的吸收, 造成叶片营养不良, 导致叶片发黄, 叶绿素含量下降。

### 3.4 保护酶系的活性

目前有关逆境条件下植物保护酶系的研究很多, 但都只是针对某植物某一种或某几种酶类的研究, 并没有形成系统报道, 比较统一的观点是认为水涝条件下, 各种酶(水解酶、氧化酶、硝酸还原酶、苯丙氨酸解氨酶等)的活性和数量都会发生变化, 变化幅度一般以耐涝品种较不耐涝品种小<sup>[13]</sup>, 但也有不同报道。耐淹水稻品种的抗坏血酸氧化酶在淹水后活性低且下降幅度大, 使活性氧清除剂抗坏血酸保持优势水平, 克服水淹毒害<sup>[1]</sup>。在涝渍胁迫下, 15 d 内银杏的 SOD、POD、CAT 活性升高, 随时间延长胁迫伤害加重而逐渐降低<sup>[14]</sup>。

### 3.5 厌氧呼吸酶系的活性

乙醇脱氢酶活性可以作为耐涝品种的指标, 其为无氧呼吸的指标, 该酶活性高, 意味着适应无氧环境的能力强。

### 3.6 根系淀粉含量

Gravatt 等研究认为受淹前叶片淀粉浓度低、根组织淀粉浓度高是耐涝植物在淹水条件下成活的重要特征。

### 3.7 气孔参数

气孔在一定程度上能反映植物的耐涝能力。Pezeszki 等研究认为部分气孔的重新开放和维持较高的气孔导度是落羽杉和洋白蜡的重要抗涝特征。

### 3.8 质膜透性

水涝导致了植物细胞膜脂过氧化, 植物叶片内丙二醛含量上升, 破坏了细胞膜的结构和功能, 细胞中离子大量外渗, 相对电导率增加, 而耐涝性强的品系电导率相应较弱抗性低。因此, 可以通过叶片丙二醛含量、电导率来评价植物细胞膜的伤害程度<sup>[15, 16]</sup>。

### 3.9 根系活力

根系活力与植物抗涝性有一定的相关性。耐淹水稻品种根系活力强, 具有较高的吸收环境中 O<sub>2</sub> 的能力<sup>[17, 18]</sup>。水渍使植物根系周围土壤环境含氧量迅速下降, 根区缺氧造成了对水渍敏感的植物根系呼吸速率下降程度大于耐水渍植物<sup>[19, 20]</sup>。

### 3.10 总蛋白和可溶性蛋白

在外界胁迫下, 植物体总蛋白和可溶性蛋白的种类和含量都会发生变化。水涝胁迫抑制一些正常蛋白的合成, 引发新的蛋白质合成, 主要有适应淹渍胁迫的贮藏蛋白、逆境蛋白、参与代谢的酶<sup>[21]</sup>。通过分析植物体内有关可溶性蛋白的含量和酶类的活性及其种类的变化情况, 可以判断植物体耐涝性的差异。

### 3.11 内源激素

土壤水湿胁迫后改变了植物内源激素的合成和运输,目前比较清楚的只有乙烯<sup>[1]</sup>。根部 Acc 合成基因促进了 Acc 的合成,并随蒸腾液流向地上部分运输,接触到氧气后转变为乙烯,并与生长素相互作用,引起植物体各部分生长变化;植物体中高质量分数的乙烯可以使植物对 IAA 更加敏感,因而可以促进水层面茎节部的皮孔、不定根和通气组织的形成,从而增强植物的抗性。土壤水湿胁迫后根内 GA 和 CTK 合成和运输受阻,间接影响了地上部分的 GA 和 CTK 的生物合成,加剧叶片衰老和脱落<sup>[22]</sup>。地上部分 ABA 合成加强,并减小了向根系运输的数量<sup>[1,23]</sup>,ABA 含量迅速增加,叶绿素和蛋白质降解加速,叶片中 SOD 和 CAT 活性下降,植物耐涝能力减弱。因此可以根据水涝胁迫下植物体内源激素的含量变化来鉴定抗涝能力,但因植物种类和植物体内源激素种类而异。

### 3.12 乙醛含量

根际缺氧造成根系进行无氧呼吸,特别是乙醇发酵产生大量的乙醛和乙醇,造成对植物细胞的伤害。耐淹品种的乙醛含量较低<sup>[24]</sup>。

### 3.13 渗透调节

逆境下植物一方面因为多种酶活性降低,脯氨酸氧化受阻,另一方面因为谷氨酸合成脯氨酸的速度增加,使得叶片游离脯氨酸累积,提高了细胞原生质渗透压,防止水分散失和提高原生质胶体稳定性,从而提高了植物的抗性。植物的可溶性糖含量增加也 同样能降低植株水势,提高组织吸水和保水能力,从而维持水分平衡和阻止生理失水。有研究表明耐淹品种的脯氨酸含量总是高于不耐淹品种,并且涝渍胁迫后耐性品种脯氨酸含量上升幅度较大<sup>[13,17,18]</sup>。

## 4 分子生物学指标

随着基因工程技术的完善,研究人员从分子的角度寻找一些编码与植物抗涝性有关的蛋白或酶类物质的基因。研究发现 adh1、adh2 编码的 ADH 可以减轻涝渍引起的缺氧胁迫。同时一些诸如编码厌氧胁迫蛋白的基因、酶基因等与植物耐涝相关的基因也已经被克隆出来,并成功转入培育出耐涝植物材料<sup>[5]</sup>。

## 5 耐涝鉴定指标的综合评价方法

### 5.1 隶属函数法

采用模糊数学中隶属函数法,将原来孤立的指标采用统计的方法转换成综合指标,公式如下:  $X^{(p)} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$  式中, X 为某品种某一指标的测定值,  $X_{\max}$  为某一测定指标的最大值,  $X_{\min}$  为该指标中的最小值。若某一指标与抗逆性呈负相关,可通过反隶属函数计算其抗性隶属函数值,如下所示:  $X^{(p)} = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。将各指标的具体抗性隶属值进行累加来得

到各种源的抗逆性综合值,综合值越大,其抗逆性越强。

目前,隶属函数法较广泛的应用于植物的抗逆性综合评价。但评价抗逆性的指标多,且指标间有着一定的相关性,故用隶属函数法存在一定的局限性。

### 5.2 主成分分析法

主成分分析法本质上是一种多元统计分析方法,它是根据所运用的评价指标,将其重新组合成一组相互独立的少数几个综合指标来代替原有指标,并且反映原指标的主要信息。将植物耐涝性进行综合评价时,在不损失或少损失原有信息的前提下,把关系密切的指标分门别类地提炼出来,求出所有植物的每一个综合评价值和相应的隶属函数值后进行加权,便可得到各植物抗逆性的综合评价价值,据此可较科学地对各植物的抗逆性进行评价。同时,可把各抗逆性评价价值作因变量,把各单项指标的抗逆系数作自变量建立最优方程,依据此方程可以预测其他品种的抗逆性,从而使品种抗逆性的综合评价、鉴定与利用研究更有预见性。

## 6 植物耐涝性研究发展趋势

从以上研究可以看出,有关植物耐涝性鉴定已取得了进展,但有许多问题仍需进一步探讨。由于植物各生长时期对环境的敏感性不同,且当前的研究主要都集中在某个时期某个阶段,而植物对环境的适应是一个长期驯化和进化的过程,需要对植物生活史进行持续研究,今后要加强不同生育期的耐涝性鉴定研究。

近年来在植物的抗寒性、抗旱性、耐盐碱性、耐涝性等方面已经有了系统研究,探索和形成了一套成熟的研究技术,如电导率法、电阻法、叶绿素荧光法、核磁共振法等测定植物的抗逆性。其中电导率法测定细胞膜渗透性和叶绿素荧光法测定光合器官的稳定性作为一个有效手段已广泛用于植物的抗逆性研究<sup>[25,26]</sup>,而叶绿素荧光快速增加的临界温度可以说明植物种内抗逆能力的可塑性。因此,可以借鉴和运用这些成熟技术,为从生理生态学角度分析和研究植物的耐涝性研究提供技术支持。

保护酶系、内源激素、渗透调节机制等方面在植物抵抗涝渍胁迫中都具有一定的缓解作用,但对其解释存在有不同的观点和不能确定的认识。涝渍胁迫下,活性氧的作用、渗透调节机制以及抗氧化系统各物质的规律性依然是今后植物耐涝性研究的热点问题。由于植物的多样性和植物生理过程的复杂性,以及环境条件的易变性和综合性,形成了植物适应高温的多样性,其间无严格的界限,而且许多植物具有几种适应方式。孤立地用某一指标表示这一复杂的耐涝生理过程,不利于揭示植物耐涝性的本质,今后应加强耐涝性综合评价的研究。

随着生物技术的发展完善,分子标记、基因图谱、转

基因技术等植物抗涝性育种中的作用将日益受到重视,新技术的运用可望缩短抗涝性育种的周期,培育出更多的耐涝性新品种应用于城市园林绿地,增加绿地的观赏性。

### 参考文献

- [1] 张福锁. 环境胁迫与植物营养[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [2] Malik A I, Colmer T D, Lambers H, et al. Setter and Marcus Schor-temeyer. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat to different depths of waterlogging [J]. Australia. J. Plant Physiology, 2001, 28, 1121-1131.
- [3] Insausti P, Grimoldi A A, Chaneton E J et al. Flooding induces a suite of adaptive plastic responses in the grass *Paspalum Dilatatum* [J]. New Phytologist, 2001, 152, 291-299.
- [4] Vasellati V, Oesterheld M, Medan D, et al. The effects of flooding and drought on the anatomy of *Paspalum Dilatarum* [J]. Annals of Botany, 2001, 88, 355-360.
- [5] 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): 215-218.
- [6] Hamachi Y. Index of screening for wet endurance in malting barley [J]. Japanese Journal of Breeding, 1990, 40, 361-366.
- [7] 李景原, 李扬汉, 李焜章等. 芝麻(*Sesamum indicum* L.)根系的解剖结构与耐涝强度的相关性研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 1996, 24(1): 58-60.
- [8] 魏和平, 利容干, 王建波. 淹水对玉米叶片细胞超微结构的影响[J]. 植物学报, 2002, 42(8): 811-817.
- [9] Pezeshki S R, DeLaune R D. Responses of seedlings of selected woody species to soil oxidation reduction conditions [J]. Environmental and Experimental Botany, 1998, 40, 123-133.
- [10] 曾建军, 时明芝. 植物涝害生理研究进展[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2004, 17(3): 54-56.
- [11] 时明芝, 周保松. 植物涝害和耐涝机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(2): 209-210.
- [12] Gravatt D A, Kirby C J. Patterns of photosynthesis and starch allocation in seedlings of four bottom land hardwood tree species subjected to flooding [J]. Tree Physiology, 1998, 18, 411-417.
- [13] 董登峰, 骆炳山, 陈大清. 小麦苗期和孕穗期涝渍的某些生理特性比

较研究[J]. 广西农业大学学报, 1998, 17(4): 351-355.

- [14] 何高涛, 刘国琴, 樊卫国. 银杏对水涝胁迫的生理反应(I)—水涝胁迫对银杏膜质过氧化作用及保护酶活性的影响[J]. 山地农业生物学报, 2000, 19(4): 272-275.
- [15] 唐罗忠, 徐锡增, 方升佐. 土壤涝渍对杨树和柳树苗期生长及生理性状影响的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 471-474.
- [16] 王生. 淹水胁迫对杨树无性系苗期生长及生理的影响[J]. 云南林业科技, 1998(2): 28-33.
- [17] Sarkar R K, Das A. Changes in antioxidative enzymes and antioxidants in relation to flooding tolerance in rice [J]. Journal of Plant Biology, 2000, 27, 307-311.
- [18] Sarkar P K, Das S, Ravi I. Changes in certain antioxidative enzymes and growth parameters as a result of complete submergence and subsequent re-aeration of rice cultivars differing in submergence tolerance [J]. Agronomy and Crop Science, 2001, 187, 69-74.
- [19] Malik A I, Colmer T D, Lambers H, et al. Setter and Marcus Schor-temeyer. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat to different depths of waterlogging [J]. Australia. J. Plant Physiology, 2001, 28, 1121-1131.
- [20] 叶勇, 卢昌义, 谭凤仪. 木槠和秋茄对水渍的生长与生理反应的比较研究[J]. 生态学报, 2004, 21(10): 1654-1661.
- [21] 汤章城. 植物抗逆性生理生化研究的某些进展[J]. 植物生理学通讯, 1991(2): 146-148.
- [22] 严建民, 曹咏, 蔡士宾等. 湿害对小麦叶片光合酶 RuBP 活性的效应[J]. 江苏农业学报, 1993, 9(2): 17-21.
- [23] Asha S, Rao K N. The effect of waterlogging on the levels of abscisic acid in seed and leachates of peanut [J]. Indian Journal of Plant Physiology, 2001, 6, 87-89.
- [24] Das K K, Sarkar P K. Post flood changes on the status of chlorophyll carbohydrate and nitrogen content and its association with submergence tolerance in rice [J]. Plant Archives, 2001, 1, 15-19.
- [25] Ghouil H, Montpied P, Epron D, Ksontini M, Hanchi B, Dreyer E. Thermal optima of photosynthetic functions and thermostability of photochemistry in cork oak seedlings 2003, 23, 1031-1039.
- [26] Neuner G, Pramsohler M. Freezing and high temperature thresholds of photosystem 2 compared to ice nucleation: frost and heat damage in evergreen subalpine plants [J]. Physiologia Plantarum, 2006, 126: 196-204.

## Kinds of Identification Index and the Evaluation Means of Plant Submergence Endurance

WANG Ping<sup>1,2</sup>, HU Yong-hong<sup>2</sup>, WANG Li-min<sup>2</sup>, LIU Qing-hua<sup>1</sup>

(1. Environmental and Art College Qingdao Agricultural University, Qing dao 266109, China; 2. Shanghai Plant Garden, Shanghai 200231, China)

**Abstract:** Morphological, growth, physiological, biochemical, physicochemical and molecular biological indices are used in the identification of gardening plant submergence resistance, and the means of integrated evaluation had been reviewed in this paper. It also briefly discussed the present problems and several aspects of the future study.

**Key words:** Plant; Submergence endurance; Identification index; Evaluation mean