

# 水淹胁迫下 10 个树种某些生理指标的变化 及其耐水淹能力的比较

罗 祺<sup>1</sup>, 张纪林<sup>2</sup>, 郝日明<sup>1</sup>, 许万根<sup>3</sup>, 潘伟明<sup>3</sup>, 教忠意<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153;  
3. 京杭运河两淮段整治工程建设办公室, 江苏 淮安 223001)

**摘要:**以游离脯氨酸和丙二醛(MDA)含量及相对电导率为指标,比较了水淹条件下 10 个树种的耐水淹能力。结果表明,水淹胁迫下,不同树种的相对电导率及丙二醛含量均呈上升趋势,而游离脯氨酸含量的变化则有显著差异。根据生理指标的变化可以看出,黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge)和石楠(*Photinia serrulata* Lindl.)的耐水淹能力较弱,耐水淹时间仅为 5 至 10 d;蓝果树(*Nyssa sinensis* Oliv.)、薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch)、榉树(*Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz.)和一球悬铃木(*Platanus occidentalis* L.)具有一定的耐水淹能力,耐水淹时间约为 25 d;乌桕(*Sapium sebiferum* (L.) Roxb.)和白蜡(*Fraxinus chinensis* Roxb.)的耐水淹能力较强,耐水淹时间超过 45 d;墨西哥落羽杉(*Taxodium macronatum* Ten.)和花叶杞柳(*Salix integra* 'Hakuro Nishiki')的耐水淹能力最强,受水淹的 60 d 内无受害现象。

**关键词:**水淹胁迫;游离脯氨酸;丙二醛;相对电导率;耐水淹能力

**中图分类号:** Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)01-0069-05

**Change of some physiological indexes of ten tree species under waterlogging stress and comparison of their waterlogging tolerance** LUO Qi<sup>1</sup>, ZHANG Ji-lin<sup>2</sup>, HAO Ri-ming<sup>1</sup>, XU Wan-gen<sup>3</sup>, PAN Wei-ming<sup>3</sup>, JIAO Zhong-yi<sup>2</sup> (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 3. Engineering Office of the Section Between Huainan and Huaibei of the Beijing-Hangzhou Grand Canal, Huai'an 223001, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2007, 16(1): 69-73

**Abstract:** Using proline content, MDA content and electric conductivity as physiological indexes, the waterlogging tolerance of 10 tree species were compared under waterlogging stress. The results showed that electric conductivity and MDA content of different tree species had the trend of increment, but the change of proline content was varied under waterlogging stress. *Pistacia chinensis* Bunge and *Photinia serrulata* Lindl. had weak waterlogging resistance with the tolerating waterlogging duration for 5-10 d; *Nyssa sinensis* Oliv., *Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch, *Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz. and *Platanus occidentalis* L. showed considerable waterlogging resistance with the tolerating waterlogging duration for 25 d; *Fraxinus chinensis* Roxb. and *Sapium sebiferum* (L.) Roxb. had stronger tolerance to waterlogging over 45 d; while *Taxodium macronatum* Ten. and *Salix integra* 'Hakuro Nishiki' had the strongest tolerance, no injury symptom had been appeared in 60 d.

**Key words:** waterlogging stress; proline; MDA; electric conductivity; waterlogging tolerance

水是植物生长发育过程中的重要生境因子之一,只有在含一定量水分的土壤中,植物的生命活动才能正常进行,但土壤水分过多也会对植物的形态发育、生长和代谢造成一系列不良影响<sup>[1]</sup>。长江下游地区的气候属于亚热带及暖温带季风性气候,雨量集中在夏季,常造成内涝,由此引发的生态问题倍受关注。随着生活水平的逐步提高,人们对水环

境的要求也越来越高<sup>[2]</sup>,对河堤绿化树种在生态系统和景观中的重要作用也有了逐步认识。由于不同

收稿日期: 2006-11-06

基金项目: 江苏省交通科学基金项目“生态型护坡在京杭运河两淮段整治工程中的应用研究”

作者简介: 罗 祺(1983-),女,江西樟树人,硕士研究生,主要从事园林植物的生理生态学研究。

树种的耐涝性存在差异,因此,选择适宜的耐涝树种是河堤绿化和防护工作的重要基础之一。

作者以游离脯氨酸和丙二醛(MDA)含量及相对电导率为生理指标,比较分析了10个树种的耐涝性强弱,为选择河堤生态型护岸绿化树种及营造美丽的滨水景观提供重要依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge)、石楠(*Photinia serrulata* Lindl.)、蓝果树(*Nyssa sinensis* Oliv.)、薄壳山核桃[*Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch]、榉树(*Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz.)、一球悬铃木(*Platanus occidentalis* L.)、白蜡(*Fraxinus chinensis* Roxb.)、乌桕[*Sapium sebiferum* (L.) Roxb.]、墨西哥落羽杉(*Taxodium macronatum* Ten.)和花叶杞柳(*Salix integra* 'Hakuro Nishiki')的2~3年生实生苗均取至江苏省林业科学研究院苗圃地。春季上盆栽培,每盆1株,盆径15 cm,以园土作基质。

### 1.2 测定方法

每个树种选10盆盆栽苗,以水淹处理前测定的各项生理指标值作为对照(CK),2005年8月1日起将盆栽苗放入水槽中进行水淹处理,并保持水位在土表上5 cm处。根据各树种耐水淹能力的不同,将石楠、黄连木、薄壳山核桃、榉树和蓝果树的采样间隔期设为5 d;悬铃木、白蜡和乌桕的采样间隔期设为10 d;花叶杞柳和墨西哥落羽杉的采样间隔期设为20 d。当水淹致使植株叶片脱落约50%时,停止实验。

每次采样均取0.5 g生长一致的叶片进行各项生理指标的测定。采用磺基水杨酸法提取游离脯氨酸并用茚三酮比色法测定其含量<sup>[3]</sup>;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法进行测定<sup>[4]</sup>;相对电导率的测定则参照文献[3]的方法,用DDS0-11A型直读电导仪测定电导值。上述指标测定时均设3次重复。

### 1.3 数据处理

实验数据采用Microsoft Excel和SPSS软件进行回归和差异显著性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 水淹条件下不同树种叶片相对电导率、脯氨酸和丙二醛含量的变化

2.1.1 叶片相对电导率的变化 水淹条件下,不同树种的相对电导率变化情况见表1。由表1可以看出,与各自的对照相比,10个树种叶片的相对电导率都随水淹胁迫时间的延长而增加,但增加的速度和幅度各不相同。

黄连木和石楠叶片的相对电导率在水淹第10天就达到最高值(76.20%和43.45%),且黄连木最高值为对照的2倍。相比之下,水淹10 d后,薄壳山核桃、榉树和蓝果树叶片的相对电导率明显上升,但随后开始下降,水淹25 d后又显著上升;榉树叶片的相对电导率在水淹第40天达到最高值(77.89%);薄壳山核桃和蓝果树叶片的相对电导率则在水淹第30天达到最高值,其中蓝果树叶片的相对电导率最大值达84.12%,为对照的7倍多。一球悬铃木、白蜡和乌桕叶片的相对电导率在水淹初期略呈下降趋势,从水淹第20天开始,3个树种叶片的相对电导率明显升高;至第30天时,一球悬铃木和乌桕叶片的相对电导率均达到最高值,分别为68.96%和61.38%;白蜡叶片的相对电导率在水淹第50天才达到最高值;随后3个树种叶片的相对电导率呈下降趋势,但仍保持在较高水平。花叶杞柳和墨西哥落羽杉叶片的相对电导率在水淹前20天均无明显变化,随着水淹时间的延长,相对电导率急剧升高,至水淹第40天时达到最高值,随后呈下降趋势。

2.1.2 叶片中游离脯氨酸含量的变化 水淹条件下,不同树种叶片中的游离脯氨酸含量变化见表2。由表2可看出,与各自的对照相比,在水淹胁迫下,10个树种叶片的游离脯氨酸含量变化有显著差异。

石楠、黄连木、薄壳山核桃、榉树和蓝果树5个树种在水淹初期(5 d)叶片游离脯氨酸含量略有下降,从第10天开始游离脯氨酸含量呈上升趋势。水淹第10天,石楠叶片中游离脯氨酸含量达26.56  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,胁迫处理第20天后死亡个体数过半。水淹第10天时黄连木叶片的游离脯氨酸含量就达到最高值(90.07  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),比对照(38.70  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )增加了132.74%;胁迫处理第15天时黄连木的

亡苗木数已超过 50%。薄壳山核桃、榉树和蓝果树叶片的游离脯氨酸含量分别在水淹第 30 天、第 20 天和第 15 天达到最高值,依次为 120.40、126.33 和 14.64  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于对照。一球悬铃木、白蜡和乌桕叶片中的游离脯氨酸含量在水淹的前 50 天均呈下降趋势,至胁迫处理第 60 天时略有上升。花

叶杞柳叶片中的游离脯氨酸含量在水淹第 40 天时降到最低,仅为 6.51  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与对照相比有显著差异;至胁迫处理第 60 天时略有增加。墨西哥落羽杉叶片中的游离脯氨酸含量在水淹胁迫的过程中一直呈下降趋势。

表 1 水淹条件下 10 个树种叶片相对电导率的变化<sup>1)</sup>  
Table 1 Change of leaf electric conductivity of ten tree species under waterlogging stress<sup>1)</sup>

树种 Tree species	不同处理时间的相对电导率/% Electric conductivity in different treatment time												
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d	45 d	50 d	55 d	60 d
Phs	26.51b	20.96b	43.45a	41.34a	41.72a	-	-	-	-	-	-	-	-
Pc	38.01b	32.00b	76.20a	76.00a	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ci	22.29de	14.94e	35.06cd	50.53b	26.94cd	36.16c	65.18a	57.67b	65.47a	29.75cd	42.51b	36.83c	37.50c
Zs	26.06f	14.04g	46.47c	43.68c	29.15e	54.53b	48.64c	47.61c	77.89a	39.45d	-	-	-
Ns	10.82g	17.67g	47.61de	66.46a	35.81f	54.53bc	84.12a	81.16ab	82.52a	22.02g	58.94cd	50.15de	41.19ef
Plo	59.82a		43.23bc		36.97e		68.96a		42.62bc		51.84b		40.91c
Frc	53.06b		47.67b		28.08e		54.41b		42.64c		74.74a		42.54c
Ss	42.81b		43.08b		24.33cd		61.38a		23.32d		39.89bc		41.89b
Si	20.87c				20.30e				75.25a				39.15b
Tm	5.68b				4.33b				43.16a				13.21ab

<sup>1)</sup> Phs: 石楠 *Photinia serrulata* Lindl.; Pc: 黄连木 *Pistacia chinensis* Bunge; Ci: 薄壳山核桃 *Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch; Zs: 榉树 *Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz.; Ns: 蓝果树 *Nyssa sinensis* Oliv.; Plo: 一球悬铃木 *Platanus occidentalis* L.; Frc: 白蜡 *Fraxinus chinensis* Roxb.; Ss: 乌桕 *Sapium sebiferum* (L.) Roxb.; Si: 花叶杞柳 *Salix integra* 'Hakuro Nishiki'; Tm: 墨西哥落羽杉 *Taxodium macronatum* Ten.; 同行不同的字母表示有显著性差异 ( $P \leq 0.05$ ) Different letters in the same row indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ); “-”: 供试苗木 50% 叶片脱落,终止测试 Leaves of tested trees falling by 50%, the examinations stopped.

表 2 水淹条件下 10 个树种叶片脯氨酸含量的变化<sup>1)</sup>  
Table 2 Change of proline content in leaf of ten tree species under waterlogging stress<sup>1)</sup>

树种 Tree species	不同处理时间的脯氨酸含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Proline content in different treatment time												
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d	45 d	50 d	55 d	60 d
Phs	28.44a	23.04a	26.56a	25.05a	26.87a	-	-	-	-	-	-	-	-
Pc	38.70b	26.04b	90.07a	46.79b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ci	23.79bc	20.19bc	38.03b	37.62bc	34.19bc	35.50bc	120.40a	31.87bc	16.93c	24.37bc	24.23bc	28.68bc	27.27bc
Zs	64.78bc	41.56c	65.52b	68.64bc	126.33a	54.96bc	67.74b	81.52b	68.37b	37.73c	-	-	-
Ns	11.07b	11.25ab	12.02ab	14.64ab	12.79b	8.71b	5.81b	10.98ab	9.52a	4.86b	7.23b	11.78ab	12.74ab
Plo	15.12a		12.26b		12.62ab		9.95c		7.09c		5.89c		10.93b
Frc	15.70a		15.73s		16.03s		10.38b		7.86b		8.14b		14.15a
Ss	13.25bc		21.47a		16.24b		9.44cd		6.58d		4.47d		10.24cd
Si	12.68a				11.68ab				6.51e				10.82b
Tm	84.97a				84.22a				45.57b				17.60b

<sup>1)</sup> Phs: 石楠 *Photinia serrulata* Lindl.; Pc: 黄连木 *Pistacia chinensis* Bunge; Ci: 薄壳山核桃 *Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch; Zs: 榉树 *Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz.; Ns: 蓝果树 *Nyssa sinensis* Oliv.; Plo: 一球悬铃木 *Platanus occidentalis* L.; Frc: 白蜡 *Fraxinus chinensis* Roxb.; Ss: 乌桕 *Sapium sebiferum* (L.) Roxb.; Si: 花叶杞柳 *Salix integra* 'Hakuro Nishiki'; Tm: 墨西哥落羽杉 *Taxodium macronatum* Ten.; 同行不同的字母表示有显著性差异 ( $P \leq 0.05$ ) Different letters in the same row indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ); “-”: 供试苗木 50% 叶片脱落,终止测试 Leaves of tested trees falling by 50%, the examinations stopped.

2.1.3 叶片中丙二醛(MDA)含量的变化 水淹条件下,不同树种叶片中丙二醛含量的变化见表 3。由表 3 可见,与各自的对照相比,在水淹胁迫下,10 个树种叶片中丙二醛含量总体上呈增加趋势,但不同

树种增加的幅度和时间则各不相同。

石楠、黄连木和蓝果树叶片的丙二醛含量在水淹第 15 天时达到最高值(1.75、2.79 和 6.47  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ),分别比对照增加了 50.86%、128.69%

和138.75%；之后，随水淹时间的延长，蓝果树叶片中的丙二醛含量总体呈下降趋势；石楠和黄连木在水淹胁迫第20天和第15天因叶片脱落50%而终止实验。相比之下，榉树和薄壳山核桃叶片中的丙二醛含量增加较平缓，在水淹45~50 d时才达到最高值；随之，薄壳山核桃叶片中的丙二醛含量略有下

降，榉树因叶片脱落过半而停止实验。一球悬铃木、白蜡和乌柏叶片中的丙二醛含量随着水淹时间的延长逐渐升高，水淹50 d后达到最高值。花叶杞柳和墨西哥落羽杉叶片中的丙二醛含量则随水淹时间的延长呈现出先略有下降，然后升高，再下降的变化过程，但最终均略高于各自的对照。

表3 水淹条件下10个树种叶片丙二醛(MDA)含量的变化<sup>1)</sup>  
Table 3 Change of MDA content in leaf of 10 tree species under waterlogging stress<sup>1)</sup>

树种 Tree species	不同处理时间的丙二醛含量/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ MDA content in different treatment time												
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d	45 d	50 d	55 d	60 d
Phs	1.16b	1.23b	0.48c	1.75a	1.18b	-	-	-	-	-	-	-	-
Pc	1.22b	1.00b	1.14b	2.79a	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ci	1.75fg	1.06h	0.23h	2.40a	2.17ef	1.64fg	1.88fg	2.51bc	2.18de	2.30cd	2.87ab	1.56fg	2.54bc
Zs	1.08e	1.34d	1.28e	2.42b	2.21c	2.22c	1.80d	3.22a	2.84b	3.76a	-	-	-
Ns	2.71g	2.25gh	1.29h	6.47a	2.82g	3.23f	4.10ef	4.47c	3.68ef	2.28h	4.97b	4.43cd	3.96de
Plo	0.21c	-	0.18c	-	1.61b	-	1.14b	-	2.91a	-	3.27a	-	3.53a
Frc	2.60b	-	2.35b	-	2.84b	-	2.33b	-	4.35b	-	5.54a	-	4.57a
Ss	2.17d	-	2.07d	-	2.82cd	-	3.02cd	-	4.98ab	-	5.31a	-	4.81bc
Si	1.26c	-	-	-	1.19c	-	-	-	2.95a	-	-	-	2.08b
Tm	0.91c	-	-	-	0.72c	-	-	-	2.02a	-	-	-	1.52b

<sup>1)</sup> Phs: 石楠 *Photinia serrulata* Lindl.; Pc: 黄连木 *Pistacia chinensis* Bunge; Ci: 薄壳山核桃 *Carya illinoensis* (Wangenh.) Koch; Zs: 榉树 *Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz.; Ns: 蓝果树 *Nyssa sinensis* Oliv.; Plo: 一球悬铃木 *Platanus occidentalis* L.; Frc: 白蜡 *Fraxinus chinensis* Roxb.; Ss: 乌柏 *Sapium sebiferum* (L.) Roxb.; Si: 花叶杞柳 *Salix integra* 'Hakuro Nishiki'; Tm: 墨西哥落羽杉 *Taxodium macronatum* Ten.; 同行不同的字母表示有显著性差异 ( $P \leq 0.05$ ) Different letters in the same row indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ); “-”: 供试苗木50%叶片脱落,终止测试 Leaves of tested trees falling by 50%, the examinations stopped.

## 2.2 不同树种耐水淹能力的分析

根据以上实验结果可以看出,不同树种的耐涝能力存在显著差异。在定植时间、苗龄及生态环境一致条件下,黄连木和石楠的耐涝性最差,耐水淹时间不到10 d;蓝果树、薄壳山核桃和榉树具有一定的耐涝能力,耐水淹时间为15~25 d;一球悬铃木、白蜡和乌柏的耐涝性较强,耐水淹时间约为45 d;而墨西哥落羽杉和花叶杞柳耐水淹能力最强,受涝期间(60 d)未出现受害症状。这一结果与作者前期对上述10个树种的观察研究结果一致<sup>[5]</sup>。

在前期研究中发现,黄连木和石楠在水淹10 d后50%以上的叶片脱落,植株濒临死亡;蓝果树水淹15 d后整株叶片受害,失绿干枯,植株不能正常生长;薄壳山核桃在水淹5 d时,叶片和枝条均出现受害症状,水淹20 d后无法继续观察;榉树可耐涝约25 d;一球悬铃木在水淹15 d时茎基部长出2~3条不定根,而此时白蜡和乌柏已形成大量肥厚的皮孔和不定根,这3个树种耐水淹时间均达45 d;墨西哥落羽杉和花叶杞柳受涝期间未出现受害症状,并长

出不定根和肥厚的皮孔。由此可见,水淹胁迫后,10个树种叶片的某些生理指标的变化与苗木可见受害症状及其耐水淹能力具有一定的相关性。

## 3 讨论

水淹不仅能使植物落叶,还能使植物各项生理指标发生应激性反应,因此,可通过测定有效生理指标的方法来预测树种的耐水淹能力。

水淹胁迫下,细胞膜透性能反映膜的稳定性,常被作为植物耐涝性指标之一<sup>[1,6]</sup>。通常耐涝树种比不耐涝树种具有较低的电解质外渗率,不耐涝的树种在水淹条件下相对电导率显著高于对照。上述实验结果表明,随水淹时间的延长,不耐水淹的黄连木和石楠很快出现相对电导率的高峰值;而略耐水淹的蓝果树、薄壳山核桃和榉树则会先出现1个增幅不高的峰值,随后相对电导率略回落,再出现第2个增幅较高的峰值。第1个峰值可看作植株对水淹的适应性反应,此时外部形态没有出现明显受水淹伤

害的症状;第2个峰值预示水淹胁迫对植株造成伤害,与水淹过程中50%植株叶片脱落的时间相近。墨西哥落羽杉和花叶杞柳在水淹第40天时相对电导率明显高于对照,但增幅不明显,此时受水淹的植株生长正常,可认为是植株对水淹胁迫的适应性反应。

水淹胁迫下,植物体内游离脯氨酸含量与植物耐涝性之间存在相关性<sup>[7,8]</sup>,水淹胁迫后,受淹树种体内的游离脯氨酸含量呈增加趋势,一般认为是树种对水淹胁迫的一种适应和保护机制<sup>[9]</sup>。然而,随水淹持续时间的延长,游离脯氨酸含量最大值往往与受淹后形态的严重损伤症状同步出现,因而,可以用水淹后游离脯氨酸含量最大值的出现先后来判断树种的耐水淹能力高低。

丙二醛(MDA)被认为是膜脂氧化的最终产物,其含量的高低可反映植物在逆境下的受害程度<sup>[10]</sup>。本实验中,10个树种的丙二醛含量随水淹时间的延长总体上呈增加趋势,但增加的速度和幅度不同,与相对电导率的变化趋势一致,进一步说明不同树种受水淹胁迫的伤害程度不同。

用生理指标检测树种的耐水淹能力应尽可能采用多项生理指标相互印证,不同树种对水淹胁迫的生理适应机制不尽相同,在所检测的不同生理指标上有所差别。以蓝果树为例,受水淹胁迫后体内游离脯氨酸含量变化的显著程度不高(表2),而水淹胁迫后相对电导率的变化特别显著(表1)。因此,在水淹胁迫下,通过对不同树种叶片的相对电导率、游离脯氨酸和丙二醛含量等生理指标的综合分析,比较不同树种的耐水淹能力,能有效提高耐涝树种筛选的科学性和可靠性。然而,水淹后生理指标的异常变化最终应与植株的形态受害症状变化相映

证,水淹后的异常生理变化是形态受害症状的生理基础。

湿地作为“地球之肾”,其重要性已被越来越多的人所接受。河岸、湖畔、塘边的耐水湿树木群落的营建是体现自然湿地景观的重要要素,目前营建湿地常用的湿生树种仅有垂柳(*Salix babylonica* L.)和枫杨(*Platycarya strobiliacea* Sieb. et Zucc.)等少数种类,使得湿地景观树种单一雷同。运用有效的生理评价方法检测不同树木的耐水淹能力,能筛选出更多的湿生树种,对河堤护岸绿化和水网密布地区的环境绿化有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 刘祖祺,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994.
- [2] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报,1996,7(4):439-448.
- [3] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [4] 赵世杰,许长城,邹琦,等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯,1994,30(3):207-210.
- [5] 教忠意,罗祺,张纪林,等. 10个树种耐水淹能力的比较[J]. 江苏林业科技,2007,33(1):15-18.
- [6] 赵可夫. 植物对水涝胁迫的适应[J]. 生物学通报,2003,38(12):11-14.
- [7] 汤章成. 逆境条件下植物脯氨酸的积累及其可能的生理学意义[J]. 植物生理学通讯,1984(1):15-21.
- [8] Stewart. The role of proline accumulation in halophytes[J]. Plants, 1974, 120: 279-289.
- [9] 张晓平,方炎明,陈永江. 淹涝胁迫对鹅掌楸属植物叶片部分生理指标的影响[J]. 植物资源与环境学报,2006,15(1):41-44.
- [10] 钟雪花,杨万年,吕应堂,等. 淹水胁迫下对烟草、油菜某些生理指标的比较研究[J]. 武汉植物学研究,2002,20(5):395-398.