

文章编号:1001-7380(2015)04-0017-05

## 盐胁迫下1年生麻栎实生苗的生理变化

李 勇,葛晓敏,唐罗忠\*,黄开栋,郑萌芳

(南方现代林业协同创新中心,南京林业大学,江苏 南京 210037)

**摘要:**采用室内盆栽法对1年生麻栎实生苗进行了盐(NaCl)胁迫试验,结果显示,土壤含盐量为0.4%和0.5%时,苗木叶片边缘会出现明显的失绿现象。高含量的盐处理会明显抑制麻栎新梢生长。土壤含盐量高于0.3%时,苗木叶片的含水量、叶绿素含量和光合速率均显著下降,而相对电导率显著升高。土壤含盐量较高时,苗木嫩叶中的N含量有所下降。苗木细根中的K含量会随着土壤含盐量的提高而降低,叶片中的K含量却呈相反趋势。当土壤含盐量低于0.3%时,苗木叶片中的Na含量处于较低水平,但高于0.4%时,叶片中的Na含量会显著升高;细根中的Na含量随着土壤含盐量的升高而升高。综合分析认为,土壤含盐量低于0.2%时,麻栎苗木能够正常生长;土壤含盐量高于0.3%时,麻栎苗木的生理会受到明显影响。

**关键词:**麻栎;苗木;盐胁迫;生长;叶绿素;光合速率;相对电导率

**中图分类号:**S792.181 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2015.04.005

## Physiological change of *Quercus acutissima* seedlings under the salt stress

LI Yong, GE Xiao-min, TANG Luo-zhong\*, HUANG Kai-dong, ZHENG Meng-fang

(Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** Pot experiment in greenhouse was committed to investigate the effects of salt (NaCl) stress on the growth and physiological trait of *Quercus acutissima* seedlings. The results showed that the leaves margin of seedlings appeared a significant chlorosis with 0.4% and 0.5% salt contents in soil. Salt high content treatment decreased the nitrogen content of tender leaves, and obviously inhibited the shoot growth. The water content, chlorophyll content and photosynthetic rate of the leaves were significantly decreased with over 0.3% edaphic salt content, in contrast, the relative electrical conductivity of the leaves increased significantly. Furthermore, potassium content of fine roots decreased with the increase of salt content in soil, but an opposite tendency was showed in the leaves. With less than 0.3% salt content, sodium content of the leaves was at a low level while it was significantly increased with over 0.4% salt content in soil. However, sodium content in the fine roots increased with the increasing of salt content. Integrated analysis indicated that the *Quercus acutissima* seedlings could grow normally with less than 0.2% salt content in soil. The growth and physiological trait were affected by over 0.3% of salt content.

**Key words:** *Quercus acutissima*; Seedlings; Salt stress; Growth; Chlorophyll; Photosynthetic rate; Relative electrical conductivity

盐碱土是陆地上分布最广的土壤类型之一,约占陆地总面积的25%。仅在我国,盐碱地面积就有3 400万hm<sup>2</sup>以上<sup>[1]</sup>。土壤盐渍化是影响植物生长

和产量的重要环境因子<sup>[2-3]</sup>,全世界约有1/3的土壤盐渍化,目前我国各类盐渍土总面积约为1亿hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。土壤中过量的盐分会引起土壤理化性质发

收稿日期:2015-06-24;修回日期:2015-07-06

**基金项目:**国家自然科学基金项目“池杉形成膝根的生理机制及其功能研究”(31170566);教育部高等学校博士学科点专项科研基金“杨树对土壤重金属污染的净化能力研究及高富集品种筛选”(201332041100011);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

**作者简介:**李 勇(1991-),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事森林培育学研究。E-mail: 1076404414@qq.com。

**\*通信作者:**唐罗忠(1967-),男,江苏金坛人,教授,主要从事森林培育与森林生态学研究。E-mail: luozhongtang@njfu.edu.cn。

生改变,从而导致大部分植物生长受到影响、土地生产力下降<sup>[5]</sup>。因此,开展耐盐碱植物培育,研究植物的耐盐性及其机理具有重要的理论和现实意义。

麻栎(*Quercus acutissima* Carr.)属壳斗科栎属落叶乔木,树干通直高大,树冠雄伟,季相变化明显,是良好的城市园林绿化树种。在我国许多丘陵山区也有分布,是硬阔叶林的主要建群种,具有抗风护坡、保持水土的作用<sup>[6]</sup>。近年来关于麻栎的开发利用<sup>[7]</sup>、组织培养<sup>[8-9]</sup>、光合特性<sup>[10-11]</sup>、根系生长<sup>[12]</sup>等方面的研究报道较多,但关于麻栎对盐分的抗耐性研究还较少,麻栎对盐分的抗耐程度及其机理尚不清楚。通过对植物耐盐机理的研究,为选育新的耐盐植物具有重要意义<sup>[13]</sup>。本文试图通过室内控制实验,研究麻栎在不同盐胁迫水平下的生长和生理变化情况,为掌握麻栎对盐分的抗耐性、选择麻栎适宜的造林立地条件提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

2013 年 3 月,选择长势均匀、生长健壮的安徽省滁州市红琊山林场 1 年生麻栎实生苗,移栽到口径 20 cm、高 18 cm 的塑料花盆中,每盆栽植 1 株,采用红琊山林场苗圃土作为培养基质。苗木放置于玻璃温室中进行培养,因为麻栎比较喜光,所以尽可能将苗木置于光照比较强的位置。

### 1.2 试验设计

采用 NaCl 作为盐胁迫处理材料,共设置 7 种处理,分别是(1)对照(土壤不添加盐分),(2)0.05% 土壤含盐量(指 NaCl 质量占土壤总干重的 0.05%,下同),(3)0.1% 土壤含盐量,(4)0.2% 土壤含盐量,(5)0.3% 土壤含盐量,(6)0.4% 土壤含盐量,(7)0.5% 土壤含盐量。每种处理 4 盆。

2013 年 7 月 20 日,用蒸馏水配置相应质量分数的 NaCl 溶液,在 2 d 之内分 2 次将 NaCl 溶液分别浇灌到不同处理的盆土中,并事先在每个花盆下方放置托盘,防止盐水流失,定期将流出的盐水倒回到盆土中。盐处理之后采用常规方法管理水分,并定期观察记录苗木的叶片形态,测定新梢长度和新梢基部直径,定期取样测定叶片叶绿素含量、相对电导率、光合速率和含水量,于 8 月 20 日结束盐胁迫处理试验,采集各处理麻栎叶片、细根样品,分析 N, P, K 和 Na 元素含量。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 新梢长度与粗度 分别于 7 月 20 日(处理前)和 8 月 20 日(处理结束时)用钢卷尺测量新梢长度,用游标卡尺测量新梢基部直径,计算 2 个时期的差值,了解不同处理对苗木新梢生长的影响。

1.3.2 叶绿素含量 分别在处理后的第 0, 3, 15, 30 d,采用便携式叶绿素测定仪(SPAD 计)测定不同处理苗木成熟叶片和未成熟叶片(嫩叶)的叶绿素 SPAD 值。

1.3.3 叶片含水量 试验结束时(8 月 20 日)分别采集不同处理的麻栎苗木成熟叶片和嫩叶,通过烘干法(65 ℃恒温烘箱烘干)测定叶片含水量。

1.3.4 叶片光合速率 在盐处理后的第 0, 1, 3, 6, 10, 15, 24, 30 d,分别选择各种处理的苗木成熟叶 6 片,用 LI-6400 系列光合仪测定叶片光合速率。

1.3.5 叶片相对电导率 在盐处理后的第 0, 2, 3, 6, 10, 15, 22, 30 d,分别采集不同处理的麻栎苗木成熟叶 5~10 片,用蒸馏水清洗叶表面,滤纸吸干叶片表面水分后,用直径 0.5 cm 的打孔器钻取不含中脉的叶片,充分混匀后,称取 0.5 g,置于大试管中,加入 20 mL 的去离子水,摇匀后,放入密封的干燥皿中抽气 10 min,等到叶片全部沉入水中后,取出试管并振荡 10 min,用电导仪测定溶液电导率。再将试管放入沸水中煮沸 10 min,冷却后添加去离子水至原有刻度,充分摇匀后测定电导率。根据煮沸前和煮沸后的电导率,计算叶片的相对电导率。

1.3.6 叶片与细根的营养含量 试验结束时(8 月 20 日),分别采集不同处理下的麻栎苗木成熟叶和嫩叶,同时收集不同处理下的苗木细根(直径小于 2 mm),洗净后在 65 ℃恒温烘箱中烘干并粉碎。采用高氯酸和浓硫酸的混合酸进行消煮处理,消煮液过滤后采用流动分析仪和原子吸收光谱仪测定 N, P, K, Na 含量。

试验处理均重复 3~6 次。

### 1.4 数据处理方法

利用 Microsoft Excel 软件对数据进行整理后,采用 DPS7.05 软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同质量分数盐处理对苗木叶片形态的影响

在 30 d 的试验中,不论哪种盐质量分数处理,麻栎苗木均没有出现死亡现象,表明麻栎具有一定的耐盐性。但是在高质量分数(0.4% 和 0.5%)盐

胁迫下,麻栎苗木的叶片边缘明显失绿和干枯(见图 1)。0.3% 以下盐胁迫处理的叶片形态与对照处理没有明显差异。



图 1 盐处理下的麻栎苗木叶片形态

2.2 不同质量分数盐处理对苗木新梢生长的影响  
试验 30 d 后, 不同处理间的麻栎苗木新梢高

生长差异并不显著,但总的来说,对照、0.05% 和 0.1% 质量分数盐处理的苗木新梢高生长量较大,0.2% 以上质量分数处理的新梢生长量较小。7 种处理的麻栎苗木新梢粗生长存在显著差异,随着盐胁迫程度的加剧,新梢粗生长量不断减小,当土壤含盐量达到 0.4% 时,粗生长几乎完全停止(见表 1)。

2.3 不同质量分数盐处理对苗木叶片含水量的影响

结果见表 2,不同处理之间的麻栎苗木成熟叶和嫩叶含水量存在显著差异。当土壤盐质量分数低于 0.3% 时,叶片含水量较高;土壤盐质量分数高达 0.4% 和 0.5% 时,叶片含水量明显降低。这表明土壤含盐量低于 0.3% 时,麻栎苗木叶片含水量并不会受到显著影响。

表 1 不同质量分数盐处理对苗木新梢生长的影响

新梢	盐质量分数/%						
	CK	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
高生长/cm	2.13 ± 2.48 a	1.63 ± 2.29 a	2.50 ± 5.34 a	0.25 ± 0.50 a	0.13 ± 0.25 a	-0.13 ± 0.25 a	0.00 ± 0.41 a
粗生长/mm	0.87 ± 0.23 a	0.55 ± 0.07 b	0.35 ± 0.17 bc	0.30 ± 0.20 cd	0.12 ± 0.02 de	0.00 ± 0.09 e	-0.07 ± 0.03 e

表中数据为平均值 ± 标准差;同一行数据后的不同小写字母表示不同处理之间的显著性差异( $P < 0.05$ )。

表 2 不同质量分数盐处理对苗木叶片含水量的影响

含水量/%	盐质量分数/%						
	CK	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
成熟叶	102.2 ± 8.3 a	107.5 ± 11.9 a	98.3 ± 9.1 a	91.0 ± 9.8 a	91.8 ± 8.4 a	74.4 ± 3.4 b	62.2 ± 5.1 c
嫩叶	105.9 ± 5.8 ab	110.0 ± 8.5 a	109.7 ± 7.6 a	105.5 ± 6.4 ab	101.6 ± 5.9 ab	88.8 ± 5.5 c	93.8 ± 6.8 bc

表中数据的平均值 ± 标准差;同一行数据后的不同小写字母表示不同处理之间的显著性差异( $P < 0.05$ )。

2.4 不同质量分数盐处理对苗木叶片叶绿素含量的影响

在试验的早期(15 d 之内),不同处理之间的苗木成熟叶片叶绿素含量并没有显著差异;15 d 之后,不同处理之间的叶绿素含量差异增大,其中对照最大,其次是 0.1% 处理,而 0.4% 处理最低(见图 1)。在第 15 d,不同质量分数盐处理之间的嫩叶叶绿素含量就呈现出较大差异,至 30 d 时,差异进一步增大,且基本上是随着土壤盐质量分数的提高,叶绿素含量降低(见图 2)。所以,与成熟叶相比,嫩叶对盐胁迫的反应更敏感。

2.5 不同质量分数盐处理对苗木叶片相对电导率的影响

不同质量分数盐处理对麻栎苗木叶片相对电导率的影响较大,盐质量分数越高,相对电导率越大;盐处理时间越长,相对电导率也越大(如图 3)。叶片相对电导率的提高表明细胞质膜透性增大,细胞膜受到了一定程度的破坏。

2.6 不同质量分数盐处理对苗木叶片光合速率的影响

由结果(见图 4)可知,盐胁迫处理对麻栎苗木叶片光合速率影响显著。随着土壤盐质量分数的提高,叶片光合速率不断降低,高质量分数(0.5%, 0.4% 和 0.3%)盐处理的叶片光合速率明显低于其

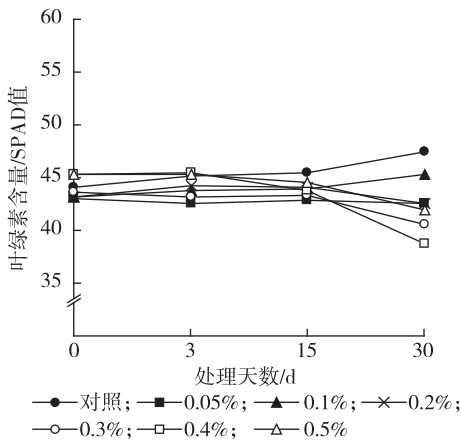


图 1 不同质量分数盐处理对成熟叶叶绿素含量的影响

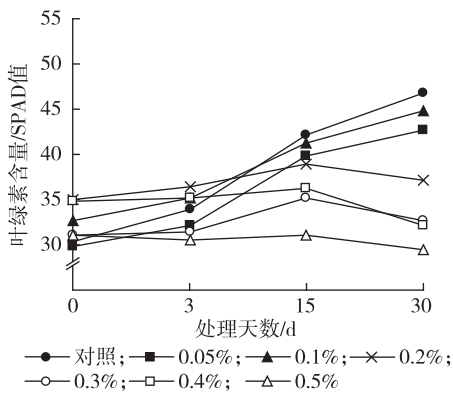


图 2 不同质量分数盐处理对嫩叶叶绿素含量的影响

他处理,在处理 3 d 时光合速率就降低到  $4\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  以下。从光合速率可以看出,土壤盐质量分数超过 0.3% 时会对麻栎生长产生明显抑制。

2.7 不同质量分数盐处理对苗木叶片和细根养分含量的影响

由结果(见表 3)可以看出,虽然不同处理之间

的麻栎苗木成熟叶片 N 含量存在一定的差异,但是均在  $10\sim 14\text{ g/kg}$  范围内,不同处理之间并没有明显的规律。嫩叶的 N 含量受盐胁迫的影响存在一定规律,当土壤含盐量  $\geq 0.1\%$  时,嫩叶中的 N 含量明显降低。土壤含盐量  $\geq 0.2\%$  时,苗木细根中的 N 含量较高,其原因尚待进一步研究。

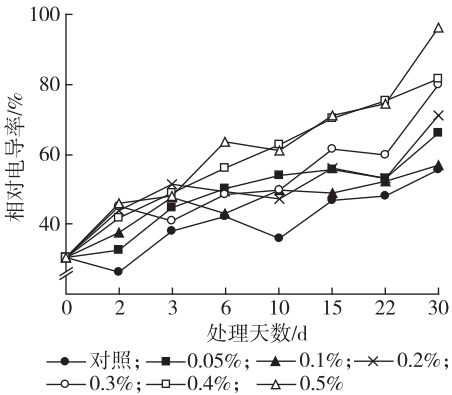


图 3 不同质量分数盐处理对麻栎苗木叶片相对电导率的影响

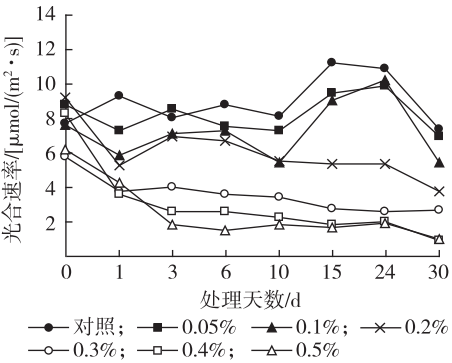


图 4 不同质量分数盐处理对麻栎苗木叶片光合速率的影响

表 3 不同质量分数盐处理对苗木叶片和细根养分含量的影响

元素含量 (g/kg)	器官	盐质量分数/%							
		CK	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
N	成熟叶	11.68 ± 1.6 ab	10.12 ± 2.05 b	10.11 ± 0.47 b	11.28 ± 0.83 ab	11.41 ± 0.37 ab	10.47 ± 1.03 b	13.25 ± 0.38 a	
	嫩叶	16.21 ± 0.71 a	15.91 ± 1.6 a	13.45 ± 0.77 b	13.63 ± 0.83 b	12.46 ± 0.65 b	13.38 ± 1.25 b	13.02 ± 0.40 b	
	细根	4.54 ± 0.62 bc	5.42 ± 0.76 ab	4.34 ± 0.79 c	5.88 ± 0.27 a	5.79 ± 0.33 a	6.25 ± 0.36 a	6.27 ± 0.35 a	
P	成熟叶	1.17 ± 0.04 a	1.01 ± 0.02 a	0.68 ± 0.07 b	1.16 ± 0.19 a	1.07 ± 0.15 a	1.08 ± 0.06 a	1.08 ± 0.11 a	
	嫩叶	1.27 ± 0.14 bc	1.06 ± 0.16 c	1.04 ± 0.24 c	1.60 ± 0.12 a	1.43 ± 0.15 ab	1.22 ± 0.08 bc	1.33 ± 0.13 abc	
	细根	0.90 ± 0.06 ab	0.81 ± 0.12 b	0.84 ± 0.15 b	1.04 ± 0.08 a	1.03 ± 0.04 a	0.97 ± 0.10 ab	0.93 ± 0.11 ab	
K	成熟叶	5.89 ± 0.53 c	6.97 ± 1.15 bc	5.89 ± 1.04 c	9.17 ± 0.79 a	9.00 ± 0.89 a	8.42 ± 0.81 ab	9.31 ± 1.34 a	
	嫩	6.78 ± 0.84 d	8.93 ± 0.90 bc	8.65 ± 1.01 c	10.52 ± 0.53 ab	10.52 ± 0.51 ab	9.80 ± 1.26 abc	11.58 ± 1.35 a	
	细根	4.44 ± 0.50 a	3.74 ± 0.43 b	3.12 ± 0.21 bc	2.83 ± 0.23 c	2.78 ± 0.49 c	2.09 ± 0.24 d	1.75 ± 0.33 d	
Na	成熟叶	0.05 ± 0.00 c	0.06 ± 0.01 c	0.05 ± 0.01 c	0.10 ± 0.02 c	0.46 ± 0.10 b	3.26 ± 0.14 a	3.21 ± 0.19 a	
	嫩叶	0.04 ± 0.00 d	0.04 ± 0.01 d	0.05 ± 0.01 d	0.12 ± 0.02 c	0.32 ± 0.03 b	4.17 ± 0.41 a	4.05 ± 0.27 a	
	细根	0.43 ± 0.13 e	1.18 ± 0.22 d	1.63 ± 0.20 c	2.20 ± 0.10 b	2.44 ± 0.20 ab	2.73 ± 0.12 a	2.73 ± 0.36 a	

表中数据为平均值 ± 标准差;同一行数据后的不同小写字母表示不同处理之间的差异达到了显著水平 ( $P < 0.05$ )。

不同质量分数盐处理对苗木叶片和细根 P 含量的影响状况比较一致,即在 0.05% 和 0.1% 盐处理下,成熟叶、嫩叶和细根的 P 含量较低;在 0.2% 和 0.3% 盐处理下 P 含量较高;在 0.4% ,0.5% 盐以及对照处理下 P 含量处于中等。其原因可能是(1)一定质量分数的盐处理可能会导致土壤有效磷含量提高,进而促使苗木对 P 的吸收;(2)在低质量分数(0.05% 和 0.1%)盐处理和对照处理下,麻栎苗木生长较快(见表 1),叶片和细根中的 P 含量因为快速生长而可能被稀释(稀释效应);(3)在高质量分数(0.4% 和 0.5%)盐处理下,麻栎生长几乎完全停止,在一定程度上抑制了对 P 的吸收。

盐处理对苗木成熟叶和嫩叶的钾含量影响趋势比较一致,即在 0.2% 以上的盐质量分数处理下成熟叶和嫩叶中的 K 含量都高于低质量分数处理和对照处理。但是细根的 K 含量均是随着盐处理质量分数的提高而明显下降。在含盐量较高的土壤中,高质量分数的 Na 离子可能会阻碍根系对 K 的吸收,但麻栎叶片具有较高质量分数的 K,有利于调节气孔开闭,也有利于叶片保持水势,使叶片维持一定水平的光合作用,这在一定程度上可以说明麻栎具有一定的耐盐性。

表 3 还显示,土壤盐小于 0.3% 时,苗木成熟叶的 Na 含量都处于较低水平,当盐质量分数达到 0.4% 和 0.5% 时,成熟叶的 Na 含量会显著上升到 3 g/kg 以上。麻栎嫩叶中的 Na 含量变化情况与成熟叶相似,当土壤盐达到 0.4% 和 0.5% 时,嫩叶中的 Na 含量会显著上升到 4 g/kg 以上。麻栎苗木细根 Na 含量是随着土壤盐质量分数的增加而逐步增加。

### 3 结论

通过 1 个月的盐胁迫处理试验发现,麻栎苗木没有死亡,表明麻栎具有一定的耐盐性。当然,在 0.4% 和 0.5% 的土壤含盐量处理下,苗木叶片质量边缘会出现明显的失绿和干枯现象,低于 0.3% 盐质量分数处理的叶片形态比较正常。

高盐处理使麻栎新梢生长明显受抑,叶片的含水量、叶绿素含量和光合速率均会显著下降,而叶片相对电导率会显著升高。

土壤含盐量较高时,麻栎嫩叶中的 N 含量有所下降,但是嫩叶和成熟叶的 K 含量却提高;细根中的 K 含量随着土壤含盐量的提高而降低。

土壤含盐量在 0.3% 以下时,苗木成熟叶和嫩叶的 Na 含量都处于较低水平;土壤含盐量达 0.4% 以上时,叶片中的 Na 含量会显著上升;而细根中的 Na 含量是随着土壤含盐量的上升而逐步升高。

综合认为,土壤含盐(NaCl)量不高于 0.2% 时,麻栎能够正常生长;土壤含盐量达到 0.3% 左右时,麻栎的生长和生理会受到一定影响;土壤含盐量达 0.4% 或更高时,麻栎生长和生理均会受到明显的不利影响。

### 参考文献:

- [1] 张建锋. 盐碱地生态修复原理与技术[M]. 北京:中国林业出版社, 2008.
- [2] 陈长平,王文卿,林 鹏. 盐度对无瓣海桑幼苗的生长和某些生理生态特性的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(5): 457-461.
- [3] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant, Cell and Environment, 2002, 25(2): 239-250.
- [4] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社, 1993.
- [5] 俞仁培,陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 158-159.
- [6] 中国树木志编辑委员会. 中国主要树种造林技术[M]. 北京:中国林业出版社, 1981.
- [7] 刘志龙,虞木奎,唐罗忠,等. 麻栎资源研究进展及开发利用对策[J]. 中国林副特产, 2009(6): 93-96.
- [8] 赵 丹,诸葛强,唐罗忠,等. 麻栎的组织培养与快速繁殖[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 168-171.
- [9] 唐罗忠,赵 丹,诸葛强,等. 麻栎组织培养外植体选择与灭菌方法[J]. 江苏林业科技, 2010, 37(5): 22-25, 46.
- [10] 王 标,虞木奎,孙海菁,等. 盐胁迫对不同种源麻栎叶片光合特征的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1817-1824.
- [11] 徐 飞,郭卫华,徐伟红,等. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [12] 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等. 盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4): 1021-1029.
- [13] 贾亚雄,李向林,袁庆华,等. 披碱草属野生种质资源苗期耐盐性评价及相关生理机制研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 2999-3007.