

文章编号:1001-1498(2013)06-0790-05

盐胁迫对红楠幼苗生长及 Na^+ 、 K^+ 吸收和分布的影响

刘 军¹, 徐金良², 邹 军³, 陈文荣³, 姜景民^{1*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省开化县林场, 浙江 开化 234300;
3. 福建省国有来舟林业试验场, 福建 南平 353004)

关键词: 红楠; 盐胁迫; 生物量; 根系形态; 离子吸收
中图分类号: S722.3 文献标识码: A

Effects of Salt Stress on Seedling Growth of *Machilus thunbergii* and Na^+ , K^+ Absorption and Distribution

LIU Jun¹, XU Jin-liang², ZOU Jun³, CHEN Wen-rong³, JIANG Jing-min¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;
2. Kaihua County Forest Farm, Zhejiang Province, Kaihua 234300, Zhejiang, China;
3. Laizhou Experimental Forest Farm of Fujian Province, Nanping 353004, Fujian, China)

Abstract: In order to explore the salt tolerance mechanism of *Machilus thunbergii*, the effects of salt stress on seedling biomass, root morphology, sodium and potassium absorption and distribution were studied. The results showed that the above-ground biomass increased slightly under lower salt stress conditions, while the below-ground biomass, root length and root surface area showed a downtrend. The above-ground growth was limited under high concentration salt stress, while the under-ground growth was not subject to significant restrictions. The absorption of Na^+ in root increased under salt stress, but that of K^+ decreased. The ability of Na^+ transporting from root to leaf and stem was weakened. The accumulation of Na^+ in stem and leaves was less. With the decreased absorption of K^+ , the ratio of Na^+/K^+ also continuously increased. With the increased concentration of salt stress, the ability of K^+ absorption in roots increased. The ability of K^+ transporting from root to leaf and stem was enhanced, which resulted in significant increase of K^+ in the leaves and stem. The accumulation of Na^+ in the under-ground was significantly greater than that in above-ground, while the K^+ content in above-ground increased significantly, which played a key role in maintaining normal growth and metabolism of *M. thunbergii*.

Key words: *Machilus thunbergii*; salt stress; biomass; root morphology; ion absorption

土壤盐渍化是一个世界性的资源和生态问题,土壤中所含的盐分影响到植物的正常生长。根据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计,全世界盐渍土面积为 9.543 8 亿 hm^2 , 其中我国为 9 913 万

hm^2 , 占全国耕地面积的 6.62%^[1], 近年来更多的可用耕地受到盐渍化的威胁^[2]。我国的盐碱土广泛分布在长江以北的辽阔内陆地区, 以及辽东半岛、渤海湾和苏北滨海狭长地带, 浙江、福建、广东等沿海与

收稿日期: 2013-01-29

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项重大项目(201204307); 浙江省林木种苗与花卉产业技术创新战略联盟项目(2010LM202-5)

作者简介: 刘 军(1977—), 男, 山东泰安人, 助理研究员, 博士, 主要从事亚热带珍贵阔叶树种遗传改良研究。

* 通讯作者: jmjiaing6001@126.com

台湾省、南海诸岛的沿岸也有零星分布。我国东南沿海各省,滨海、潮滩盐土面积约 40 万 hm^2 ,该地区土壤盐碱化、生态系统脆弱、植被覆盖率低、适宜树种匮乏,基本处于荒芜状态,严重影响了环境的改善和经济的发展^[3-4]。

盐胁迫条件下会对植物产生伤害,主要表现为影响到植物体整个生命周期的生长和发育,导致植物整体或局部生物量的剧减和生理功能的紊乱^[5-6]。根系直接与土壤接触,是植物吸收养分和水分的重要器官,对盐胁迫更为敏感,更易对盐胁迫做出反应。因此根系的生长发育和分布直接决定盐胁迫条件下对植物的伤害程度^[7]。此外盐胁迫条件下 Na⁺、K⁺ 选择性吸收及原生质膜 Na⁺、K⁺ 交换,与植物耐盐性有重要关系^[8-9]。

红楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.) 为樟科 (Lauraceae) 润楠属 (*Machilus* Nees) 常绿阔叶乔木,集中分布于中国、日本、韩国、印度尼西亚等亚热带和暖温带地区,国内主要分布在长江流域及其以南地区,浙江、福建、山东、台湾和广东等东部沿海地区均有其天然分布。红楠主根较发达,对土壤要求不甚严格,能在土隙和瘠薄地生长^[10],有较强的耐盐和抗风能力^[11-13]。但目前国内外对红楠的研究主要集中在育苗^[14]、造林^[10]、群落^[15]和遗传改良^[16]等方面,未见有关红楠耐盐机理研究的报道。本文从苗期生长性状、根系形态以及 Na⁺、K⁺ 吸收和分布等角度,研究盐胁迫对红楠幼苗生长、生理等方面的影响,为揭示红楠耐盐机理提供理论依据。

1 试验地概况

试验地设在浙江富阳中国林科院亚热带林业研究所温室大棚内,其地理位置为 119°57' E, 30°4' N, 年平均气温 16.27 °C, 年平均相对湿度 68%, 年平均降水量 1 452.5 mm, 年平均日照时数 1 899.9 h, 年平均蒸发量 1 235.3 mm, 年平均无霜期 248 d, 常年主导风向为东南风。本地气候温和,日照充足,四季分明,雨水充沛,无冻害等灾害性气候,属亚热带季风性气候。

2 材料与方法

2.1 材料与试验设计

选取大小一致的红楠 1 年生实生苗用于本试验。采用盆栽砂培方法,塑料盆上口径为 25 cm, 下口径为 21 cm, 高度为 22 cm。于 2010 年 3 月移栽,

移栽前洗净根系周围的泥土,每盆种植 2 株。设置 3 个盐浓度梯度,分别为 50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 150 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl。每个处理 10 盆,重复 3 次。盐胁迫前用 Hoagland 营养液进行浇灌培养。5 月初开始,用含有 50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 150 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 的 Hoagland 营养液培养浇灌苗木,每 3 d 浇灌 1 次,每次用量为 300 mL,对照仅加 Hoagland 营养液培养,处理时间为 60 d。

2.2 生物量的测定

盐胁迫处理完毕,将红楠幼苗取出,用自来水清洗干净。然后将植株分为地上部和地下部两部分,分别装入干净纸质信封。先 100 °C 杀青 10 min, 再 70 °C 烘干 24 h。烘干后,用电子天平称其干质量。

2.3 根系形态测定

盐胁迫处理后,按不同盐处理水平,每重复内选取长势均匀的红楠幼苗 3 株,收集其完整的根系,用 EPSON V7000 根系扫描仪扫描根系,存储扫描图象,并利用根系分析系统 WinRHIZO2005 (<http://www.regentstruments.com/products/rhizo/Rhizo.html>) 对根系各形态指标进行分析,分别测定根系长度、根系表面积、根系体积和根系直径。

2.4 Na⁺、K⁺ 离子测定

按不同盐处理水平,每重复内选取长势均匀的红楠幼苗 3 株,将植株分为根系、茎秆、叶片 3 部分,先 100 °C 杀青 1 min, 再 70 °C 烘干 24 h。烘干后,用粉碎机将其打成粉末。过 40 目筛,精确称取 0.500 0 g 左右样品,浓 HNO₃ 法消煮,火焰原子吸收光谱法测定组织中 Na⁺、K⁺ 离子含量。根据 Pitman^[17]的方法计算 Na⁺、K⁺ 吸收和向上运输能力 ($S_{\text{Na}^+ \cdot \text{K}^+}$)。

2.5 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据处理,利用 DPS 11.50 软件进行方差分析及差异显著性检验。

3 结果与分析

3.1 盐胁迫对红楠幼苗生物量的影响

在盐胁迫条件下,植物根系首先感受盐胁迫信号,并产生相应的生理反应,继而影响地上部生长。由表 1 可以看出,低浓度 (50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 盐胁迫条件下,红楠幼苗地上部生物量稍有增加,地下部生物量和地下部生物量/地上部生物量呈下降趋势,但均未达到显著水平。随着盐处理浓度的提高,红楠幼苗地上部、地下部生物量明显下降。在低浓度盐胁迫

胁迫条件下,地下部生物量/地上部生物量比值下降,说明低浓度盐胁迫条件下,对红楠幼苗地下部生长影响较大,地上部还未受到明显的影响;随着盐处理

浓度的提高,其比值明显增加,说明在高浓度盐胁迫条件下红楠幼苗地上部生长受到明显抑制,而地下部为适应盐胁迫环境,其生长未受到明显的抑制。

表1 盐胁迫对红楠幼苗地上部、地下部生物量的影响

盐浓度/(mmol·L ⁻¹)	地上部生物量/(g·株 ⁻¹)	地下部生物量/(g·株 ⁻¹)	地上部生物量/地下部生物量
0(CK)	0.996 7±0.138 6a	0.387 8±0.051 7a	0.394 6±0.076 4ab
50	1.036 7±0.243 4a	0.305 6±0.019 2ab	0.303 3±0.054 6b
100	0.568 9±0.252 1b	0.264 4±0.036 0b	0.508 7±0.162 9a
150	0.438 9±0.202 2b	0.241 1±0.070 3b	0.578 6±0.109 4a

注:不同小写字母表示差异达5%显著水平。下同。

3.2 盐胁迫对红楠幼苗根系形态的影响

在盐胁迫条件下,植物的根系与盐分直接接触,因此根系的生长发育情况与植物的耐盐性必然存在着一定的联系。从表2可以看出,在盐胁迫条件下,红楠幼苗根系性状发生很大变化,其中变化明显的是根系长度和根系表面积,随着盐处理浓度的提高,根系长度和根系表面积显著减少。150 mmol·L⁻¹高浓度盐处理条件下,红楠幼苗根系长度和根系表

面积比对照明显减少,说明高浓度盐处理对根系长度和根系表面积有明显的抑制作用。随着盐处理浓度的提高,红楠幼苗根系体积和根系直径逐渐减少,但在150 mmol·L⁻¹高浓度盐处理下,根系体积和根系直径又有所增加,说明在高浓度盐胁迫条件下,根系体积和根系直径维持对照处理水平,以便适应盐胁迫环境,减少盐胁迫对其伤害。

表2 盐胁迫对红楠幼苗根系形态的影响

盐浓度/(mmol·L ⁻¹)	根系长度/cm	根系表面积/cm ²	根系体积/cm ³	根系直径/mm
0(CK)	332.266±24.252A	68.082±5.152A	1.195±0.288a	0.703±0.039a
50	277.521±28.385AB	51.399±2.671AB	0.882±0.157ab	0.682±0.052a
100	226.899±44.668B	41.941±9.224B	0.538 2±0.322 3b	0.554±0.067b
150	224.087±20.315B	47.004±5.532B	0.864±0.220 5ab	0.693±0.072a

注:不同大写字母表示差异达1%显著水平。

3.3 盐胁迫对Na⁺、K⁺吸收和分布的影响

3.3.1 盐胁迫对Na⁺吸收和分布的影响 从图1可以看出,随着盐处理浓度的提高,红楠幼苗叶片、茎秆和根系不同组织器官Na⁺含量基本呈上升趋势。由于根系直接与土壤中的盐分接触,所以根系具有较强的Na⁺吸收能力。当盐浓度为100 mmol·L⁻¹时,根系中Na⁺含量迅速增加;当盐浓度达到150 mmol·L⁻¹时,根系中Na⁺含量最大,但两种盐浓度(100 mmol·L⁻¹和150 mmol·L⁻¹)间Na⁺含量差异不显著,表明红楠幼苗为减少Na⁺对根系的损伤,控制了对Na⁺的吸收。随着盐处理浓度的提高,叶片和茎秆Na⁺增加较少,说明红楠幼苗为防止盐离子对地上部的伤害,控制了Na⁺向地上部的运输。

3.3.2 盐胁迫对K⁺吸收和分布的影响 由图2可以看出,在低浓度盐胁迫条件下,红楠幼苗叶片和根系K⁺含量呈下降趋势;当盐浓度达到150 mmol·L⁻¹时,叶片和根系K⁺含量增加,说明红楠幼苗为适应高盐度环境,根系对K⁺吸收能力增强,同时提高

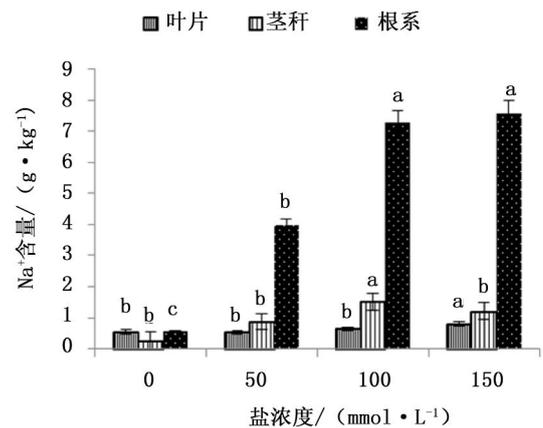


图1 盐胁迫条件下红楠幼苗不同组织器官Na⁺分布特征

了K⁺向叶片的运输能力。随着盐处理浓度的提高,红楠幼苗茎秆K⁺含量显著增加,说明在盐胁迫条件下,根系向茎秆转运K⁺能力增强。

3.3.3 盐胁迫对Na⁺/K⁺比值的影响 由图3可以看出,在低浓度盐胁迫条件下,随着盐处理浓度的

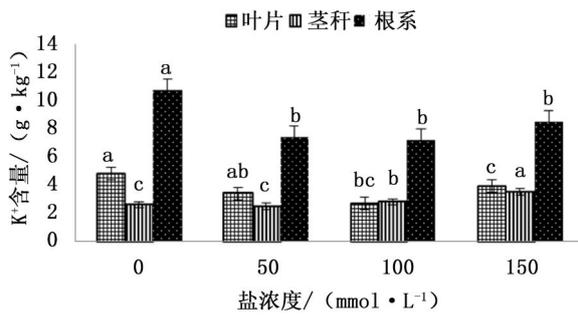


图2 盐胁迫条件下红楠幼苗不同组织器官 K⁺ 分布特征

提高,Na⁺/K⁺ 比值逐渐升高,表明盐胁迫环境中,红楠幼苗根系吸收了大量的 Na⁺,并向地上部运输;而红楠幼苗对 K⁺ 吸收逐渐减少,从而导致 Na⁺/K⁺ 比值不断增加。当盐浓度达到 150 mmol · L⁻¹ 时,红楠幼苗为减少盐胁迫对其伤害,根系增加了对 K⁺ 吸收,同时提高了向地上部运输能力,各组织器官 K⁺ 积累量增加,Na⁺/K⁺ 比值下降。

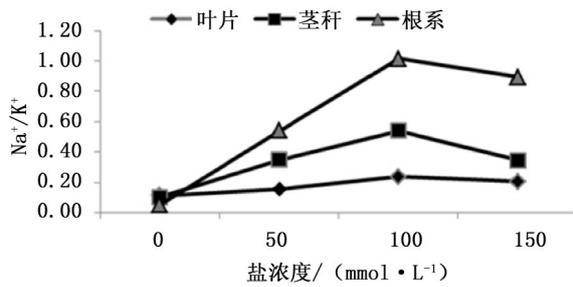


图3 盐胁迫条件下红楠幼苗不同组织器官 Na⁺/K⁺ 比值变化

3.3.4 盐胁迫对 Na⁺、K⁺ 吸收和向上运输能力的影响 通过对 Na⁺、K⁺ 吸收和向上运输能力的分析得出(图4),随着盐处理浓度的提高,S_{Na⁺·K⁺} 逐渐减小,说明盐胁迫条件下,红楠幼苗为适应盐胁迫环境,减少了 Na⁺ 的吸收,降低了向上运输的能力;同时增强了对 K⁺ 的吸收,提高了向上运输 K⁺ 的能力。

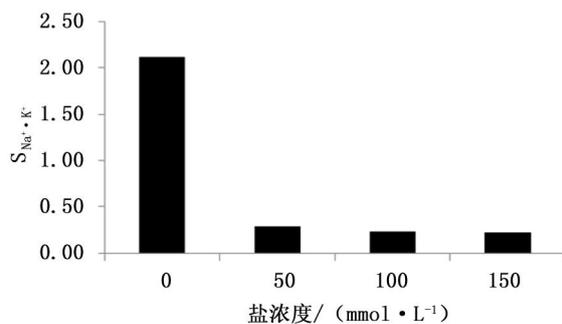


图4 盐胁迫条件下红楠幼苗 Na⁺、K⁺ 吸收和向上运输能力

4 讨论

红楠广泛分布在中国东部沿海地区,适应于海涂和山地的环境,具有较强的耐盐性。本文研究表明,在低浓度盐胁迫条件下,红楠幼苗地上部生物量稍有增加,地下部生物量呈下降趋势;高浓度盐胁迫条件下,地上部生长受到明显抑制,而地下部生长未受到明显的抑制。在低浓度盐胁迫条件下其研究结果虽与其它树种如麻疯树(*Jatropha curcas* L.)^[18] 和弗吉尼亚栎(*Quercus virginiana* Mill.)^[7] 研究结果类似,但在高浓度盐胁迫条件下,与弗吉尼亚栎研究结果不同,这主要与红楠叶片宽厚,占地上部比例较大,高浓度盐胁迫后叶片黄化和脱落,导致其地上部生物量明显下降。

根系是植物重要的营养器官,从土壤中吸收水分和养分,而根系吸收功能与根系的形态和分布等相关^[19]。由于植物的根系与土壤环境直接接触,根系对土壤环境较为敏感,能对土壤环境做出响应^[20]。所以根系的生长发育情况与植物的耐盐性之间必然存在着一定的联系。Srinivasarao 等^[21] 和 Yao 等^[22] 分别开展了盐胁迫对蚕豆(*Vicia faba* L.) 和西红柿(*Solanum lycopersicum* L.) 根系形态影响的研究,发现盐胁迫可以抑制根系的伸长和侧根发育,使根系总长、根系表面积、根系体积等参数有所下降。本研究中发现,随着盐处理浓度的提高,红楠幼苗根系长度和根系表面积显著减少;但在高浓度盐处理下,根系体积和根系直径又有所增加。说明高浓度盐胁迫能促进红楠幼苗根系的生长发育,提高根系对矿质元素的吸收,进一步防止盐胁迫对地上部的伤害。

植物可通过离子区隔化、选择性吸收、渗透调节等的诱导等来维持细胞内正常的渗透压,从而减小盐胁迫对自身造成的伤害^[23]。王宝山等^[24] 研究发现植物的耐盐性与地上部对 Na⁺ 积累的限制力和低 Na⁺/K⁺ 比值保持能力相关。耐盐植物根系吸收的 Na⁺ 较少运输到地上部,Na⁺ 多积累在根系中;为维持植物的正常生长,植物根系选择性吸收 K⁺ 并将 K⁺ 转运至地上部。本研究中随着盐浓度的提高,红楠幼苗根系吸收了大量的 Na⁺,同时控制了 Na⁺ 向地上部的运输,叶片和茎秆 Na⁺ 积累较少。在高盐度环境中,根系对 K⁺ 吸收能力增强,叶片和茎秆 K⁺ 含量显著增加,较高浓度的 K⁺ 是红楠幼苗表现出较强耐盐性的原因之一。由于 Na⁺ 和 K⁺ 具有相似的

水合能和离子半径,导致 Na^+ 对 K^+ 的吸收有较强的限制作用。 Na^+ 竞争 K^+ 的吸收位点,从而导致植物吸收 K^+ 的能力下降^[25]。本研究结果显示,低浓度盐胁迫条件下红楠幼苗根系 Na^+/K^+ 比值不断增加,说明 Na^+ 竞争性高于 K^+ 。在高盐度环境中,红楠幼苗为减少盐胁迫对其伤害,根系增加了对 K^+ 吸收,同时提高了向地上部运输能力, Na^+/K^+ 比值呈下降趋势。

参考文献:

- [1] 杨劲松. 作物对不同盐碱胁迫和调控条件的响应特征与抗盐性调控研究[D]. 南京:南京农业大学,2006:4-11
- [2] Wolf B F, Uwe L, Doris R. Taking transgenic plants with a pinch of salt[J]. Science, 1999, 20 (285):1222-1223
- [3] 全国盐碱土绿化开发协作组. 中国盐碱地绿化造林与可持续发展研讨会论文集[C]. 北京:中国环境科学出版社,1992
- [4] 刘 萍,魏雪莲. 耐盐碱乔木在盐碱地环境中的应用概况[J]. 山东林业科技, 2005(6): 60-61
- [5] Cha-um S, Supaibulwatana K, Kirdmanee C. Water relation, photosynthetic ability and growth of Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica* cv. KDML 105) to salt stress by application of exogenous glycinebetaine and choline? [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2006, 192(1):25-36
- [6] Hediye S, Ismail T, Susumu T. Differential responses of antioxidative enzymes and lipid peroxidation to salt stress in salt-tolerant *Plantago maritime* and salt-sensitive *Plantago media* [J]. Physiologia Plantarum, 2007, 131(3):399-411
- [7] 王树凤,胡韵雪,李志兰,等. 盐胁迫对弗吉尼亚栎生长及矿质离子吸收、运输和分配的影响[J]. 生态学报,2010,30(17):4609-4616
- [8] 王 忠. 植物生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:457-459
- [9] Niu X, Bressan R A, Hasegawa P M, et al. Ion homeostasis in NaCl stress environments [J]. Plant physiology, 1995, 109(3):736-742
- [10] 胡小平,叶增新,陶义贵. 红楠播种育苗与造林技术[J]. 中国林副特产,2009(2): 61-62
- [11] 张智奇,张建军,周 音,等. 樟科树种资源的开发利用[J]. 上海农业学报,2004,20(4): 70-74
- [12] 徐耀庭,严流春,熊金铭,等. 红楠的品种特征和繁育技术[J]. 林业科技开发, 2003,17(6): 61-62
- [13] 江明艳,陈其兵,潘远志. 我国樟科植物的园林应用前景[J]. 西南园艺,2004,32(3):16-19
- [14] 邵春荣,周芳勇,魏 斌,等. 红楠播种育苗试验研究[J]. 林业科技开发,2007,21(2):73-76
- [15] 廖承川,李成惠. 浙江九龙山自然保护区红楠群落特征及种群动态的研究[J]. 福建林业科技,2007,34(4):129-133
- [16] Kim C S, Cho R M, Kim W W. Heritabilities for height and diameter at root collar and delermentation of proportion of selection for estimation of genetic gain in 4-year-old open-pollinated progenies of *Machilus thunbergii* [R] // Institute of Forest Genetics, Korea . The research report of the Institute of Forest Genetics No. 28. Suwon, Kyonggido; Institute of Forest Genetics, Forestry Administration,1992:40-47
- [17] Pitman M G. Transport across the root and shoot/root interaction [C]// Pitman M G. Salinity tolerance in plant - strategies for crop improvement. New York; John, Wiley and Sons, 1984:93-123
- [18] 陈健妙,郑青松,刘兆普,等. 麻疯树(*Jatropha curcas* L.) 幼苗生长和光合作用对盐胁迫的响应[J]. 生态学报,2009,29(3):1356-1365
- [19] 张 玲,李俊梅,王焕校. 镉胁迫下小麦根系的生理生态变化[J]. 土壤通报,2002,33(1):61-65
- [20] Lynch J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant Physiology,1995,109(1):7-13
- [21] Srinivasarao C H, Benzioni A, Eshel A, et al. Effects of salinity on root morphology and nutrient and acquisition by faba beans (*Vicia faba* L.) [J]. Journal of the Indian Society Science, 2004, 52(2):184-191
- [22] Yao J, Shi W M. Effect of salt stress on structure and growth of tomato seedling roots[J]. Soils, 2008,40(2):279-282
- [23] 毛桂莲,许 兴,徐兆桢. 植物耐盐生理生化研究进展[J]. 中国生态农业学报,2004,12(1):43-46
- [24] 王宝山,邹 琦,赵可夫. NaCl 胁迫对高粱不同器官离子含量的影响[J]. 作物学报,2000,26(6):845-850
- [25] 刘友良,汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性[M]//余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学. 2版. 北京:科学出版社,1998:752-769