

盐胁迫对望春玉兰幼苗形态和相关生理指标的影响

沈徐悦¹, 张 浪², 陈蓉蓉¹, 申亚梅¹, 金荷仙¹

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300; 2. 上海市园林科学规划研究院, 上海 200232)

摘要: 【目的】探讨盐胁迫对望春玉兰 *Magnolia biondii* 幼苗形态和相关生理指标的影响, 并筛选盐胁迫下的指示性生理指标, 为木兰科 Magnoliaceae 植物的耐盐性评价与筛选优质种质资源提供理论依据。【方法】以望春玉兰 1 年生实生苗为材料, 采用水培法, 测定 200 mmol·L⁻¹ 氯化钠胁迫下叶片的相对电导率、丙二醛质量摩尔浓度、叶绿素质量分数、渗透调节物质质量分数和抗氧化酶活性, 通过主成分分析筛选关键生理指标。【结果】随着盐胁迫时间的延长, 可溶性糖质量分数、相对电导率、丙二醛质量摩尔浓度和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性总体呈上升趋势; 可溶性蛋白质质量分数、脯氨酸质量分数、叶绿素质量分数和过氧化物酶 (POD) 活性总体呈先上升后下降的趋势。利用主成分分析法筛选出 3 个指示性指标, 分别为丙二醛质量摩尔浓度、可溶性糖质量分数和 SOD 活性。【结论】氯化钠胁迫引起望春玉兰幼苗叶片丙二醛质量摩尔浓度、可溶性糖质量分数和 SOD 活性显著变化, 可作为指示性生理指标用于评价氯化钠胁迫下望春玉兰等木兰科植物的耐盐性强弱。图 4 表 2 参 19

关键词: 植物学; 望春玉兰; 氯化钠胁迫; 生理响应; 主成分分析; 指示性指标

中图分类号: S718.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2021)02-0289-07

Effect of NaCl stress on the morphology and related physiological indexes of *Magnolia biondii* seedlings

SHEN Xuyue¹, ZHANG Lang², CHEN Rongrong¹, SHEN Yamei¹, JIN Hexian¹

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Shanghai 200232, China)

Abstract: [Objective] With an investigation conducted of the effects of NaCl stress on the morphology and related physiological indexes of *Magnolia biondii* seedlings and the physiological indexes indicating the NaCl stress screened, this paper is aimed to provide a theoretical basis for the evaluation of the salt tolerance of Magnoliaceae and the selection of high-quality germplasm resources. [Method] Firstly, the hydroponic culture experiment was done with *M. biondii* 1-year-old seedlings with the effects of NaCl stress under 200 mmol·L⁻¹ on relative electrical conductivity, MDA contents, chlorophyll contents, osmotic substances and antioxidant enzyme activities in leaves tested, after which the principal component analysis was conducted to screen key physiological indexes. [Result] With the increase of treatment time, the soluble sugar content, relative electric conductivity, MDA content and SOD activity increased. The soluble protein content, Pro content, chlorophyll content and POD activity first increased and then decreased. The three indicative physiological indexes screened by principal component analysis were MDA content, soluble sugar content and SOD activity. [Conclusion]

收稿日期: 2020-07-17; 修回日期: 2020-11-03

基金项目: 上海市园林科学规划研究院合作课题 (H20180177); 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心建设专项 (16dz2251400); 上海市科委科研计划项目 (19DZ1203300); 浙江省重点研发项目 (2019C02023); 浙江省“十三五”林木新品种选育资助项目 (2016C02056-12)

作者简介: 沈徐悦 (ORCID: 0000-0002-0004-1043), 从事园林植物应用与育种研究。E-mail: 362241944@qq.com。
通信作者: 金荷仙 (ORCID: 0000-0002-3752-3097), 研究员, 从事康复花园、寺观园林、植物景观规划设计研究。E-mail: lotusjhx@zafu.edu.cn

The MDA content, soluble sugar content and SOD activity underwent significant changes under NaCl stress, and they could be used as key physiological indexes in the evaluation of the salt tolerance of Magnoliaceae such as *M. biondii*. [Ch, 4 fig. 2 tab. 19 ref.]

Key words: botany; *Magnolia biondii*; NaCl stress; physiology responses; principal component analysis; indicative indexes

土壤盐碱化是当今世界性的资源和生态问题^[1],是限制农林业发展的主要因素之一^[2]。中国现有盐碱土面积 3 600 万 hm^2 ,主要分为滨海盐碱土区、黄淮海平原盐碱土区、西北半干旱盐碱土区和干旱盐碱土区以及东北盐碱土区^[3],其中滨海盐碱土区是中国重要的盐碱地土地类型,涵盖大部分沿海地区,分布范围较广^[4]。滨海盐碱地土壤含盐量过高,盐分组成以氯化物为主^[5],能够适应生存的植物种类较少,常选用木麻黄 *Casuarina equisetifolia*、乌桕 *Sapium sebiferum* 等耐盐人工植被^[6]和怪柳属 *Tamarix* 先锋树种^[7]绿化造林,而深根、肉质根系、喜酸性土壤的木兰科 Magnoliaceae 植物较少应用。望春玉兰 *Magnolia biondii* 系木兰科木兰属 *Magnolia* 多年生落叶乔木,为木兰科植物中典型的春花乔木,园林绿化效果好,应用前景广阔。目前,对望春玉兰的研究主要侧重于抗寒性^[8]、花色^[9]及其花蕾“辛夷”的应用研究^[10]上,而其耐盐性方面研究极少。为明确木兰科植物在滨海盐碱土种植的可能性,根据预试验的结果,选择望春玉兰为对象,采用水培法研究了氯化钠胁迫对 1 年生实生苗形态和生理指标的影响,并探讨了对氯化钠胁迫具有指示性的生理指标,为木兰科植物的耐盐性评价及耐盐树种或品种的筛选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以望春玉兰 1 年生实生苗为材料,于 2019 年 4 月定植于上口径 6 cm、下口径 5 cm、高 8 cm 的塑料盆中,栽培基质为泥炭土、珍珠岩、蛭石(体积比 1:1:1),每盆 1 株。定植后的苗木置于浙江农林大学平山基地温室中,进行常规管理。待幼苗高生长约 10 cm 时,挑选生长一致的幼苗转移至浙江农林大学风景园林与建筑学院智能温室中,温室培养条件为光照强度 2 200~3 000 lx,光照 14 h·d⁻¹,白天温度 28 ℃,夜间温度 25 ℃,空气相对湿度 68%~75%。幼苗经去土洗净根系后置于上口径 6 cm、下口径 6 cm、高 14 cm 的玻璃培养瓶中,每瓶 1 株,采用 1/2 Hoagland 营养液进行水培,水培过程中隔 3 d 更换 1 次 1/2 Hoagland 营养液,不通气。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 待幼苗恢复正常生长后,选取叶片数为 7~8 片的幼苗,于 2019 年 7 月开始进行盐胁迫处理。根据预试验结果,选取盐胁迫下苗木有明显胁迫反应,又不至于生长明显受到抑制的临界浓度作为试验浓度,设置 0(对照组)和 200 mmol·L⁻¹(试验组)2 个氯化钠浓度处理,每处理 5 株,重复 3 次。在处理期间以设定的氯化钠浓度隔 3 d 更换 1 次培养液,于盐胁迫后的第 1、3、5、7、9 天清晨,采集各处理植株从下至上的第 3 位至第 7 位叶片,每处理 5 株植株的叶片混合后进行相应生理指标测定。

1.2.2 盐胁迫伤害调查 分别于盐胁迫后第 1、3、5、7、9 天观察植株叶片的受害程度,将盐害症状分为 5 个级别。①0 级:叶片颜色和生长正常;②1 级:少量叶尖、叶缘变黄;③2 级:部分叶尖变黄萎蔫,少量叶片脱落;④3 级:大部分叶片变黄,萎蔫干枯,有明显落叶;⑤4 级:叶片脱落较(极)严重。

1.2.3 叶片生理指标测定 生理指标的测定参照李合生^[11]的方法,叶绿素采用乙醇提取法测定,质膜相对透性采用电导率法测定,丙二醛采用硫代巴比妥酸法测定,可溶性糖采用蒽酮比色法测定,可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定,脯氨酸采用酸性茚三酮法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法测定,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 处理数据、绘图,利用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析、相关性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对望春玉兰幼苗伤害情况调查

观察望春玉兰幼苗叶片受伤害程度(图 1)可知:随着盐胁迫时间的延长,望春玉兰的受害症状加重。在胁迫的第 1 天,叶片颜色和生长正常,在胁迫第 3、5、7 天时受害症状为 1 级,少量叶尖、叶缘变黄;在胁迫的第 9 天受害症状为 2 级,部分叶尖变黄萎蔫,少量叶片脱落。

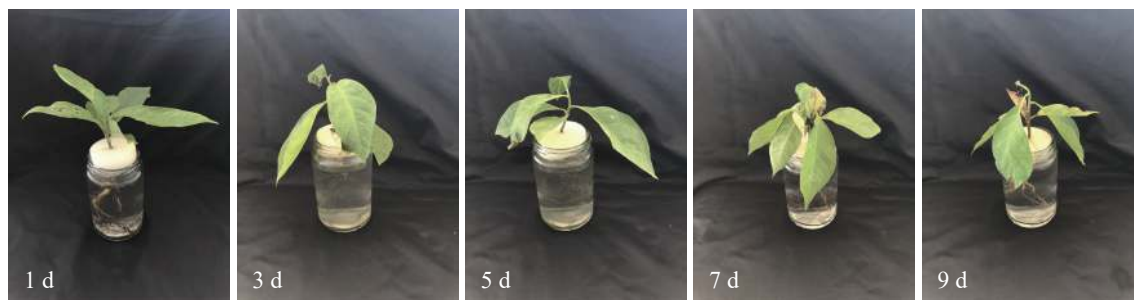
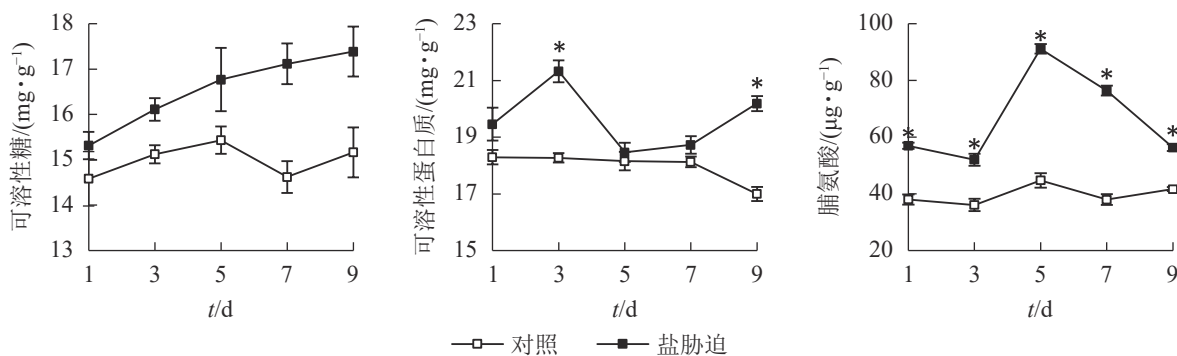


图 1 盐胁迫下望春玉兰受害症状调查

Figure 1 Survey on the symptoms of salt damage of *M. biondii* under NaCl stress

2.2 盐胁迫对叶片渗透调节物质的影响

可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸等物质是植物体内重要的渗透调节物质,能减轻植物在胁迫条件下受到的伤害。由图 2 可以看出:盐胁迫下,望春玉兰叶片的可溶性糖质量分数呈逐渐上升趋势;可溶性蛋白质质量分数随着盐胁迫时间的延长,总体呈先上升后下降的趋势,在盐胁迫处理的第 3、9 天,与对照组相比,差异显著($P < 0.05$);脯氨酸质量分数随着胁迫时间的延长,总体呈先上升后下降的趋势,且在胁迫处理的时间范围内始终与对照组差异显著($P < 0.05$)。



数据为平均值±标准误。*表示盐胁迫与对照之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 盐胁迫下叶片可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸的变化

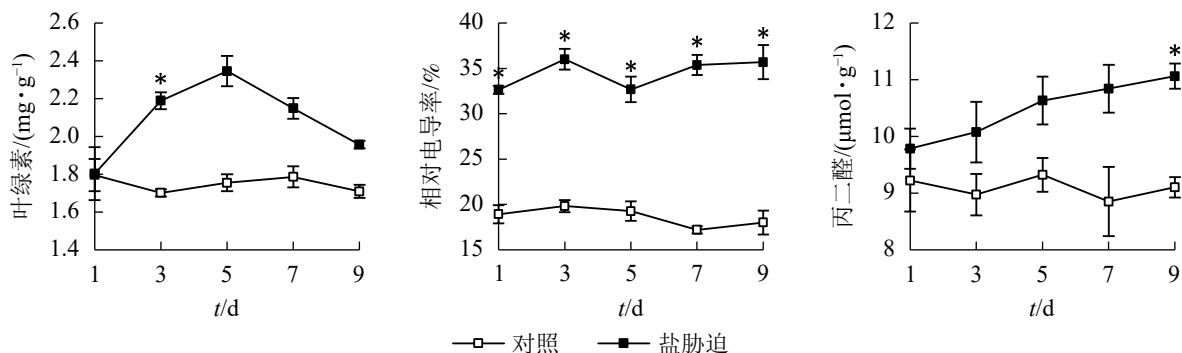
Figure 2 Changes of soluble sugar content, soluble protein content and Pro content in leaves under NaCl stress

2.3 盐胁迫对叶绿素及叶片细胞膜透性的影响

从图 3 可见:盐胁迫下,望春玉兰叶片的叶绿素质量分数呈先上升后下降的趋势,在盐胁迫的第 3 天与对照组相比,差异显著($P < 0.05$)。望春玉兰叶片的相对电导率在盐胁迫下呈波动上升的趋势,在胁迫末期保持稳定,且在盐胁迫处理的时间范围内均与对照组差异显著($P < 0.05$)。望春玉兰叶片的丙二醛质量摩尔浓度随着盐胁迫时间的延长呈上升趋势,在盐胁迫的第 9 天与对照组差异显著($P < 0.05$)。

2.4 盐胁迫对抗氧化酶活性的影响

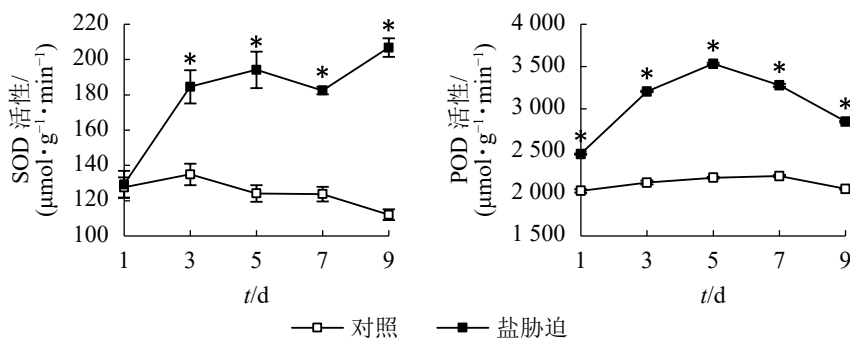
SOD 是植物体内防御氧化逆境下自由基形成的关键酶,是植物防御体系的第 1 道防线^[12],POD 是植物体内酶促防御系统的重要保护酶类,用于清除植株体内过多的活性氧^[13]。图 4 结果显示:望春玉兰叶片的 SOD 活性随着盐胁迫时间的延长呈逐渐上升的趋势,且在胁迫处理的第 3、5、7、9 天均与对照组差异显著($P < 0.05$);POD 活性随着盐胁迫时间的延长呈先上升后下降的趋势,且在胁迫处理的时间范围内均与对照组差异显著($P < 0.05$)。



数据为平均值±标准误。*表示盐胁迫与对照之间差异显著 ($P < 0.05$)

图3 盐胁迫下叶片叶绿素、相对电导率和丙二醛的变化

Figure 3 Changes of chlorophyll content, relative conductivity and MDA content in leaves under NaCl stress



数据为平均值±标准误。*表示盐胁迫与对照之间差异显著 ($P < 0.05$)

图4 盐胁迫下叶片 SOD 和 POD 活性的变化

Figure 4 Changes of SOD activity and POD activity in leaves under NaCl stress

2.5 盐胁迫生理指标的相关性分析和主成分分析

对望春玉兰的 8 个生理指标进行相关性分析 (表 1) 表明: 可溶性糖与相对电导率呈显著相关 ($P < 0.05$), 与丙二醛呈极显著相关 ($P < 0.01$); 叶绿素与 POD 活性呈极显著相关 ($P < 0.01$)。

对望春玉兰 8 个生理指标进行主成分分析 (表 2) 可知: 前 2 个主成分的累计贡献率达 78.892%, 可以概括原指标的绝大多数数据信息。望春玉兰的第 1 主成分主要为丙二醛、可溶性糖和超氧化物歧化酶, 第 2 主成分主要为可溶性蛋白质和脯氨酸。

表 1 盐胁迫下望春玉兰叶片生理指标的相关系数

Table 1 Correlation matrix of physiological indexes of *M. biondii* under NaCl stress

	相对电导率	丙二醛	叶绿素	可溶性糖	可溶性蛋白	脯氨酸	SOD	POD
相对电导率	1							
丙二醛	0.868	1						
叶绿素	-0.071	0.297	1					
可溶性糖	0.906*	0.966**	0.100	1				
可溶性蛋白	0.260	0.139	-0.090	0.002	1			
脯氨酸	0.006	0.255	0.484	0.305	-0.873	1		
SOD	0.502	0.818	0.460	0.680	0.356	0.047	1	
POD	0.019	0.407	0.982**	0.238	-0.205	0.610	0.512	1

说明: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)

3 讨论

盐胁迫环境中盐分离子的浓度过高会导致植物根系吸收水分困难, 引发渗透胁迫^[14]。植物通过可溶性蛋白质、可溶性糖和脯氨酸等小分子有机物的合成和积累以降低水势, 维持水分平衡。本研究中, 望

表 2 盐胁迫下望春玉兰叶片生理指标的主成分分析

Table 2 Principal component analysis of physiological indexes of *M. biondii* under NaCl stress

指标	主成分1	主成分2	指标	主成分1	主成分2
相对电导率	0.721	0.549	脯氨酸	0.425	-0.793
丙二醛	0.958	0.260	超氧化物歧化酶	0.837	0.207
叶绿素	0.549	-0.616	过氧化物酶	0.651	-0.640
可溶性糖	0.882	0.292	特征值	3.821	2.491
可溶性蛋白	0.023	0.759	贡献率/%	47.758	31.134

春玉兰叶片的可溶性糖质量分数随盐胁迫时间的延长呈逐渐上升的趋势，而可溶性蛋白质和脯氨酸质量分数总体呈先上升后下降的趋势，但始终高于对照。不同植物选择的主要有机渗透调节物质存在差异^[15]，本研究表明：盐胁迫后期望春玉兰主要是通过提高可溶性糖质量分数进行渗透调节的。

当盐胁迫超出细胞渗透调节作用的上限时，细胞膜会受到损伤。本研究中，随着胁迫时间的延长，望春玉兰叶片的叶绿素质量分数先升高后降低，说明胁迫初期植物通过促进自身叶绿素的合成以适应盐胁迫环境，但在长时间的盐胁迫下，过量的盐进入植物细胞，使叶绿素分解^[16]，这可能与细胞渗透调节能力下降有关。而叶片的相对电导率和丙二醛质量摩尔浓度均呈上升趋势，在胁迫结束时均较对照有显著的提高。说明在盐胁迫条件下，植物体膜结构不断膜脂过氧化，加剧细胞膜受损伤的程度。

盐胁迫下植物体内氧化还原体系的平衡被破坏，诱导产生对植物的生理功能具有破坏作用的活性氧，植物体通过提高超氧化物歧化酶、过氧化物酶等活性氧清除剂的活性以维持植物体内活性氧代谢平衡，维护膜结构完整性。本研究中，望春玉兰叶片的超氧化物歧化酶活性随胁迫时间的延长呈逐渐上升的趋势，过氧化物酶活性呈先升高后下降的趋势。表明在胁迫前期 2 种酶共同参与清除活性氧，缓解氧化伤害的活动，而到胁迫后期植物体主要通过增加超氧化物歧化酶活性以增强细胞内活性氧的清除能力，保护膜系统。

盐胁迫对植物叶片生理指标的伤害表现在形态上为叶形叶色的变化。在胁迫的第 1 天，望春玉兰正常生长，各项生理指标均呈上升趋势；在胁迫的第 3 天后，望春玉兰叶片开始变黄；在胁迫的第 9 天，即胁迫结束时，叶片开始脱落，此时叶绿素、可溶性蛋白质、脯氨酸、过氧化物酶较前期均有所下降。

植物的耐盐性是复杂的生理生化过程，其耐盐机制涉及多种生理生化的协调作用^[17-19]。本研究主成分分析得出：盐胁迫下望春玉兰的丙二醛质量摩尔浓度、可溶性糖质量分数和超氧化物歧化酶活性具有绝对值较大的负荷系数。说明这 3 个指标可能是望春玉兰受到盐胁迫时起关键作用的生理指标，这 3 个指标在盐胁迫下的生理表现也一致。

由于植物耐盐性受多基因控制，不同生长发育阶段及生态环境条件下，基因表达存在差异，耐盐性强弱表现也不同。而本研究采用水培法对 1 年生幼苗进行盐胁迫处理，所用望春玉兰植株偏小，未进行不同大小植株的比较，因此结果不能完全代替成株期的抗盐性情况。且本研究选用的氯化钠浓度为望春玉兰的耐盐临界浓度，与各地滨海盐渍土的实际含盐量存在一定的差异。因此，还需在植物的各个生长阶段采用大田试验进一步验证，以获得更加客观的耐盐性评价结果。

4 结论

望春玉兰体内的各项生理指标对盐胁迫均有一定的响应。盐胁迫下望春玉兰幼苗的相对电导率和丙二醛质量摩尔浓度持续增加，可溶性蛋白质、脯氨酸、叶绿素质量分数与过氧化物酶活性在短期胁迫下能有所上升以减缓盐害，而可溶性糖质量分数和超氧化物歧化酶活性在长时间的胁迫下仍能保持较高水平以进行渗透保护和清除活性氧等活动，从而减弱细胞膜损伤程度。对耐盐性生理指标的主成分分析发现：丙二醛质量摩尔浓度、可溶性糖质量分数、超氧化物歧化酶活性对望春玉兰的指示性最强，可以作为望春玉兰等木兰科植物盐胁迫耐性强弱的主要生理指标。

5 参考文献

- [1] 张蓉蓉. 陕西渭北农田土壤盐碱化空间分布及影响因素[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
ZHANG Rongrong. *Spatial Distribution and Influencing Factors of Farm and Soil Salinization in Weibei Area of Shaanxi Province*[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.
- [2] 陈阳, 王贺, 张福锁, 等. 硅盐互作下小瘿毛植物体内元素分布及生理特性的研究[J]. *植物生态学报*, 2003, **27**(2): 189 – 195.
CHEN Yang, WANG He, ZHANG Fusuo, *et al.* The effects of silicon on ionic distribution and physiological characteristic of *Aeluropus pungens* under salinity conditions [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2003, **27**(2): 189 – 195.
- [3] 孙玉芳, 宋福强, 常伟, 等. 盐碱胁迫下 AM 真菌对沙枣苗木生长和生理的影响[J]. *林业科学*, 2016, **52**(6): 18 – 27.
SUN Yufang, SONG Fuqiang, CHANG Wei, *et al.* Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiology of *Elaeagnus angustifolia* seedlings subjected to salinity stress [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, **52**(6): 18 – 27.
- [4] 薛腾笑. 3 种连翘苗木抗盐性评价及生理生化特性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
XUE Tengxiao. *Evaluation of Salt Tolerance and Physiological-biochemical Characteristics of Three Forsythia Seedlings*[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2018.
- [5] 赵名彦. 滨海盐碱地造林技术与效果研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
ZHAO Mingyan. *Study on Afforestation and its Effects in Coastal Saline-alkaline Land*[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011.
- [6] 张建锋, 张德顺, 陈光才, 等. 上海滨海滩涂盐生植物分布及其生物量调查研究[J]. *江西农业学报*, 2015, **27**(2): 26 – 29, 36.
ZHANG Jianfeng, ZHANG Deshun, CHEN Guangcai, *et al.* Investigation on distribution and biomass of halophytes at beach in Shanghai [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2015, **27**(2): 26 – 29, 36.
- [7] 魏凤巢, 夏瑞妹, 沈哲东. 上海市滨海盐渍土改良技术的研究与实践[J]. *中国园林*, 2008, **24**(2): 85 – 89.
WEI Fengchao, XIA Ruimei, SHEN Zhedong. Research and practice on amelioration technologies of coastal saline soil in Shanghai [J]. *Chin Landscape Archit*, 2008, **24**(2): 85 – 89.
- [8] 梁大伟, 马履一, 贾忠奎, 等. 自然降温对红花玉兰抗寒生理指标的影响[J]. *林业科技开发*, 2010, **24**(2): 23 – 26.
LIANG Dawei, MA Lüyi, JIA Zhongkui, *et al.* Study on the influences of naturel cooling on the cold tolerance physiological indicators of *Magnolia wufengensis* [J]. *China For Sci Technol*, 2010, **24**(2): 23 – 26.
- [9] 王宁杭. 望春玉兰花瓣类黄酮组成及转录组分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
WANG Ninghang. *The Flavonoid Components and Transcriptome Analysis of Magnolia biondii*[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2019.
- [10] 刘星, 单杨. 辛夷的提取、应用及其品质评价研究进展[J]. *食品工业科技*, 2011, **32**(11): 506 – 510.
LIU Xing, SHAN Yang. Research of magnolia extraction, application and quality assessment [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011, **32**(11): 506 – 510.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 罗娅, 汤浩茹, 张勇. 低温胁迫对草莓叶片 SOD 和 AsA-GSH 循环酶系统的影响[J]. *园艺学报*, 2007, **34**(6): 1405 – 1410.
LUO Ya, TANG Haoru, ZHANG Yong. Effect of low temperature stress on activities of SOD and enzymes of ascorbate-glutathione cycle [J]. *Acta Horti Sin*, 2007, **34**(6): 1405 – 1410.
- [13] 王玉萍, 于丹, 李成, 等. 壳聚糖对盐胁迫下小麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, **34**(1): 180 – 185.
WANG Yuping, YU Dan, LI Cheng, *et al.* Effect of chitosan on seed germination and seedling physiological characters of wheat under salt stress [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2016, **34**(1): 180 – 185.
- [14] 陈闻, 王晶, 吴海平, 等. 5 种海岛典型园林绿化植物的耐盐性[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, **34**(2): 283 – 293.
CHEN Wen, WANG Jing, WU Haiping, *et al.* Salt tolerance of 5 typical landscape plant species in Zhoushan Islands [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(2): 283 – 293.
- [15] 杨升, 张华新, 刘涛. 16 个树种盐胁迫下的生长表现和生理特性[J]. *浙江农林大学学报*, 2012, **29**(5): 744 – 754.

- YANG Sheng, ZHANG Huaxin, LIU Tao. Morphological changes and physiological characteristics of seedlings from 16 tree species with salt stress [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2012, **29**(5): 744 – 754.
- [16] 朱金方, 刘京涛, 陆兆华, 等. 盐胁迫对中国柽柳幼苗生理特性的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(15): 5140 – 5146.
- ZHU Jinfang, LIU Jingtao, LU Zhaohua, *et al.* Effects of salt stress on physiological characteristics of *Tamarix chinensis* Lour. seedlings [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(15): 5140 – 5146.
- [17] 罗秋香, 管清杰, 金淑梅, 等. 植物耐盐性分子生物学研究进展[J]. 分子植物育种, 2006(增刊 2): 57 – 64.
- LUO Qiuxiang, GUAN Qingjie, JIN Shumei, *et al.* Advances on application of molecular biology on plant salt tolerance research [J]. *Mol Plant Breed*, 2006(suppl 2): 57 – 64.
- [18] 刘政, 胡孙田, 沈晓飞, 等. 外源褪黑素处理对月季幼苗盐胁迫的缓解效应[J]. 浙江农林大学学报, 2020, **37**(5): 957 – 962.
- LIU Zheng, HU Suntian, SHEN Xiaofei, *et al.* Alleviation of exogenous melatonin on rose seedlings under salt stress [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2020, **37**(5): 957 – 962.
- [19] 刘翠玉, 闫明, 黄贤斌, 等. 石榴耐盐性研究与指标筛选[J]. 浙江农林大学学报, 2018, **35**(5): 853 – 860.
- LIU Cuiyu, YAN Ming, HUANG Xianbin, *et al.* Salt tolerance and screening for identification indexes with pomegranate cuttings [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2018, **35**(5): 853 – 860.