

doi:10.11937/bfyy.20201076

植物在盐处理下的研究进展

张晓婷^{1,2}, 王雪松³, 贾文飞^{1,2}, 徐振彪^{4,5}, 王颖^{1,2}, 吴林^{1,5}

(1. 吉林农业大学 园艺学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省蓝莓研究中心, 吉林 长春 130021;
3. 吉林省农业科学院 果树研究所, 吉林 公主岭 136100; 4. 山东理工大学 生命科学学院, 山东 淄博 255049;
5. 淄博普蓝农业科技有限公司, 山东 淄博 256300)

摘 要:探索盐处理对植物的影响,不仅可以提高作物产量,还能更加合理有效地利用受到盐胁迫影响的有限耕地,具有重要的研究意义和应用价值。该研究论述了盐处理对植物生长指标、生理生化指标、光合指标以及植物组织培养的影响,并分析相关试验,筛选出关键的抗盐性指标,为以后品种的耐盐性鉴定提供参考依据。

关键词:盐处理;抗盐性指标;鉴定

中图分类号:S 567.23⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2021)06-0137-07

20 世纪初,土壤盐分胁迫已成为危害农业植物的主要非生物胁迫^[1],土壤盐渍化是我国乃至世界主要的环境问题之一^[2-4]。土壤盐渍化以土壤溶液含 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 及 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、

Cl^- 和 SO_4^{2-} 浓度高为主要特征,尤其是 Na^+ 和 Cl^- 含量高^[5]。我国存在大量盐碱地,耕地中盐渍化面积达到 920.9 万 hm^2 ,约占全国土地面积的 1/10^[6],其中占全国耕地面积约 6.62%^[7],主要分布在西北、华北、东北和沿海地区^[8],其中含盐量达 0.4%(质量分数)以上,最高可达 1.5%,且各地区土壤盐分差异较大^[9],严重影响作物生长发育,导致植物生长受阻。同时,不合理的农作物栽培管理方式也会造成 Na^+ 或 Cl^- 积累,从而形成盐害^[10],限制其经济的发展和栽培区域的扩大,其抗盐性研究可为解决植物在盐渍环境中大面积推广提供参考依据。

第一作者简介:张晓婷(1993-),女,硕士研究生,研究方向为果树生理生态及栽培技术。E-mail:937571500@qq.com.

责任作者:吴林(1970-),男,硕士,教授,现主要从事蓝莓等小浆果品种选育、栽培生理与产业经济全产业链技术等研究工作。E-mail:310710966@qq.com.

基金项目:吉林省教育科学“十三五”规划资助项目(GH170250);淄博市科学技术发展计划资助项目(2017kj080008);淄博市校城融合发展计划资助项目(2018ZBXC040)。

收稿日期:2020-03-19

1 盐处理对植物生长指标的影响

植物受到盐处理可表现为:胁迫作用和促进

reproduction of plants. How to well induce the adventitious roots of a certain plant and establish its stable root-rooting mechanism is the direction of the problem that researchers have been searching for. This study dealt with the mechanism of the adventitious root, summarized the research progress in the physiology and molecular science of adventitious roots in domestic and abroad. The different factors influencing the mechanism of adventitious roots and their effects on the rooting of adventitious roots were analyzed in order to provide a strong theoretical basis and practical reference for the research on the induction of adventitious roots.

Keywords: adventitious root; hormone; root induction; rooting mechanism

作用。其中,对植物的胁迫作用表现为:生长缓慢,植株矮小;叶片发黄脱落;干物质积累量减少;根系发育不良^[11]。促进作用表现为:生长势强,根茎叶以及根系均正向生长。通过研究不同浓度 NaCl 和 NaHCO₃ 处理对紫苏种子萌发的影响,裴毅等^[12]发现,单盐胁迫下随着盐浓度的增加,种子胚根长的苗鲜质量均明显下降,呈明显的负相关。曹兵等^[13]对臭椿进行盐胁迫处理,研究显示盐浓度不仅影响其发芽率,而且对其发芽后的幼苗根长和株高也有所影响,均呈下降趋势。通过对盐处理下苜蓿和羊草苗期的生长状态的研究,李品芳等^[14]发现随着盐胁迫程度的加深苜蓿地上部分干物质质量显著降低,生长速率明显减慢。模拟大田试验,BERKHEIMER 等^[15]将盐(NaCl)喷雾应用于盆栽越橘,证明了施用道路除冰盐,使得公路两旁高丛越橘树梢枯死、花芽死亡率升高、产量下降。而对植物的促进作用相关研究报道较少,马少梅等^[16]对北海道黄杨试管苗的研究证明,0.2% NaCl 浓度是黄杨试管苗生长的最适盐浓度,表明其具有一定的耐盐性,低浓度的 NaCl 可以促进其生长。董江超^[17]以竹柳及红叶杨二年生实生苗为试验材料,研究该浓度的 NaCl (CK、0.15%、0.3%、0.45%、0.6%)环境下竹柳株高绝对生长量、地茎绝对生长量及生长状况,结果显示在低于 0.3% NaCl 环境下其均呈上升趋势。

生长指标的优劣可以最直观的反应盐处理下植物的表现,可通过测量植物的株高、冠幅、枝条数、枝条长度、叶长、叶宽以及其干质量和鲜质量来获得准确的试验结果依据。

2 盐处理对植物生理生化指标的研究

2.1 盐处理对植物细胞膜透性的影响

在高浓度盐处理环境中,植物体内会积累大量的脯氨酸,以此提高其对逆境的耐受性^[18]。细胞质膜最先受到盐离子胁迫,膜透性增加,一般用电导率的大小反映其在逆境条件下受损伤的程度。电导率的数值能够体现质膜的受损程度,细胞膜受到的损伤越大,电导率值也就越大。在相同盐浓度下,肖雯等^[19]通过测定几种

盐生植物(沙枣、枸杞、黄花菜等)的电导率得出,黄花菜的电导率数值最小,表明其最好的维持了质膜的完整性,耐盐性最强。在受到 NaCl 胁迫后,杨升等^[20]对卫矛、沙枣和美国白蜡进行耐盐性综合评价,得出随盐浓度增加其膜透性不断增强。在 Na₂CO₃ 胁迫下,张晶^[21]探究 8 种冬青的生长生理变化,得出随着胁迫的时间延长和胁迫的浓度增加,其电导率和丙二醛含量均呈持续上升趋势。而丙二醛(MDA)是膜质过氧化的主要产物之一,可直接反映膜质过氧化程度,从而体现盐处理程度,是植物鉴定耐盐性的重要生理指标。采用可见分光光度计法,郑世英等^[22]研究 NaCl 处理下玉米幼苗叶片中的 MDA 含量得出,随着盐浓度的增大,MDA 含量均有增加,且当浓度大于 40 mol·L⁻¹ 时,其增加幅度加大。周学丽等^[23]通过研究不同 NaCl 胁迫(0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%)处理下同德小花碱茅幼苗的生理指标,得出其相对含水量和丙二醛含量随着胁迫程度的增大呈下降趋势。

2.2 盐处理对植物渗透调节物质的影响

对外界威胁植物所做出的一种自我调节,即为渗透调节。脯氨酸(Pro)作为一种主要渗透调节物质,在高浓度盐处理环境中植物会通过特殊的代谢途径对其进行积累,以此来降低盐胁迫对自身的生长威胁,当其合成速率大于分解速率时,可在植物体内大量积累来提高细胞的渗透性,防止细胞质脱水和细胞结构被破坏,以此保护酶活性和植物的正常代谢活动,提高植物的抗逆性。盐胁迫下,秦峰梅等^[24]研究其对黄花苜蓿发芽及幼苗生长的影响,表明脯氨酸能够在幼苗中迅速积累,这与 HANDA 等^[25]和 RHODES 等^[26]的试验结果保持一致。李国树等^[27]对铁皮石斛组培苗的研究表明,随着盐浓度越高,其脯氨酸含量也随之升高,抑制作用越大。在潮汐系统下梁芳等^[28]通过对濒危半红树植物玉蕊在盐胁迫下研究发现,在受到盐胁迫后其脯氨酸含量随着盐度的增高呈显著上升趋势。谢小丁等^[29]的耐盐能力试验,认为 Pro 的积累是植物对盐胁迫逆境采取的一种保护措施,试验结果显示逆境条件下 Pro 含量呈增加趋势。这与史雨刚等^[30]对高粱

幼苗研究的试验结果一致。GOLOMBEK 等^[31]研究了 NaCl 处理离体大麦叶片中脯氨酸的积累,结果显示盐处理显著提高了谷氨酸和脯氨酸合成。孙聪聪等^[32]以盆栽的三年生银杏幼树为材料进行 NaCl 胁迫试验,结果显示在盐胁迫后期其脯氨酸含量会显著增加。

其次,在盐胁迫环境中植物为了维持较高的渗透压,保证细胞的正常生理功能,通过渗透调节来降低水势,其体内的可溶性糖含量就会增加,以此来增强植物的耐盐性^[33]。赵海新^[34]通过对沙培的水稻幼苗进行胁迫处理,得出其可溶性糖含量和脯氨酸含量均先降后升,且可溶性糖与脯氨酸含量具有显著相关性。李国雷等^[35]对黄栌、紫荆的 NaCl 胁迫证明,随着 NaCl 溶液浓度的增加,植物体内可溶性糖明显增加。段新玲等^[36]在含 NaCl 不同浓度的 MS 培养基上接种多次继代培养的无花果试管苗,得出耐盐性的提高与可溶性糖含量的增加有关。韩浩章等^[37]通过比较香樟与猴樟幼苗的耐盐碱性得出,在 $300\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐碱胁迫处理条件下,猴樟和香樟幼苗叶片的脯氨酸含量、可溶性糖含量,以及可溶性蛋白质含量均显著降低($P < 0.05$)。而在对新疆野豌豆的种子萌发及幼苗生理响应研究中,李莉等^[38-39]发现在 NaCl 胁迫后可溶性糖含量表现出先升高后降低的趋势,呈现一定波动,可能由不同物种间的差异性导致。

可溶性蛋白质作为植物主要的营养物质,同时也是重要的渗透调节物质,在盐胁迫环境下通过其不断积累提高植物的保水能力,保护植物细胞的生命物质及生物膜,以此保证植物的正常生长^[40]。林选栋等^[41]在不同盐胁迫水平下测定高羊茅幼苗的可溶性蛋白质含量随着盐浓度的增加呈先上升后下降的趋势,且当盐浓度为 $250\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,可溶性蛋白质含量达到峰值。李硕等^[42]以 $150\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 模拟等渗盐胁迫环境,通过水培法对番茄生长及渗透调节特性进行研究,得出随着处理时间的延长可溶性蛋白质含量会逐渐积累。赵曼利等^[43]以陇南主栽的 6 个油橄榄品种为试验材料进行不同程度的 NaCl 胁迫处理,发现随盐浓度的升高可溶性蛋白质含量先升高后下降。

2.3 盐处理对植物保护酶系统的影响

所有的逆境均可以导致活性氧的产生从而引发氧化破坏,与此同时植物也拥有一些有效系统去清除活性氧,保护植物免受氧化破坏,保护酶系统是一个关键的防御机制,主要的保护酶包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)。周述波等^[44]使用浓度为 5%、10%、15% 和 20% 的海水与 NaCl 分别对山兰稻种子进行浸种与苗期培养,试验表明浓度为 15% 以下的盐胁迫会提高山兰稻幼苗中 SOD 活性,浓度为 20% 盐胁迫会促进 POD 活性的提高。买合木提等^[45]在盐胁迫条件下对扁桃砧木叶片相关酶活性测定得出,SOD 活性随 NaCl 溶液浓度的增加而升高。NaCl 胁迫下,袁云香^[46]对孔雀草愈伤组织及其再生植株研究表明,植株通过增加保护酶活性以缓解氧化损伤来适应 NaCl 的胁迫,SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性显著增高。李小艳^[47]通过对 7 种柳树进行 NaCl 盐胁迫得出结论,柳树抗氧化物质的变化对维持植物渗透稳定有调节作用,抗氧化酶活性的提高对抵御活性氧对细胞膜的伤害有重要作用。周心智等^[48]研究柑橘砧木在 NaCl 胁迫下的影响得出,随着 NaCl 胁迫时间的增加 CAT 活性、POD 活性均呈现显著减少趋势,SOD 活性则呈现出显著上升的趋势。樊瑞苹等^[49]对高羊茅在不同浓度 NaCl 浓度下生长及抗氧化系统的影响,发现 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性随着盐胁迫时间的延长先上升后下降,且 3 种酶活性均为盐浓度越高日下降幅度越大。通过人工模拟半潮的方式,梁芳等^[28]对二年生玉蕊幼苗在温室进行试验得出,随着盐度的增高叶片 SOD 活性均无显著变化,而 POD 活性呈显著上升趋势($P < 0.01$)。

生理生化指标是用来反映盐分处理下植物内部物质的变化情况,可以通过测量叶片的细胞膜透性、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸(Pro)含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性这 8 个指标来准确反映其变化情况。

3 盐处理对植物光合指标的影响

3.1 盐处理对植物光合色素的影响

植物光合色素是植物进行光合作用的物质基础,叶绿素是植物叶片光合作用膜中的绿色色素,是植物进行光合作用捕获光的主要成分。其中叶绿素的多少直接影响光合作用的强弱。在高浓度盐处理下,植物的光合色素降解,降低叶片的光合作用,从而减弱叶片的净光合速率和暗呼吸^[50]。刘贞琦等^[51]通过对水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究得出,在一定范围内,叶绿素a+b含量与净光合速率呈正相关。梁海永等^[52]的测定结果表明,NaCl胁迫抑制叶绿体捕获光能用于光合作用,从而影响了植物的生长。王泽港等^[53]对水稻进行半根干旱胁迫处理得出相关结果认为,叶绿素a比叶绿素b对植物光合作用影响更大,叶绿素a的下降会更明显的抑制光合作用。不同盐浓度环境下,陶红等^[54]对蓖麻幼苗的叶片叶绿素含量研究,发现随着盐胁迫强度的增大,其呈先增后降趋势。高剑^[55]以龙葵幼苗为材料,对其进行中性盐和碱性盐处理得出,均会抑制龙葵幼苗的生长,且与叶绿素含量的多少关系密切。

3.2 盐处理对植物光合速率的影响

植物在高浓度盐处理下,其叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)在不同时期呈现不同的上升和下降趋势。房玉林等^[56]在对盐胁迫下葡萄光合特性研究的试验中发现,葡萄的Pn、Gs、Tr在处理前期都持续下降,中期出现一段时间稳定甚至上升,后期又开始下降,细胞间CO₂浓度(Ci)前期几乎不变,后期则迅速下降。乌凤章^[57]研究表明,越橘幼苗具有一定的耐盐性,能够忍受100 mmol·L⁻¹NaCl胁迫,但在高浓度的NaCl胁迫下会降低越橘的净光合速率,从而抑制其生长。孙晓刚等^[58]通过水培的方式对‘吉美’海棠进行NaCl胁迫处理,在50、100 mmol·L⁻¹NaCl胁迫条件下发现,‘吉美’海棠的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、最大光化学效率和实际光能转化率均呈下降趋势。林益等^[59]通过研究不同浓度(0%、0.3%、0.6%、

0.9%)NaCl盐分胁迫对一年生邓恩桉幼苗的叶片光合作用,得出邓恩桉幼苗有一定的耐盐性,且随着盐浓度的增加和胁迫时间的延长其叶片的光合能力受到明显影响。在温室不同浓度NaCl处理下,陈健妙等^[60]通过对麻疯树幼苗叶片光合生理的测定,得出低浓度(25~50 mmol·L⁻¹)NaCl处理幼苗Pn显著增加,使得植株生长较快,耐盐性提高;随着NaCl浓度升高,幼苗Pn下降不显著;直到高浓度(200~250 mmol·L⁻¹)NaCl处理幼苗Pn显著下降。

3.3 盐处理对植物叶绿素荧光参数的影响

通过测量植物叶片叶绿素荧光参数,可以明显反映其对盐分处理是否抑制。NaCl胁迫下,黄建等^[61]研究其对蓖麻功能叶光系统Ⅱ荧光特性得出,在高浓度NaCl(9 g·kg⁻¹)胁迫下蓖麻幼苗叶片PSⅡ光化学效率(Fv/Fm)、PSⅡ光量子产量($\Phi_{PSⅡ}$)显著下降,且随着光强的不断增加,非光化学淬灭(NPQ)和表观光合电子传递速率(ETR)呈上升趋势,光化学淬灭系数(qP)显著下降。綦伟等^[62]通过对干旱胁迫处理下不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的测定得出,随盐胁迫浓度的增加,可变荧光(Fv)、最大荧光(Fm)、Fv/Fm、可变荧光与初始荧光比(Fv/Fo)、qP均降低,而初始荧光(Fo)升高,NPQ不同品种间反应不同,说明光系统Ⅱ受到了伤害,使得PSⅡ原初光能转换效率、PSⅡ潜在活性降低、光合电子传递、光合原初反应过程受到抑制。赵佳伟等^[63]在NaCl胁迫下对北美豆梨和杜梨进行光合荧光参数研究,结果发现随着NaCl浓度的升高,杜梨的Fo和Fv/Fm均随着NaCl浓度的升高不断下降,而北美豆梨的Fv/Fm则是先上升后下降。刘莉娜等^[64]通过观测银叶树幼苗在不同浓度盐胁迫下的叶绿素荧光特性,结果显示银叶树幼苗叶片实际光量子效率与表观光合电子传递速率均随着盐胁迫的增大不断降低,导致其化学效率与表观净光合速率降低。徐焕文等^[65]在对白桦的研究中得出相似结论。刘兵等^[66]在不同胁迫下对垂丝海棠植株的试验结果,表明叶片的 $\Phi_{PSⅡ}$ 、Fm、qP和Fv/Fm均受到抑制。在不同浓度的NaCl处理下,孔芬等^[67]以‘油芍一号’为试验材料进行研究,得出高浓度NaCl处理(200、

300 mmol · L⁻¹)对芍药叶片放氧复合体(OEC)和PSⅡ反应中心造成了伤害。

光合指标是盐分处理下导致植物生长变化的最根本指标,通过测量植物叶片叶绿素含量、光合速率以及叶绿素荧光来反映其对盐分处理是否抑制。

4 盐处理对植物组培苗的影响

汪贵斌等^[68]对银杏研究表明,随着NaCl浓度的增高,叶片中K⁺浓度先上升后下降,但NaCl浓度较高时,则明显抑制了银杏各品种对K⁺的吸收。刘联等^[69]通过在培养基中添加不同浓度的海水对芦荟进行盐胁迫驯化培养,结果表明50%海水为其耐盐分化株系筛选的最适浓度。李荣锦等^[70]通过在50、75、100、125、150 mmol · L⁻¹ NaCl胁迫下处理构树组培苗,进行盐浓度梯度试验测定相关生理生化指标,测定相关指标。赵秀梅^[71]以NaCl作为盐胁迫因子,设置浓度为0.0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%,分别加入生根培养基中进行不同品种葡萄试管苗的耐盐筛选,以得到有利于该试管苗生长的浓度。刘作梅等^[72]研究表明,培养基中铵盐和硝酸盐含量高会降低蓝莓的增殖系数,减慢蓝莓的扩增速度,导致叶片褶皱,茎段脆弱。卢俊等^[73]通过对三叶半夏丛生芽进行NaCl胁迫组培试验,得出NaCl浓度为1、2 g · L⁻¹时,丛生芽的生长优于对照组,且增殖系数明显提高;NaCl浓度为3、4 g · L⁻¹时,丛生芽的生长受到明显抑制。荣海燕^[74]对冰菜种子的研究得出一致结论。

植物的组培苗对盐处理的表现更为敏感,也更为直接,它是在规避土壤影响的基础上,对盐处理的反映最真实。

5 小结

近年来,随着农业灌溉、不合理耕作、施肥等人为活动的影响,土壤盐渍化已经成为土地退化的重要因素之一^[75-77]。综上所述,植物在盐处理下,其生长指标、细胞膜透性、渗透调节物质、保护酶系统、光合速率以及叶绿素荧光指标都会发生明显变化。这反映了植物抗盐机制的复杂性,进

一步说明植物的抗盐机制是一种积累性的多基因控制的性状,由多种特异性基因控制。但目前鲜有报道,分析各浓度下植物叶片的形态指标和生理生化指标结果,筛选关键的抗盐性指标,为以后植物品种的耐盐性鉴定提供参考依据;系统的研究植物在盐分作用下的形态生理反应,探究土壤盐分含量适宜值和临界值,选育耐盐品种,将为涉盐渍化地区开展植物栽培的土壤选择、品种选择提供参考。

参考文献

- [1] ZHU J. Plant salt tolerance[J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(2): 66-71.
- [2] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理[J]. 土壤, 2006(3): 256-262.
- [3] ALSHAMMARY S F, QIAN Y L, WALLNER S J. Growth response of four turfgrass species to salinity[J]. Agricultural Water Management, 2004, 66(2): 97-111.
- [4] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS W W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress[J]. Annals of Plant Physiology Plant Mol Biol, 1992, 43(1): 599-626.
- [5] 朱建峰, 崔振荣, 吴春红, 等. 我国盐碱地绿化研究进展与展望[J]. 世界林业研究, 2018, 31(4): 70-75.
- [6] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 中国科学出版社, 1993.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [9] 王佳丽, 黄贤金, 钟太洋, 等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 673-684.
- [10] TEAKLE N L, TYERMAN S D. Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance[J]. Plant Cell & Environment, 2010, 33(4): 566-589.
- [11] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [12] 裴毅, 杨雪君, 尹熙, 等. NaCl 和 NaHCO₃ 胁迫对紫苏种子萌发的影响[J]. 种子, 2015, 34(9): 11-14, 19.
- [13] 曹兵, 宋丽华, 魏婷婷. NaCl 胁迫对 3 个臭椿种源种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007(12): 9-10, 12.
- [14] 李品芳, 侯振安, 龚元石. NaCl 胁迫对苜蓿和羊草苗期生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001(2): 211-217.
- [15] BERKHEIMER S F, HANSON E. Deicing salts reduce cold hardiness and increase flower bud mortality of highbush blueberry[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science American Society for Horticultural Science, 2006, 131(1): 1-11.
- [16] 马少梅, 麻冬梅, 谢应忠, 等. 北海道黄杨试管苗的耐盐性研

- 究[J]. 林业资源管理, 2010(2): 94-96.
- [17] 董江超. NaCl 胁迫下竹柳与红叶杨生理特性的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [18] 马献发, 张继舟, 宋凤斌. 植物耐盐的生理生态适应性研究进展[J]. 科技导报, 2011, 29(14): 76-79.
- [19] 肖雯, 贾恢先, 蒲陆梅. 几种盐生植物抗盐生理指标的研究[J]. 西北植物学报, 2000(5): 818-825.
- [20] 杨升, 刘正祥, 张华新, 等. 3 个树种苗期耐盐性综合评价及指标筛选[J]. 林业科学, 2013, 49(1): 91-98.
- [21] 张晶. 盐碱胁迫对 8 种冬青生长生理的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [22] 郑世英, 商学芳, 王景平. 可见分光光度法测定盐胁迫下玉米幼苗抗氧化酶活性及丙二醛含量[J]. 生物技术通报, 2010(7): 106-109.
- [23] 周学丽, 周青平, 颜红波, 等. NaCl 胁迫对同德小花碱茅苗期生理特性的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(6): 101-105.
- [24] 秦峰梅, 张红香, 武伟, 等. 盐胁迫对黄花苜蓿发芽及幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 71-78.
- [25] HANDA S, BRESSAN R A, HANDA A K, et al. Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress[J]. Plant Physiology, 1983, 73(3): 834-843.
- [26] RHODES D, HANDA S, BRESSAN R A. Metabolic changes associated with adaptation of plant cells to water stress[J]. Plant Physiology, 1986, 82(4): 890-903.
- [27] 李国树, 徐成东, 李天星, 等. 铁皮石斛组培苗耐盐性研究[J]. 北方园艺, 2011(1): 153-156.
- [28] 梁芳, 黄秋伟, 於艳萍, 等. 濒危半红树植物玉蕊对盐胁迫的生理响应及其相关性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(10): 12-18.
- [29] 谢小丁, 邵秋玲, 李扬. 九种耐盐植物在滨海盐碱地的耐盐能力试验[J]. 湖北农业科学, 2007(4): 559-561.
- [30] 史雨刚, 马金虎, 李新基, 等. 不同浓度胁迫对高粱幼苗电导率及脯氨酸含量的影响[J]. 山西农业科学, 2007, 35(11): 28-30.
- [31] GOLOMBEK S D, LÜDDERS P. Effects of short-term salinity on leaf gas exchange of the fig (*Ficus carica* L.)[J]. Plant & Soil, 1993, 148(1): 21-27.
- [32] 孙聪聪, 赵海燕, 郑彩霞. NaCl 胁迫对银杏幼树渗透调节物质及脯氨酸代谢的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53(3): 470-476.
- [33] 赵江涛, 李晓峰, 李航, 等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学, 2006(24): 6423-6425, 6427.
- [34] 赵海新. 碱胁迫对水稻叶绿素及叶片脯氨酸和可溶性糖含量的影响[J]. 作物杂志, 2020(1): 98-102.
- [35] 李国雷, 孙明高, 夏阳, 等. NaCl 胁迫下黄栌、紫荆的部分生理生化反应动态变化规律的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2004, 35(2): 173-176.
- [36] 段新玲, 任东岁, 史文波. 无花果试管苗在 NaCl 胁迫过程中的溶质积累[J]. 西北植物学报, 2001(5): 1013-1017.
- [37] 韩浩章, 张丽华, 王晓立, 等. 猴樟与香樟幼苗的耐盐碱性比较[J]. 西部林业科学, 2019, 48(5): 7-14.
- [38] 李莉, 张一弓, 贾纳提, 等. 盐碱胁迫下新疆野豌豆种子萌发及幼苗生理响应[J]. 草业学报, 2016, 25(9): 46-53.
- [39] 李莉, 张科, 何明才, 等. 不同盐浓度对四个品种番茄种子萌发和幼苗芽长的影响[J]. 北方园艺, 2019(24): 1-6.
- [40] VICENTE O, BOSCAIU M, NARANJO M, et al. Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae)[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 58(4): 463-481.
- [41] 林选栋, 武文莉, 林丽果, 等. 不同盐胁迫水平下硅对高羊茅幼苗生物量、酶活性和渗透调节物质的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(7): 1653-1660.
- [42] 李硕, 张毅, 姚棋, 等. 等渗盐胁迫下 BR 对番茄生长及渗透调节特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020(4): 1-8.
- [43] 赵曼利, 杜启兰, 焦健, 等. 盐胁迫对不同品种油橄榄抗盐性生理指标的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(1): 19-25.
- [44] 周述波, 贺立红, 林伟, 等. 盐胁迫对海南山兰稻种子萌发及幼苗期生理特性的影响[J]. 分子植物育种, 2020, 18(4): 4740-4746.
- [45] 买合木提·卡热, 克热木·伊力, 吾甫尔·巴拉提. 盐胁迫对扁桃砧木叶片 SOD、POD 和 CAT 活性的影响[J]. 西北农业学报, 2005(6): 96-101.
- [46] 袁云香. 盐胁迫对孔雀草愈伤组织及其再生植株的耐盐机制的响应研究[J]. 分子植物育种, 2019, 17(17): 5769-5774.
- [47] 李小艳. 七种柳树对 NaCl 盐胁迫的生长生理响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [48] 周心智, 张云贵. NaCl 胁迫对 5 种柑橘砧木生长及生理特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(11): 1-6.
- [49] 樊瑞苹, 周琴, 周波, 等. 盐胁迫对高羊茅生长及抗氧化系统的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 112-117.
- [50] 廖祥儒, 贺普超, 朱新产, 等. 盐渍对葡萄光合色素含量的影响[J]. 园艺学报, 1996, 23(3): 300-302.
- [51] 刘贞琦, 刘振业, 马达鹏, 等. 水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究[J]. 作物学报, 1984(1): 57-62.
- [52] 梁海永, 李会平, 郑均宝, 等. NaCl 胁迫对欧洲黑杨组植株叶片光系统 II 功能的影响[J]. 河北林果研究, 2000(2): 101-104.
- [53] 王泽港, 梁建生, 曹显祖, 等. 半根干旱胁迫处理对水稻叶片光合特性和糖代谢的影响[J]. 江苏农业研究, 1999(3): 21-26, 58.
- [54] 陶红, 陈和, 陈健, 等. 盐分胁迫对蓖麻幼苗叶绿素、脯氨酸等的影响研究[J]. 现代园艺, 2016(10): 9-10.
- [55] 高剑. 中性盐和碱性盐对龙葵(*Solanum nigrum* L.)的胁迫作用研究[D]. 牡丹江: 牡丹江师范学院, 2017.
- [56] 房玉林, 惠竹梅, 高邦牢, 等. 盐胁迫下葡萄光合特性的研究[J]. 土壤通报, 2006(5): 881-884.

- [57] 乌凤章. NaCl 胁迫对高丛越橘幼苗生长和光合生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(11): 2258-2265.
- [58] 孙晓刚, 张雪, 刘晓嘉, 等. NaCl 胁迫对水培‘吉美’海棠生理特性的影响[J]. 经济林研究, 2019(4): 27-34.
- [59] 林益, 瓮颖, 李贺鹏, 等. 邓恩桉幼苗生长和光合特性对盐胁迫的响应[J]. 浙江林业科技, 2014, 34(3): 33-38.
- [60] 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.
- [61] 黄建, 冯耀祖, 刘易, 等. NaCl 胁迫对蓖麻功能叶光系统 II 荧光特性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(7): 145-149.
- [62] 綦伟, 谭浩, 翟衡. 干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2006(5): 835-838.
- [63] 赵佳伟, 李清亚, 路斌, 等. NaCl 胁迫下北美豆梨和杜梨的光合荧光参数比较[J]. 北方园艺, 2019(22): 97-104.
- [64] 刘莉娜, 张卫强, 黄芳芳, 等. 盐胁迫对银叶树幼苗光合特性与叶绿素荧光参数的影响[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(6): 601-607.
- [65] 徐焕文, 刘宇, 姜静, 等. 盐胁迫对白桦光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(4): 21-26.
- [66] 刘兵, 贾旭梅, 朱祖雷, 等. 盐碱胁迫对垂丝海棠光合作用及渗透调节物质的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(9): 1618-1626.
- [67] 孔芬, 王卫成, 贺欢, 等. NaCl 处理对芍药光合特性与快速叶绿素荧光特征的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(22): 7531-7537.
- [68] 汪贵斌, 曹福亮, 张往祥. 银杏品种耐盐能力的研究[J]. 林业科学, 2003(5): 168-172.
- [69] 刘联, 于延球, 刘兆普, 等. 海水组培法培育芦荟耐盐品系研究[J]. 西北植物学报, 2008(9): 1757-1764.
- [70] 李荣锦, 张敏, 蒋泽平, 等. NaCl 胁迫对构树组培苗抗氧化酶活性及同工酶谱的影响(英文)[J]. 林业科学, 2009, 45(2): 40-47.
- [71] 赵秀梅. 葡萄组培苗耐盐筛选技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [72] 刘作梅, 王兰英, 宋祥兰, 等. “南高丛”蓝莓离体培养及增殖技术的研究[J]. 北方园艺, 2013(12): 103-105.
- [73] 卢俊, 韩静, 金磊磊, 等. NaCl 胁迫对三叶半夏(*Pinellia ternata*) 丛生芽生长的影响[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2020, 199(2): 127-131.
- [74] 荣海燕. 不同 NaCl 浓度胁迫对冰菜种子萌发和组培苗生长的影响[J]. 天津农业科学, 2016, 22(12): 42-44.
- [75] 蔺娟, 地里拜尔·苏力坦. 土壤盐渍化的研究进展[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2007(3): 318-323, 328.
- [76] 杨劲松. 土壤盐渍化研究展望[J]. 土壤, 1995(1): 23-27.
- [77] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008(5): 837-845.

Research Progress of Plants Under Salt Treatment

ZHANG Xiaoting^{1,2}, WANG Xuesong³, JIA Wenfei^{1,2}, XU Zhenbiao^{4,5}, WANG Ying^{1,2}, WU Lin^{1,5}

(1. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Jilin Blueberry Research Center, Changchun, Jilin 130021; 3. Fruit Tree Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling, Jilin 136100; 4. College of Life Sciences, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049; 5. Zibo Pulan Agricultural Technology Co. Ltd., Zibo, Shandong 256300)

Abstract: Exploring the effects of salt treatment on plants can increase crop yield and increase the limited cultivated land with more reasonable and effective affected by salt treatment, which has important research significance and application value. This paper discussed the effects of salt treatment about plant growth indicators, physiological and biochemical indicators, photosynthetic indicators, and plant tissue culture, and analyzed relevant experimental studies to screen out key salt resistance indicators, providing a basis for the salt tolerance identification of future varieties.

Keywords: salt treatment; resistance index; identification