

NaCl 胁迫对草木樨种子萌发及幼苗生长的影响

韩润燕¹, 陈彦云^{1,2}, 周志红², 冯进萍²

(1. 宁夏大学 西部生态与生物资源开发联合研究中心/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;
2. 宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 采用室内种子萌发及温室幼苗培养实验方法, 研究不同浓度 NaCl 胁迫对耐盐植物草木樨种子萌发及幼苗生长的影响, 结果表明: 低浓度的 NaCl 胁迫可以提高种子的萌发率、累积发芽率、发芽势, 增加幼苗地上部分的鲜干比、叶绿素含量, 并促进幼苗根和芽的生长, 而高浓度的 NaCl 胁迫则对其有显著的抑制作用; 不同浓度的 NaCl 胁迫对草木樨种子的发芽指数均有一定的抑制作用, 而对幼苗叶片的丙二醛含量却有一定的促进作用。因此得出: 低浓度的 NaCl 胁迫对草木樨种子萌发及幼苗生长具有一定的促进作用, 而高浓度的 NaCl 胁迫则对其有一定的抑制作用。

关键词: NaCl 胁迫; 草木樨; 种子萌发; 幼苗生长

中图分类号: S551+.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)05-0078-06

Effects of NaCl stress on seed germinations and seedling growth of sweet clover

HAN Run-yan¹, CHEN Yan-yun^{1,2}, ZHOU Zhi-hong², FEN Jin-ping²

(1. *The United Research Center for Ecology and Exploitation for Biological Resources in Western China/Key Laboratory of Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Yinchuan, Ningxia 750021, China;*
2. *Ningxia University Life Sciences School, Yinchuan, Ningxia 750021, China*)

Abstract: The effects of NaCl stress on seed germinations and seedling growth of sweet clover were investigated by indoor germination and greenhouse seedling cultivation. The results showed that the seed germination, cumulative germination percentage, seed germination speed, GW/DW, inhibition index of root (shoot) length, seedlings' total chlorophyll was promoted under the low concentration of NaCl stress, while they were inhibited when the concentrations of NaCl were higher; Seed germination index was inhibited by different NaCl stress. However, the MDA was promoted by NaCl stress. In a word, the seed germinations and seedling growth of sweet clover were promoted under the low concentration of NaCl stress. On the contrary, they were inhibited when the concentrations of NaCl were higher.

Keywords: NaCl stress; sweet clover; seed germinations; seedling growth; salinization

盐渍化问题已经成为全世界关注的话题, 全世界盐碱地面积约 9.54 亿 hm^2 , 其中我国为 9 913 万 hm^2 ^[1]。世界大面积的盐碱地和日益严重的土壤盐渍化使得植物盐害及耐盐机理的研究成为当前农业科学研究的重要课题^[2]。世界干旱、半干旱地区达总面积的 1/3 多, 我国的干旱、半干旱面积已达 455 万 km^2 ^[3]。这些地区淡水资源非常有限, 而盐水资源丰富, 这严重的影响着农牧业的发展, 所以应以人与自然环境和谐统一为目标, 主动适应盐碱地实际情况, 立足盐渍化问题, 着眼于盐生植物, 充分发挥盐生植物的作用^[4-6]。盐渍化使得植被稀疏、产量

低、草质劣, 在这类土地种植农作物受到很大的限制, 而盐生植物较农作物的抗盐性强, 充分利用盐生植物的这种优势建立人工草地改良盐碱地对于发展盐渍土壤有很大的促进作用^[7-9]。

种子萌发与早期幼苗生长阶段是植物种群能否在盐渍环境下建植成功最关键的时期^[10-11]。植物通常在种子萌发期具有较强的抗盐碱能力^[12], 即使土壤盐碱浓度较高, 种子也会以休眠的方式保持活力, 在条件适宜时再萌发^[13-14], 而幼苗阶段则十分脆弱, 极易受不利环境因素的影响^[15], 因此研究盐胁迫对植物种子萌发及幼苗生长的影响对植物在盐

收稿日期: 2013-10-25

基金项目: 荒漠草原区农牧复合生态系统构建与可持续利用技术集成与试验示范(国家科技支撑: 2011BAC07B03)

作者简介: 韩润燕(1989—), 女, 宁夏中卫人, 在读硕士, 主要从事植物生态学研究。E-mail: hanrunyan@163.com。

通信作者: 陈彦云(1965—), 男, 宁夏平罗人, 研究员, 主要从事植物学、生态学研究。E-mail: nxchenyy@163.com。

渍化土地萌发及生长具有重要的生态学意义。

草木樨 (*Melilotus suaveolens* Ledeb) 为豆科一年生或二年生草本直立型植物。草木樨有一定的耐盐能力,是盐渍化弃耕地生态恢复重建的主选植物之一。同时草木樨作为工业造纸原料和牛羊饲料的生产源是生物改良盐渍化土地,实现生态经济效益双赢的理想植物。我国北方内陆干旱地区,在盐渍化土地上人工种植草木樨已实现了大面积建植和经济生产,但当前关于草木樨耐盐胁迫方面的研究报道较少,本研究设置了6个NaCl浓度处理,以蒸馏水为对照,根据不同浓度NaCl处理下草木樨种子的萌发率及幼苗生长的生理生态特征来确定不同浓度盐胁迫对草木樨生长的影响,以确定草木樨的耐盐阈值,为草木樨的栽培提供基础资料,并为草木樨在盐分含量较高土地改良中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验材料 供试草木樨种子购买于宁夏大西农种子有限公司,挑选籽粒饱满的种子备用。供试NaCl为分析纯。生长钵规格为25 cm × 50 cm。

1.1.2 数据处理 采用Excel2003和spss16.0软件对数据进行处理。

1.2 方法

1.2.1 种子萌发试验设计 实验在宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室人工培养室(温度25℃,光照12 h·d⁻¹)进行,实验共设置六种NaCl浓度梯度,分别为0 mol·L⁻¹(CK)、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mol·L⁻¹。准备洁净烘干的直径为11 cm的培养皿,选取籽粒饱满、大小均匀一致的草木樨植物种子,经75%的酒精消毒1 min后,先后用自来水、去离子水反复冲洗数次,自然风干后备用。每个培养皿内铺入两张11 cm滤纸,均匀放入100粒种子为一个重复,设3次重复,移入一定量处理盐溶液使其淹没种子,以蒸馏水为对照组,24 h后将培养皿移到人工培养室内,每天早晚各一次用称重法补充蒸发失去的水分以保持盐浓度的恒定,以露白作为种子发芽的标准,每天记录发芽的种子数量,直到无种子发芽为止。

1.2.2 幼苗生长试验设计 实验在宁夏大学温室试验基地进行,准备一定量的大花盆,在大花盆里装入一定量等条件的同种土壤,选取籽粒饱满、大小均匀一致的草木樨植物种子,经75%的酒精消毒1 min,先后用自来水及去离子水冲洗干净并自然风干后,在每个大花盆里均匀的播种200粒种子,设3次

重复,定期浇等量的水使土壤保持湿润,待幼苗地上部分生长到5 cm,其根部扎根稳定时,分别向花盆中加入1 000 ml处理盐溶液使土壤完全浸透,胁迫20 d后测定草木樨幼苗各项生理生态指标。

1.2.3 测定内容与方法

1) 发芽率、发芽势、发芽指数的测定。

从培养的第1天开始,对每个编号处理逐日统计种子发芽数,按下列公式分别计算发芽率、发芽势、发芽指数:

发芽率 = 发芽种子数/供试种子数 × 100%^[16];

发芽势 = 发芽达到高峰期(第三天)时发芽种子数/供试种子数 × 100%^[16]。

发芽指数(GI) = G_t/D_t ^[16]。

式中, G_t 为在时间 t 天的发芽个数, D_t 为发芽天数。

2) 生理生态指标测定。

(1) 胁迫20天后从不同浓度NaCl处理的花盆中连根取出20株草木樨幼苗测量其茎叶长及根长后,剪去其根部并称其质量测量草木樨幼苗地上部分鲜重,随后在65℃下烘干至恒重后计算鲜干比。

(2) 芽(根)长抑制指数(%) = (CK长度—处理长度)/CK长度 × 100%^[17]。

(3) 叶绿素含量测定:采用丙酮乙醇混合液法,参照高俊凤^[18]等方法。

(4) 丙二醛含量测定:丙二醛含量的测定采用TBA比色法,参照李合生^[19]的方法。

2 结果与分析

2.1 NaCl胁迫对草木樨种子发芽率、发芽势及发芽指数的影响

2.1.1 NaCl胁迫对草木樨种子发芽率的影响 发芽率是衡量种子质量好坏的重要指标,受NaCl胁迫的影响(图1),随着NaCl处理浓度的升高,草木樨种子的发芽率整体呈现出下降的趋势,但在0.05 mol·L⁻¹和0.10 mol·L⁻¹NaCl浓度处理下,草木樨种子的发芽率均高于对照组,0.05 mol·L⁻¹NaCl浓度处理下差异不显著,0.10 mol·L⁻¹NaCl处理时差异达到显著水平,说明0.05 mol·L⁻¹NaCl处理对草木樨种子的萌发具有不显著的促进作用,0.10 mol·L⁻¹NaCl处理对草木樨种子的萌发具有显著的促进作用,当NaCl浓度达到0.15 mol·L⁻¹时草木樨种子的发芽率开始受到明显抑制,说明低浓度的NaCl处理对草木樨种子的萌发具有促进作用,而高浓度的NaCl处理对草木樨种子的萌发具有显著的抑制作用。

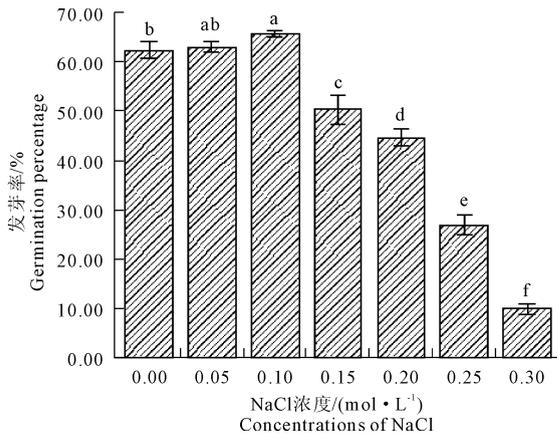


图 1 不同浓度 NaCl 胁迫下种子的发芽率(第 8 天)

Fig.1 Seed germination percentage under various concentrations of NaCl stress(The eighth day)

注:不同小写字母表示在 0.05 水平下各数值之间差异显著,下同。

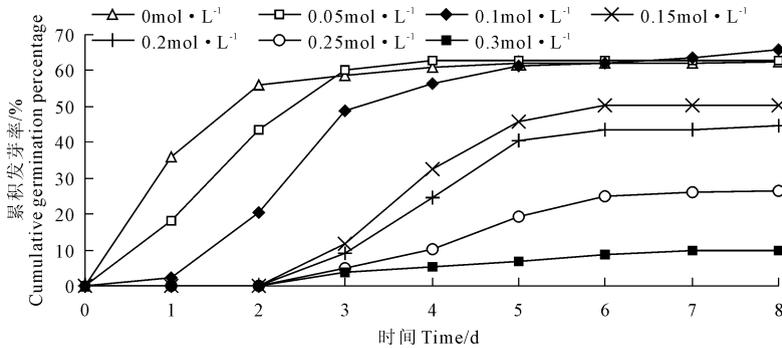


图 2 NaCl 胁迫下种子累积发芽率的变化

Fig.2 Changes of cumulative germination percentage under various concentrations of NaCl stress

2.1.2 NaCl 胁迫对草木樨种子发芽势的影响 发芽势是鉴别种子发芽整齐度的主要指标,草木樨种子的发芽势随着 NaCl 浓度的增大整体呈现出下降的趋势(图 3),但低浓度 NaCl(0.05 mol·L⁻¹)胁迫下草木樨种子的发芽势显著高于对照组,即 0.05 mol·L⁻¹NaCl 处理对草木樨种子的发芽势具有明显的促进作用,差异达到显著水平,当 NaCl 浓度大于等于 0.10 mol·L⁻¹的时种子的发芽势开始明显降低,且差异显著,即低浓度的 NaCl 处理对草木樨种子的发芽势具有显著的促进作用,高浓度则对其有显著的抑制作用,也就是说高浓度的 NaCl 处理降低了草木樨种子的发芽整齐度从而使其发芽势降低。

2.1.3 NaCl 胁迫对草木樨种子发芽指数的影响 种子在失去发芽力之前,已发生了劣变,这可从发芽指数上反映出来(图 4),在 NaCl 胁迫下草木樨种子的发芽指数受到明显的抑制,随着 NaCl 胁迫浓度的增加,草木樨种子发芽指数的下降率也显著增加,其

Note: Different normal letters within the same column indicate significant difference among treatments at 0.05 level; The same as below.

NaCl 对草木樨种子发芽的初始时间也有一定影响(图 2),当 NaCl 处理浓度达到 0.15 mol·L⁻¹时 NaCl 胁迫延长了草木樨种子的初始发芽时间,直到第二天才开始萌发,当 NaCl 处理浓度为 0.05 mol·L⁻¹和 0.10 mol·L⁻¹时在前期有少量的草木樨种子萌发,从第 3 天开始其大量萌发,且 0.05 mol·L⁻¹NaCl 处理下草木樨种子的发芽率高于对照,在萌发后期(第 7 天),0.10 mol·L⁻¹NaCl 处理下草木樨种子的发芽率高于对照和 0.05 mol·L⁻¹NaCl 处理,可见低浓度的 NaCl 处理对草木樨种子的累积发芽率有一定的促进作用,但会延长其大量萌发时间,而高浓度的 NaCl 处理可以推迟种子的萌发时间降低种子的累积发芽率。

存在着显著的差异,由此说明 NaCl 胁迫可使草木樨种子在失去发芽力之前发生劣变,从而影响其发芽指数。

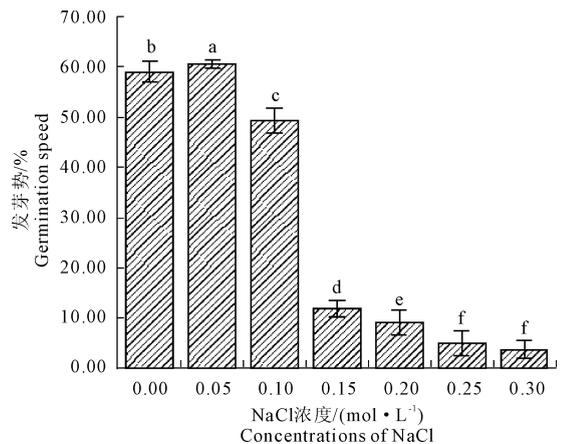


图 3 不同浓度 NaCl 胁迫下种子发芽势(第 3 天)

Fig.3 Seed germination speed under various concentrations of NaCl stress (The third day)

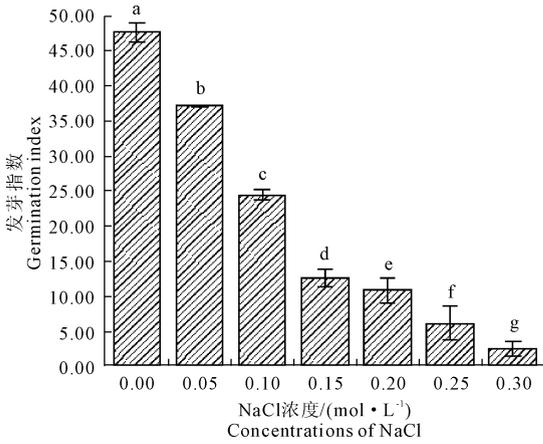


图 4 不同浓度 NaCl 胁迫下种子的发芽指数

Fig.4 Seed germination index under various concentrations of NaCl stress

2.2 NaCl 胁迫对草木樨幼苗茎叶长及根长的影响

随着 NaCl 浓度的增大(图 5),根长和茎叶长抑制指数整体呈现逐渐增大的趋势,低浓度的 NaCl 处理使草木樨幼苗的根长和茎叶长抑制指数在一定程度上均小于零,说明低浓度的 NaCl 处理($\leq 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)对草木樨幼苗根和茎叶的生长有显著的促进作用,并且当 NaCl 浓度为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进作用及其显著,随着 NaCl 浓度的升高,根长和芽长抑制指数显著增加,且随着 NaCl 浓度的增加,NaCl 对草木樨的茎叶长抑制指数明显高于根长抑制指数。

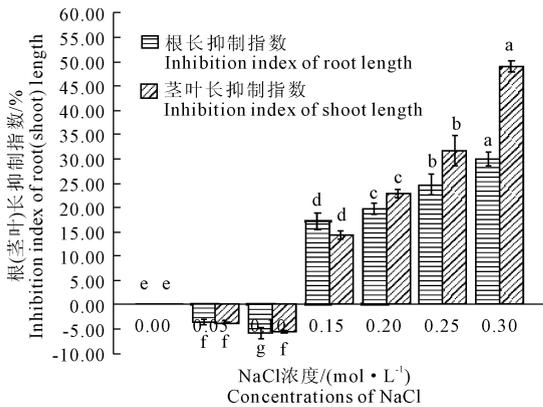


图 5 不同浓度 NaCl 胁迫下幼苗的根(茎叶)长抑制指数

Fig.5 Inhibition index of root (shoot) length of Seedling under various concentrations of NaCl stress

2.3 NaCl 胁迫对草木樨幼苗叶片鲜干重的影响

鲜干比反映了牧草干物质的积累程度及利用价值,同时也反映了牧草水分含量状况,是制定晾晒干草或青贮的理论依据之一(图 6),在低浓度 NaCl 处理($\leq 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)下,草木樨幼苗地上部分的鲜干比显著高于对照,随着 NaCl 浓度的升高,草木樨

幼苗地上部分呈现出明显的下降趋势,即说明低浓度的 NaCl 胁迫可增加草木樨幼苗地上部分水分含量,从而使地上部分鲜重增加,最终使其鲜干比增加。

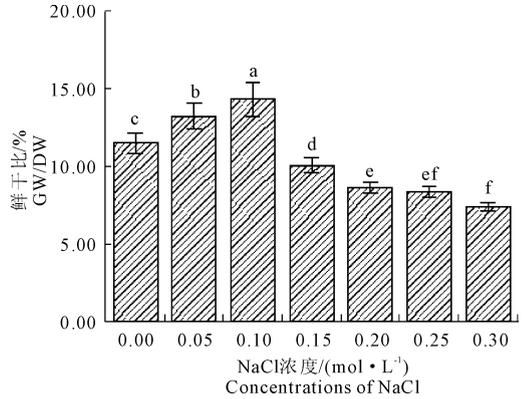


图 6 不同浓度 NaCl 胁迫下幼苗地上部分鲜干比

Fig.6 GW/DW of seedlings under various concentrations of NaCl stress

2.4 NaCl 胁迫对草木樨幼苗叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是光合作用的关键,相反光合作用的进行又影响着叶绿素含量,植株所吸收营养决定植株的生长程度从而决定叶枝是否健壮而影响光合作用,最终影响叶绿素含量,随着 NaCl 处理浓度的升高草木樨幼苗叶片叶绿素含量整体呈现出下降的趋势,在低浓度 NaCl 处理($\leq 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)下草木樨幼苗叶片的叶绿素含量比对照较高,NaCl 浓度为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时其幼苗叶片的叶绿素含量显著高于对照组,当 NaCl 浓度大于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时草木樨幼苗叶片的叶绿素含量都低于对照组,由此可知,低浓度的 NaCl 处理可以增加草木樨幼苗叶片的叶绿素含量,也就是说低浓度 NaCl 处理可加速草木樨幼苗叶片的光合作用。

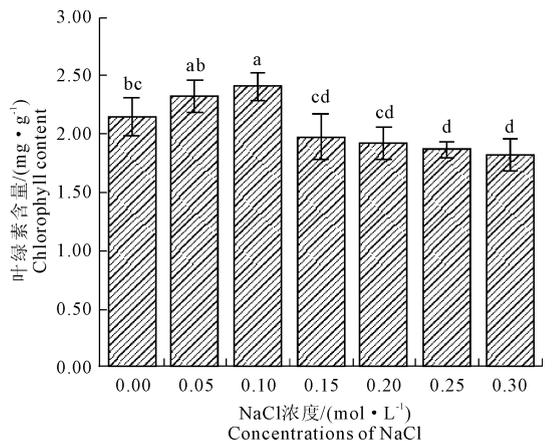


图 7 不同浓度 NaCl 胁迫下幼苗叶绿素含量的变化

Fig.7 Changes of seedlings total chlorophyll under various concentrations of NaCl stress

2.5 NaCl 胁迫对草木樨幼苗叶片丙二醛含量的影响

丙二醛是膜脂过氧化物最终分解产物,其含量可以反映植物遭受盐胁迫伤害的程度,是膜系统受伤害的重要标志之一^[20],丙二醛积累越多表明组织的保护能力越弱^[21](图 8),随着 NaCl 处理浓度的增加草木樨幼苗叶片的丙二醛含量也逐渐增加,当 NaCl 浓度为 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,草木樨幼苗叶片中的丙二醛含量和对照相差不大,当 NaCl 浓度大于等于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,草木樨植物叶片中丙二醛含量显著增加。

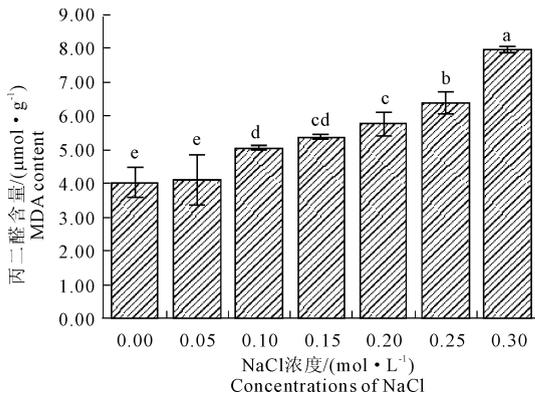


图 8 不同浓度 NaCl 胁迫下幼苗丙二醛含量的变化

Fig. 8 Changes of seedlings MDA under various concentrations of NaCl stress

3 结论与讨论

1) 草木樨种子萌发刚开始计数时,NaCl 处理过的种子的累积发芽率明显低于对照,随着萌发时间的延长,经低浓度 NaCl 处理的草木樨种子的累积发芽率开始高于对照,而高浓度 NaCl 处理推迟了草木樨种子初始萌发时间,这主要是由于在高盐环境下,草木樨种子不能从外界吸收足够的水分来合成萌发所需的各种酶和结构蛋白,难以完成细胞分裂分化、胚生长。

2) 低浓度 NaCl 处理下草木樨种子的发芽率、发芽势显著高于对照,即说明低浓度的 NaCl 处理对草木樨种子的萌发具有明显的促进作用,而高浓度 NaCl 处理时草木樨种子的发芽率显著低于对照,即说明高浓度的 NaCl 处理对草木樨种子的萌发具有显著的抑制作用,但是在不同浓度 NaCl 胁迫下草木樨种子的发芽指数始终低于对照。

国内已有大量关于种子耐盐性的研究^[1,5,13],杨姝,杜桂娟^[22]研究了盐胁迫下沙打旺种子的萌发

特性,结果表明低浓度盐胁迫有利于沙打种子萌发及植物生长,而高浓度盐胁迫则抑制沙打旺种子萌发及植物生长。本试验研究结果与杨光^[23],王广印等^[5]和顾晓薇^[24]研究结果一致,低浓度 NaCl 促进草木樨种子萌发这与低盐促进细胞膜的渗透调节有关,并且微量无机离子(Na^+)对呼吸酶有激活作用^[5],而高浓度 NaCl 胁迫抑制种子发芽率是由于渗透效应和毒性效应^[25],使细胞的渗透调节作用、膜脂和脂肪酸的组成及生理代谢酶活性等方面产生不良影响所致,同时高浓度 NaCl 胁迫破坏了细胞质膜的完整性,导致细胞膜选择性透性下降甚至丧失, Na^+ 、 Cl^- 等在细胞内的大量积累,降低了 K、Ca 等元素的含量,造成这些元素的亏缺,细胞内离子失调,引发一系列代谢紊乱^[5]。并且高浓度的 NaCl 胁迫可降低草木樨种子发芽整齐度从而使其发芽势降低。

3) 当 NaCl 浓度小于等于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时草木樨幼苗地上部分的鲜干比显著高于对照,而其根长和茎叶长抑制指数均小于零,当 NaCl 浓度大于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时地上部分的鲜干比则小于对照,此时根长和茎叶长抑制指数则大于零。

生理指标直接反映着植物地上部分的生长特征,张明轩等^[26]在 NaCl 胁迫对马蔺生长及生理生化指标的影响研究中表明,低浓度的 NaCl 胁迫可促进马蔺植株地上部分的生长,而高浓度明显抑制其地上部分的生长,本研究结果与绳仁立等^[27]和杨秀红等^[28]研究结果一致。这是由于土壤中盐分过多,水势降低,幼苗吸水困难,造成细胞内水分亏缺,影响幼苗的生长,并且高浓度 NaCl 胁迫下草木樨幼苗根部的 Na^+ 、 Cl^- 含量高于地上部分,从而高浓度 NaCl 胁迫对草木樨幼苗根部的破坏程度高于地上部分,因此高浓度的 NaCl 胁迫对草木樨幼苗根的抑制作用大于对茎叶的抑制作用。

4) 当 NaCl 浓度小于等于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时其叶绿素含量大于对照,当 NaCl 浓度大于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时叶绿素含量则小于对照。而丙二醛含量随着 NaCl 浓度的增高呈现出上升的趋势。

叶绿素含量直接反映植物光合作用的强弱,低浓度的 NaCl 处理可以增加草木樨幼苗叶片的叶绿素含量,也就是说低浓度 NaCl 处理可加速草木樨幼苗叶片的光合作用,这和郑世英等^[29]研究结果一致,这是由于高浓度 NaCl 胁迫下草木樨幼苗叶片叶绿体膜结构被破坏,不利于叶绿体把光能转化为化

学能^[21],从而使叶片叶绿素含量降低。而丙二醛含量是植物逆境下膜脂氧化的主要产物,其含量的多少直接反映植物遭受伤害的程度,不同浓度的NaCl处理均可破坏草木樨叶片膜系统,诱发细胞膜的脂质过氧化,从而使其叶片中的丙二醛含量增加,这和李吉玫等^[30]和宋旭丽等^[31]研究结果一致。

5) 草木樨种子发芽率和幼苗地上部分鲜干比、根长、茎叶长及其叶片叶绿素含量产生影响的NaCl胁迫阈值为 $0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

研究草木樨种子及幼苗的耐盐阈值,为草木樨的栽培可以提供基础资料,同时可为草木樨在盐分含量较高土地改良中的应用提供理论依据,并且可以产生一定的经济、生态及社会效益,但是其产生的经济、生态及社会效益到底有多大还需要进一步的探索研究。

参考文献:

- [1] 廉彭彭,周桂玲.NaCl胁迫对疣苞滨藜种子萌发和早期幼苗生长的影响[J].西北植物学报,2008,28(12):2461-2466.
- [2] 赵可夫.植物抗盐生理[M].北京:科学出版社,1993.
- [3] 庞士铨.植物逆境生理学基础[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1990:67-68.
- [4] 苏丹,赵凯鑫,张永霞,等.不同盐碱条件对黄芪种子及幼苗的影响[J].人参研究,2010,1(2):29-34.
- [5] 王广印,周秀梅,张建伟,等.NaCl胁迫对不同品种黄瓜种子发芽的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):121-124.
- [6] 吕有军,叶武威,祝水金.陆地棉种子萌发过程中盐处理对NaCl胁迫的缓解作用[J].棉花学报,2005,17(4):256.
- [7] 黄振英,张新时,郑光华,等.光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响[J].植物生理学报,2001,27(3):275-280.
- [8] Prado F E, Boero C, Gallardo M, et al. Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Wild seeds[J]. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 2000, 41: 27-34.
- [9] Dash M, Panda S K. Salt stress induced changes in growth and enzyme activities in germinating *Phaseolus mungo* seeds [J]. Biology Plant Arum, 2001, 44(4): 587-589.
- [10] 马红媛,梁正伟,孔祥军,等.盐分、温度及其互作对羊草种子发芽率和幼苗生长的影响[J].生态学报,2008,28(10):4710-4717.
- [11] 渠晓霞,黄振英.盐生植物种子萌发对环境的适应对策[J].生态学报,2005,25(9):2389-2398.
- [12] 朱杰辉,林鹏,刘明月.温度和盐分胁迫对野大麦种子萌发的影响[J].草业科学,2007,24(12):30-33.
- [13] 沈禹颖,王锁民,陈亚明.盐胁迫对牧草种子萌发及其恢复的影响[J].草业学报,1999,8(3):54-60.
- [14] 周芝琴,李廷山,胡小文.莎草科4种植物种子休眠与萌发特性的研究[J].西北植物学报,2013,33(9):1885-1890.
- [15] Levitt J. Responses of Plants to Environmental Stress [M]. New York: Academic press, 1980:300-590.
- [16] 郭彦,杨洪双,赵家斌.混合盐碱对大豆种子萌发的影响[J].种子,2008,27(12):92-94.
- [17] 任安芝,高玉葆.铅、镉、铬单一和复合污染对青菜种子萌发的生物学效应[J].生态学杂志,2000,19(1):19-22.
- [18] 孟林,毛培春,张国芳.偃麦草属植物种质材料不同耐盐群体生理指标分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):84-89.
- [19] 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.
- [20] 孙国荣,关阳,阎秀峰.盐胁迫对星星草幼苗保护酶系统的影响[J].草地学报,2001,9(1):34-38.
- [21] 王丽燕,赵可夫.玉米幼苗对盐胁迫的生理响应[J].作物学报,2005,31(2):264-266.
- [22] 杨妹,杜桂娟.盐胁迫下沙打旺种子的萌发特性[J].现代畜牧兽医,2011,(1):50-51.
- [23] 杨光.盐碱胁迫对豆科牧草种子萌发及其生理的影响(D).黑龙江:东北师范大学,2009,12-17.
- [24] 顾晓薇.NaCl胁迫对两种盐生植物种子萌发及幼苗生理指标的影响(D).江苏:南京林业大学,2011,36-39.
- [25] 卢艳敏.不同盐胁迫对高羊茅种子萌发的影响[J].草业科学,2012,29(7):1088-1093.
- [26] 张明轩,黄苏珍,绳仁立,等.NaCl胁迫对马蔺生长及生理生化指标的影响[J].植物资源与环境学报,2011,20(1):46-52.
- [27] 绳仁立,佟海英,柴翠,等.NaCl胁迫对甜菊不同品种幼苗生长的影响[J].植物资源与环境学报,2010,19(2):60-67.
- [28] 杨秀红,李建民,董学会,等.盐胁迫对甘草幼苗生长及其生理指标的影响[J].华北农学报,2006,21(4):39-42.
- [29] 郑世英,萧蓓蕾,金桂芳.NaCl胁迫对野生大豆和栽培大豆叶绿素及光合特性的影响[J].大豆科学,2013(32):486-489.
- [30] 李吉玫,张毓涛.NaCl胁迫对2种豆科植物种子萌发及生理指标的影响[J].福建林学院学报,2013,32(4):486-489.
- [31] 宋旭丽,侯喜林,胡春梅,等.NaCl胁迫对超大甜椒种子萌发及幼苗生长的影响[J].西北植物学报,2011,31(3):569-575.