

# 赤霉素对盐害下碱茅的萌发和幼苗生长的影响

孙 彬, 陈为峰

(山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271000)

**摘 要:**以碱茅为试材,在 100 mmol/L 的 NaCl 盐胁迫下,通过种子培养、室内盆栽试验,研究盐胁迫下不同浓度赤霉素(8,15,20,25,50 mg/L)对碱茅种子萌发、幼苗生长的影响。结果表明:(1) 100 mmol/L 的 NaCl 严重抑制碱茅的种子萌发和幼苗生长,碱茅种子的发芽率、发芽势和发芽指数、根茎长显著降低,根系活力、过氧化物酶活力受到严重抑制;(2) 在外源赤霉素溶液为 8~20 mg/L 的范围内,随着浓度的升高,碱茅种子的发芽率、发芽势和发芽指数、根茎长逐渐升高,根系活力、过氧化物酶活力、耐盐指数明显提高;(3) 高浓度(>20 mg/L)的外源赤霉素浸种处理,对种子的促进作用逐渐下降,当赤霉素浓度为 50 mg/L 时,碱茅的发芽率和根茎比低于对照,产生了抑制效应。结论:不同浓度赤霉素对提高碱茅种子耐盐性有不同程度的促进作用,以赤霉素浓度为 20 mg/L 时作用效果最佳。

**关键词:**草业科学;盐胁迫;碱茅;赤霉素;抗盐性

中图分类号:S143.8

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0030-05

## Effect of Gibberellin on the Seed Germination and Seedling Growth of *Puccinellia distans* Under Salt-stress

SUN Bin, CHEN Wei-feng

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** The *Puccinellia distans* seeds were treated with different gibberellin concentrations (8, 15, 20, 25, 50 mg/L) under the NaCl salt stress (100 mmol/L) in analogue experiments so as to study the influence on their seed germination and seedling growth. The results showed that: (1) 100 mmol/L NaCl significantly inhibited the seed germination and seedling growth, germination percentage, germination energy, germination index, root length and grass height significantly reduced, root activity, peroxidase activity and index of salinity tolerance were significantly inhibited, too; (2) during the range of 8~20 mg/L all the index data were improved; (3) but the promoting effect had fallen obviously when the the concentration of gibberellin is more than 20 mg/L. When the concentration of gibberellin is 50 mg/L, the seed germination and the ratio of *Puccinellia distans* roots and stems were lower than control sample, depression effect of gibberellin was obvious. Therefore, different concentrations of gibberellin have different promoting effects. The best promoting effect of gibberellin was found at the concentration of 20 mg/L.

**Key words:** pratacultural science; salt stress; *Puccinellia distans*; gibberellic acid; salt resistance

排水沟渠边坡坍塌防治和生态修复一直是目前黄河下游平原区盐渍土地开发利用中的重大难题。采用工程措施进行护坡,效果好,但成本巨大而难以推广;大量的研究表明,植物以显著且重要的方式影响边坡表面与土体的稳定<sup>[1]</sup>。利用植物对土壤结构的强化,对表层土壤颗粒运动的限制,以及对边坡生态系统的改善等作用,不仅能够稳定边坡和控制水土

流失,还能确保边坡植被的水平和垂直结构合理,生态系统演替有序和景观优美<sup>[2]</sup>。但是边坡植被自然恢复后,边坡虽然趋于稳定,可是所要花费的时间和成本太高。因此立足于边坡植被人工快速重建,以探索应用成本低廉、管护费用低、同时生态效益显著的植物生态护坡技术为目标,是急需解决的重要技术问题,具有广阔的应用前景。在边坡植被人工快速重建

收稿日期:2014-01-17

修回日期:2014-02-24

资助项目:国家环保公益性行业科研专项任务(200809047);山东省中青年科学家科研奖励基金(2007BSB08007)

作者简介:孙彬(1988—),女,山东青岛人,研究生,研究方向为土地生态整治、草地生态与管理研究。E-mail:zishanxiaomu@163.com

通信作者:陈为峰(1970—),男,山东日照人,教授,博士,博士生导师,研究方向为土地生态整治、草地生态与管理研究。E-mail:chwef@sdau.edu.cn

中,耐盐、耐涝、耐旱的优良护坡植物的筛选及其应用是沟渠生态护坡技术的关键和核心。

碱茅是一种多年生冷季型耐盐草本植物,对土壤中的  $\text{Na}^+$  有较强的抗性,是改良盐渍土的先锋植物,还可作为牧草,被广泛应用于盐碱土地区草坪建植和公路护坡,在近年来我们在黄河三角洲的盐渍土地开发中也探索应用于排水沟渠边坡防护,固土护坡与牧草生产结合,经济效益良好,应用前景广阔。碱茅耐盐性虽然很强,但是是指碱茅成株的耐盐性强,种子和苗期的耐盐性仍然偏低<sup>[3]</sup>,随着盐溶液浓度的增加,发芽率逐渐降低,平均发芽时间逐渐延长<sup>[4]</sup>。因此,基于排水沟渠边坡的特殊生境,突破碱茅建植初期的盐分胁迫和缺乏淡水灌溉的限制,是实现植被顺利恢复和功能发挥的前提。

近年来,关于施加不同外源物提高植物耐盐性的研究一直是热点<sup>[5-7]</sup>。赤霉素作为五大植物激素之一,是一种高效能的广谱植物生长调节剂,对植物生长的影响越来越引起科学家的关注。近年来有关研究表明<sup>[8-10]</sup>,不同浓度的外源赤霉素对盐胁迫条件下植物种子的萌发及幼苗的生长具有不同程度的缓解作用。但关于赤霉素缓解盐胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响,在碱茅上至今未见报道。本文研究了外源赤霉素对  $\text{NaCl}$  胁迫下碱茅种子萌发和幼苗生长的影响,以进一步探明赤霉素处理对提高碱茅建植期耐盐性的作用,为阐明赤霉素提高耐盐性的机理提供理论基础,为快速建立生物护坡体系提供理论和技术指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与试验环境

试验种子来自甘肃草原生态研究所。试验土壤采用在滨州无棣县采集的大田盐渍土,测定主要理化指标(表 1)。试验试剂以及配制营养液的其他化合物均为分析纯试剂。试验于 2013 年 1—11 月在山东农业大学资环学院智能温室和草业科学试验室内进行。

表 1 滨州无棣盐渍土理化性质

| 土壤理化指标                                   | 测定结果  |
|--|-------|
| pH 值                                     | 8.12  |
| 盐分/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )   | 6.78  |
| 有机质/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  | 6.02  |
| 全氮/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )   | 0.51  |
| 速效氮/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 36.3  |
| 速效磷/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 23.74 |
| 速效钾/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 90.41 |

### 1.2 设计

#### 1.2.1 试验方案

(1) 主要溶液配制。赤霉素溶液:赤霉素来自上

海蓝季科技发展有限公司,纯度 $>99\%$ ,呈白色结晶,不溶于水,溶于乙醇。试验中先用少量酒精将赤霉素溶解,再加水稀释到所需的各个浓度。 $\text{NaCl}$  溶液: $\text{NaCl}$  溶液需用完全霍格兰氏营养液配置。

(2) 发芽试验。种子先进行预处理:取饱满、整齐一致的碱茅种子,经消毒、冲洗后用吸水纸吸干。用 5%高锰酸钾溶液浸泡消毒 20 min,清水冲洗。将种子分为 7 份,取其中 5 份分别用 8,15,20,25,50  $\text{mg/L}$  赤霉素溶液浸泡 24 h。然后分别放入直径 10 cm 的培养皿中,每皿 50 粒种子,剩下两份碱茅种子以蒸馏水浸种 24 h,作为试验对照组,分别以完全霍格兰氏营养液、100  $\text{mmol/L}$  浓度的  $\text{NaCl}$  溶液培养,标记为 CK00,CK0。每个浓度设 3 次重复,置于 25℃的恒温培养箱中暗培养,出苗后每天光照 12 h,培养过程中定时更换  $\text{NaCl}$  培养液以保证其浓度。

(3) 盆栽试验。取饱满、整齐一致的碱茅种子,经消毒、冲洗后用吸水纸吸干。用 5%高锰酸钾溶液浸泡消毒 20 min,清水冲洗。将种子分为 7 份,取其中 5 份分别用 8,15,20,25,50  $\text{mg/L}$  赤霉素溶液浸泡 24 h,剩下两份碱茅种子以蒸馏水浸种 24 h,作为试验对照组,置于 25℃的恒温培养箱中暗培养 24 h,然后播种于花盆中。播种土壤经风干、过筛后,装入规格为 14 cm $\times$ 13 cm $\times$ 14 cm 的花盆中,每盆 2 kg。每 3 d 浇 1 次 1/2 剂量的霍格兰氏营养液。待碱茅草生长 1 周,取一份蒸馏水浸种的处理组,以完全霍格兰氏营养液培养,标记为 CK00,其余 6 组以 100  $\text{mmol/L}$  浓度的  $\text{NaCl}$  溶液培养,每处理设 3 个重复。4 周后,对各处理草样进行相关指标的测定。

种子处理组别的具体设置见表 2:

表 2 试验设置

| 处理   | 赤霉素浓度/<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | $\text{NaCl}$ 浓度/<br>( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) |
|------|---|--|
| CK00 | 0   | 0  |
| CK0  | 0   | 100  |
| CK1  | 8   | 100  |
| CK2  | 15  | 100  |
| CK3  | 20  | 100  |
| CK4  | 25  | 100  |
| CK5  | 50  | 100  |

#### 1.2.2 测定指标

(1) 种子发芽情况:按照《国际种子发芽规程》的规定,定期记录种子的萌发数,第 4 d 统计种子发芽势,第 7 d 统计其发芽率,计算 7 d 内的种子发芽指数。(发芽指数 $=\sum G_t/D_t$ ,式中: $G_t$ ——在  $t$  日的发芽数; $D_t$ ——相应的发芽试验天数<sup>[11]</sup>)。

(2) 幼苗生长情况:生长至第 9 d 时,随机挑出

同一浓度中的 10 棵幼苗,测量根长及芽长,求平均值,计算根茎比。

(3) 根系活力:用张瑜<sup>[12]</sup>等人的 TTC 法测定。(以单位时间、重量的四氮唑还原量来表示 $[\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})]$ 。

(4) 过氧化物酶活性:用张玉荣<sup>[13]</sup>等人的愈创木酚法测定。以每分钟吸光度变化值表示酶活性大(IU)。

(5) 耐盐指数:根据武春霞等<sup>[14]</sup>的研究,耐盐指数=(平均相对发芽率+相对发芽势+平均胚根长度)/3。

1.2.3 数据处理 数据统计采用 SPSS 13.0 进行方差分析,用 LSD 法进行差异显著性多重比较( $P<0.05$ ),以 Excel 2003 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 对碱茅种子萌发的影响

由表 3 可知,经蒸馏水处理后碱茅种子,在 100 mmol/L 的 NaCl 盐胁迫条件下(CK0),萌发情况明显比同样仅用蒸馏水处理的碱茅种子(CK00)迟缓,发芽势、发芽率、发芽指数低于对照,差异显著( $P<0.05$ )。说明盐胁迫抑制了碱茅种子的萌发。在 15~50 mg/L 赤霉素处理中,发芽势、发芽率、发芽指数均与 CK0 有显著性差异( $P<0.05$ ),说明适宜浓度的赤霉素可以缓解盐胁迫对种子萌发的伤害。尤其当赤霉素浸种浓度为 20 mg/L 时,种子萌发率为 63.33%,为 CK0(46%)的 138%,差异达到了极显著水平。然而随着赤霉素浸种浓度升高至 25 mg/L 时,发芽率却接近 CK0 处理,可见赤霉素浓度过高,失去了促进碱茅种子发芽的作用。

| 表 3 不同浓度赤霉素对盐胁迫下碱茅种子萌发的影响                   |               |              |              |
|---|---------------|--------------|--------------|
| 赤霉素浓度/<br>( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 发芽势           | 发芽率/%        | 发芽指数         |
| CK00  | 23.33±3.71ab  | 56.67±1.76ab | 13.93±1.15ab |
| CK0   | 12.67±4.81d   | 46.00±2.00b  | 9.74±1.00c   |
| 8   | 15.00±1.73cd  | 50.00±6.93ab | 10.89±0.86c  |
| 15  | 18.00±1.53b   | 47.33±2.91b  | 11.26±0.59bc |
| 20  | 29.33±0.67a   | 63.33±4.67a  | 16.38±0.81a  |
| 25  | 22.67±1.45abc | 55.33±6.36ab | 13.57±1.17b  |
| 50  | 20.67±1.76bc  | 44.00±3.06b  | 11.45±0.23bc |

### 2.2 对碱茅幼苗根长、茎长、根茎比的影响

由图 1 可看出,与 CK00 相比,CK0 试验组的碱茅种子,盐胁迫作用对根长茎长的生长抑制明显,根茎长度皆为 CK00 长度的 2/3 左右。在盐胁迫条件下,经过 8~50 mg/L 不同浓度赤霉素浸种处理的碱茅种子,根部和茎部的长度明显长于 CK0。说明适

宜浓度的赤霉素能对抗盐胁迫,对碱茅生长起到了一定的促进作用。其中,20 mg/L 赤霉素对根长促进作用最为明显,15 mg/L 赤霉素对茎长的伸长作用最为明显,根长、茎长分别达到 2.23,3.11 cm,分别是 CK0(1.41,2.29 cm)的 158%,129%,且差异达到显著水平( $P<0.05$ )。根茎鲜重的比值如图 1 所示,出现同样的趋势,CK0 受抑制影响最大,20 mg/L 赤霉素作用下有最大促进作用,在各试验组中有最大根茎比值 0.755,是 CK0 的 120%,差异同样达到显著水平( $P<0.05$ )。但是当赤霉素浓度超过 20 mg/L 后,根茎比反而有下降趋势,甚至在 25 mmol/L 时低于 CK0 试验组数据。表明过高的赤霉素浓度对碱茅幼苗盐胁迫的解除作用明显下降。

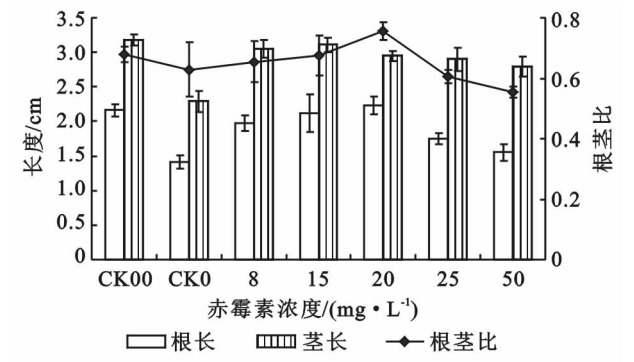


图 1 不同浓度赤霉素对盐胁迫下碱茅幼苗根长、茎长、根茎比的影响

### 2.3 对碱茅根系活力及幼苗过氧化物酶活性的影响

由图 2 可知,与 CK00 相比,盐胁迫条件下 CK0 碱茅根系活力显著降低,可见盐胁迫显著抑制了碱茅种子的生长。但在盐胁迫条件下,5 个不同浓度赤霉素浸种处理的碱茅种子内的根系活力值均高于 CK0,其中 20 mg/L 赤霉素的根系活力值最高,为 0.351  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 是 CK0[0.281  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]的 125%,差异达到显著水平( $P<0.05$ )。但赤霉素浓度超过 20 mg/L 后,根系活力虽然仍高于 CK0,但是已有明显下降趋势。说明只有在一定适宜浓度范围内的赤霉素浸种,对碱茅生长有促进作用,能缓解盐胁迫对碱茅种子生长的抑制作用。

碱茅幼苗各试验组的过氧化物酶含量与根系活力有相同的趋势,如图 2 所示,CK0 试验组过氧化物酶含量最低,其余各处理组过氧化物酶含量随赤霉素溶液浓度的增加呈先升高后降低的趋势,尤其在赤霉素浓度为 20 mg/L 时,有最大含量 3.273 IU,是 CK0 (1.468 IU) 的 223%,差异达到极显著水平( $P<0.01$ )。但在赤霉素浓度继续增加时,过氧化物酶含量随之降低。说明在一定浓度的外源赤霉素处理下,碱茅在盐胁迫下的抗氧化能力的确能得到显著增强。

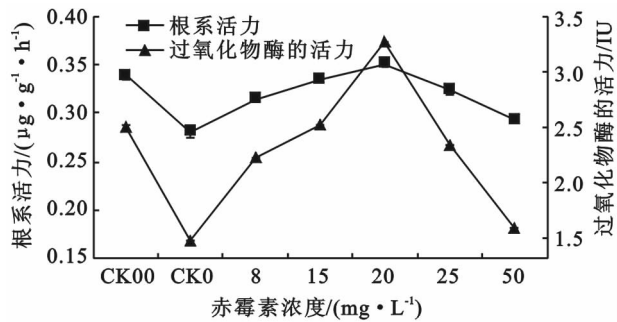


图2 不同浓度赤霉素对盐胁迫下碱茅幼苗根系活力及过氧化物酶活性的影响

## 2.4 对碱茅幼苗耐盐指数的影响

根据武春霞等人对种子的耐盐性研究中提出的公式<sup>[12]</sup>,耐盐指数计算需要有一个基础值作为对比。本文的探究主题是在盐胁迫的前提下,不同浓度赤霉素对于碱茅生长的作用。而CK00的处理设计中,体现不出盐胁迫的影响,因此,以CK0的处理组数值作为相对值,更贴合本文的主题。

由图3可知,在盐胁迫条件下,经过8~50 mg/L不同浓度赤霉素浸种处理的碱茅种子,其耐盐指数均高于CK0数值,这说明在赤霉素的作用下的确能帮助碱茅种子对抗盐胁迫。观察各组处理数据,尤其是20 mg/L赤霉素的试验数据,此时耐盐指数与CK0相比有最大值达到1.85,说明这个浓度的赤霉素对缓解盐胁迫,促进碱茅的生长作用最为明显。但是当赤霉素浓度超过20 mg/L后,耐盐指数略有下降趋势。这说明外源赤霉素溶液对碱茅的生长促进作用,是有一定的最适使用范围的。

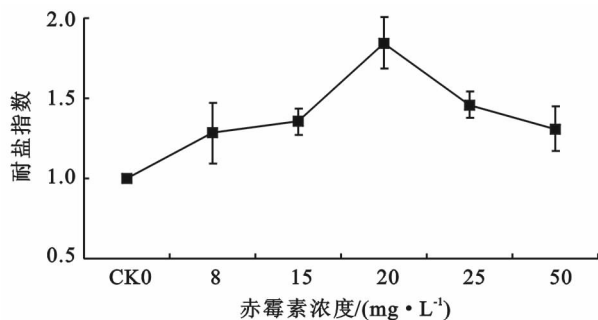


图3 不同浓度赤霉素对盐胁迫下碱茅幼苗耐盐指数的影响

## 3 讨论与结论

有研究表明,种子发芽势、发芽率、发芽指数、根长等指标可作为种子萌发期耐盐性鉴定指标<sup>[15]</sup>。另有研究表明,在种子萌发的最初阶段,首先面临的是由盐分造成的渗透胁迫,高浓度盐分诱导种子休眠,种子胚轴和子叶的碳代谢活动降低,酚类物质含量增加,种子发芽时间延迟<sup>[16]</sup>,发芽率、发芽势、发芽指数降低<sup>[17]</sup>。因此,发芽相关指标的高低能直观的表明

抗盐性的高低。根茎比是指地下部分鲜重与地上部分鲜重之比,为评价苗木质量的重要指标。根据刘友良、毛才良等人的研究,从根系与地上部分之间的相互关系去分析植物的耐盐能力是可行的,根茎比值小的植物,其耐盐性往往比较差<sup>[18]</sup>。根系活力指数是评定种子活力的一个重要指标,活力强度可持续影响植物生长,活力高的种子,可提高田间出苗率和抵御不良的环境条件<sup>[19]</sup>。过氧化物酶是植物体内重要的呼吸酶类,其活性高低与酚类物质代谢,植物抗性密切相关。在逆境条件下,植物细胞内自由基产生和清除的平衡遭到破坏,过量产生的自由基会对植物造成伤害,降低根系活力。而过氧化物酶是活性氧清除酶系统的重要保护酶,在逆境胁迫中清除过量的活性氧,维持活性氧的代谢平衡,可以缓解盐胁迫对幼苗的氧化损伤,使幼苗对盐胁迫的抗性增强,在一定程度上抵御逆境伤害<sup>[20]</sup>。植物在盐胁迫下表现出来的耐盐性是一个非常复杂的过程,其耐盐能力的大小是多种代谢的综合表现,使用单一指标来评价种子的耐盐性具有片面性,不能真实客观的反映植物的真实耐盐性<sup>[21]</sup>。但是通过耐盐指数大体上能反映出碱茅种子的耐盐性强弱。耐盐指数愈大,幼苗耐盐性愈强。在试验盐胁迫浓度的设定上,根据沈禹颖等人的试验结果表明,低于100 mmol/L的NaCl浓度对种子萌发有促进作用,高于该浓度,萌发受到抑制直至完全停止<sup>[22]</sup>,因此100 mmol/L的NaCl浓度可作为研究碱茅盐胁迫下生长情况的临界浓度。所以,本试验在评价指标的选择以及盐胁迫浓度的设置上具有理论可行性。

本试验结果表明,100 mmol/L的NaCl的盐胁迫对碱茅种子萌发的抑制作用较为明显。发芽势、发芽率、发芽指数、根茎比、根系活力、过氧化物酶含量、耐盐指数等指标均显著下降。但是在用适宜浓度的赤霉素试剂处理碱茅后,种子对盐胁迫的承受能力受到了影响。在本试验设置的赤霉素浓度梯度中,随着赤霉素浓度的升高,在8~20 mg/L的中低浓度梯度范围内,赤霉素溶液的处理均能在不同程度上提高碱茅种子的耐盐能力,具体表现在能明显缩短种子发芽天数,提高发芽势、发芽率和发芽指数,使发芽较为整齐一致,对幼苗的生长情况起显著促进作用,大幅度增加根长茎长和根茎比数值。根系活力、过氧化物酶含量、耐盐指数等指标随着赤霉素溶液浓度的增加呈现先直线上升的趋势。在赤霉素溶液浓度达到20 mg/L时,各指标呈最大值,发芽势是29.33%,为CK0的232%;发芽率63.33%,为CK0的138%;发芽指数16.38,为CK0的168%;根长2.23 cm,为

CK0 的 158%; 茎长 2.95 cm, 为 CK0 的 129%; 根茎比 0.755, 为 CK0 的 120%; 根系活力  $0.351 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 为 CK0 的 125%; 过氧化物酶含量 3.273 IU, 为 CK0 的 223%; 耐盐指数为 1.85。但当赤霉素浓度  $> 20 \text{ mg/L}$  后, 促进作用随着浓度的增加而减弱。当赤霉素浓度为  $50 \text{ mg/L}$  时, 碱茅的各指标均为本次试验对应组的最低值, 发芽势是 20.67%, 为 CK0 的 163%; 发芽率 44.00%, 为 CK0 的 96%; 发芽指数 11.45, 为 CK0 的 118%; 根长 1.55 cm, 为 CK0 的 110%; 茎长 2.79 cm, 为 CK0 的 122%; 根茎比 0.554, 为 CK0 的 88%; 根系活力  $0.293 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 为 CK0 的 104%; 过氧化物酶含量 1.589 IU, 为 CK0 的 108%; 耐盐指数为 1.308。发芽率和根茎比低于 100%, 说明此赤霉素浓度的存在对碱茅的发芽率和根茎比产生了抑制作用。

综上所述, 外源赤霉素可以提高盐胁迫下碱茅种子各项指标, 提高盐环境下碱茅的发芽率、发芽整齐度; 促进盐胁迫下碱茅幼苗根茎的生长, 提高幼苗根系活力; 增加幼苗体内过氧化物酶含量, 减轻幼苗受到的盐胁迫, 有利于碱茅幼苗在盐环境下的生长, 这与前人在农作物等植物领域进行的研究结果一致<sup>[8-10]</sup>。但是对于环境保护类的植物, 赤霉素在抵抗盐胁迫, 提高植物的耐盐性这方面的作用, 并没有太多的研究。基于这种原因, 将盐胁迫、赤霉素、碱茅 3 个关键要素结合在一起进行试验。通过试验可得,  $20 \text{ mg/L}$  赤霉素溶液对碱茅的生长、增加抗盐性具有最大促进作用。因此, 外源赤霉素浸种可以作为提高碱茅种子建植期耐盐性的一种方法, 可以为快速建立生物护坡体系提供理论基础和技术指导。但是, 对于外源赤霉素提高碱茅种子萌发性的内在机理的探究在本试验中未有过多深入研究, 是下一步继续探究和学习的重要方向。

#### 参考文献:

- [1] 吕晶, 高甲荣, 王颖, 等. 不同护坡植物对岸坡土壤性质的影响及效应分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 101-104.
- [2] 赵广琦, 崔心红, 奉树成, 等. 植物护坡及其生态效应研究[J]. 水土保持学报, 2008, 21(6): 60-64.
- [3] 郝志刚, 胡自治, 朱兴运. 碱茅耐盐性的研究[J]. 草业学报, 1994, 3(3): 27-36.
- [4] 任小青, 冀宏. 盐胁迫对碱茅草种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11740-11740.
- [5] 吴雪霞, 朱为民, 陈建林, 等. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下番茄幼苗生长及相关物质含量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 216-220.
- [6] 刘爱荣, 张远兵, 汪建飞, 等. 适量施氮增强盐胁迫下高羊茅生长和抗氧化能力[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 126-135.
- [7] 赵艳艳, 胡晓辉, 邹志荣, 等. 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸 (ALA) 浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 62-70.
- [8] 李萍, 华春, 周泉澄, 等. 外源赤霉素对盐胁迫下盐角草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(9): 5119-5121.
- [9] 徐芬芬, 李田. 外源赤霉素 GA3 对混合盐碱胁迫下小白菜种子萌发的影响[J]. 生物加工过程, 2013, 10(6): 56-59.
- [10] 张丽丽, 张战, 赵一洲, 等. 外源赤霉素对盐胁迫下水稻幼苗生长及生理基础的影响[J]. 北方水稻, 2013, 43(3): 4-7.
- [11] 陈志刚, 张红蕊, 周晓红, 等. 铝胁迫对黑麦草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 207-210.
- [12] 张瑜, 虞道耿, 白昌军. TTC 法测定猪屎豆种子生活力的研究[J]. 草业与畜牧, 2013(1): 19-22.
- [13] 张玉荣, 刘通, 周显青. 影响愈创木酚法测定玉米过氧化物酶活力的因素[J]. 粮油加工, 2008(3): 94-97.
- [14] 武春霞, 杨跃, 杨静慧, 等. 盐胁迫下 3 种耐盐植物的种子萌发和生长及其耐盐性研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(10): 3968-3969.
- [15] 董志刚, 程智慧. 番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及耐盐指标评价[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1348-1355.
- [16] Dkhil B B, Denden M. Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench seeds[J]. Afr. J. Agric. Res, 2010, 5(6): 408-415.
- [17] Rubio-Casal A E, Castillo J M, Luque C J, et al. Influence of salinity on germination and seeds viability of two primary colonizers of Mediterranean salt pans[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(2): 145-154.
- [18] 刘友良, 毛才良, 汪良驹. 植物耐盐性研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1987, 24(4): 1-7.
- [19] 方升佐, 曹福亮, 戴蒲英. 不同种子预处理方法对提高三树种幼苗耐盐性的效应[J]. 植物资源与环境学报, 1997, 6(1): 35-40.
- [20] Liang Y, Chen Q, Liu Q, et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of plant physiology, 2003, 160(10): 1157-1164.
- [21] 吐尔逊娜依, 高辉远, 安沙舟, 等. 8 种牧草耐盐性综合评价[J]. 中国草地, 1995(1): 30-32.
- [22] 沈禹颖, 闫顺国, 余玲, 等. 盐份浓度对碱茅草种子萌发的影响[J]. 草业科学, 1991, 8(3): 68-71.