

文章编号 :1003-8701(2014)04-0006-06

# 不同类型盐胁迫及外源钙离子对玉米和大豆种子萌发特性的影响

王永娟<sup>1</sup>,周妍<sup>1</sup>,金勇男<sup>2</sup>,金晓飞<sup>3</sup>,石连旋<sup>1\*</sup>

(1. 东北师范大学生命科学学院, 长春 130024 2. 吉林省临江市农业技术推广中心, 吉林 临江 134600 ;  
3. 吉林省农作物新品种引育中心, 长春 130062)

**摘 要** :以大豆和玉米种子为试验材料,探讨了不同类型盐胁迫及外源钙离子对大豆和玉米种子萌发的影响。结果显示 :碱性盐对种子萌发的抑制作用要强于中性盐,外源钙离子能够有效提高盐胁迫下大豆和玉米种子中  $\alpha$ -淀粉酶、蛋白酶的活性,可溶性糖含量,缓解盐胁迫下种子有机物质分解过程。进而提高盐胁迫下大豆和玉米种子的萌发率、根长或芽长、生物量及含水量等。这种缓解作用在碱性盐胁迫下表现更加显著,对盐敏感性豆科植物的缓解效果更加明显。

**关键词** :大豆 ;玉米 ;萌发 ;中性盐 ;碱性盐 ;钙离子

**中图分类号** :S504.1

**文献标识码** :A

## Effect of Different Salt Stresses and Calcium Ions on Soybean and Maize Seed Germination Characteristics

WANG Yong-juan<sup>1</sup>, ZHOU Yan<sup>1</sup>, JIN Yong-nan<sup>2</sup>, JIN Xiao-fei<sup>3</sup>, SHI Lian-xuan<sup>1\*</sup>

(1. School of Life Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024;  
2. Agricultural Technology Extension Center of Linjiang City, Jilin province, Linjiang 134600;  
3. Jilin Center of Germplasm Introduction and Breeding of Crops, Changchun 130062, China)

**Abstract**: Soybean and maize seeds were selected as experiment material. The effect of different types salts stress and calcium on the seeds germination has been researched. The results showed that seed germination inhibition under alkali salts were significantly greater than neutral salt. Applied calcium could effectively improve the activity of  $\alpha$ -amylase and protease and the soluble carbohydrate content, alleviate organic matter decomposition process of seeds under salt stress. Further, applied calcium could improve the germination rate, the length of root and shoot, biomass and water content under salt stress. This alleviation under alkali salts stress was more significant, and more obvious to the salt sensitivity of leguminous plant.

**Keywords**: Soybean; Maize; Germination; Neutral salts; Alkali salts; Calcium

土壤盐碱化是限制植物生长的主要环境因素之一,它不仅可以限制植物的生长,甚至会造成植株死亡,以及农作物减产<sup>[1]</sup>。盐碱环境主要通过降低种子周围的水势而引起种子的渗透吸水困难,从而抑制了种子的萌发,而且高 pH 胁迫以及钠离子积累产生的毒害作用可以使水解酶的活性降低、破坏细胞质膜的稳定结构以及影响细胞的完

整钙信号系统的发生和传递等,进而对植物体造成更大的伤害<sup>[2-3]</sup>。Ca<sup>2+</sup>不仅仅是一种大量营养元素,更是一种信号物质,对植物的新陈代谢和生长发育进行调控,同时可作为一种信使物质参与到植物对盐胁迫的感受、适应和抵抗中去<sup>[4-5]</sup>。外源施加钙离子可以提高硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶和异柠檬酸脱氢酶的活性,增加小麦幼苗中的氮素积累,从而明显缓解低盐条件下对小麦幼苗的生长抑制<sup>[6]</sup>。更多的研究证明钙离子处理可以改善植物在逆境胁迫条件下的生长状况,从而提高植物的抗逆性<sup>[7]</sup>。

收稿日期 :2013-10-23

基金项目 :国家自然科学基金项目 (31270366)

作者简介 :王永娟(1988-),女,在读硕士,主要从事植物生理学研究。

通讯作者 :石连旋,男,副教授,E-mail:lianxuanshi@nenu.edu.cn

本文选取大豆和玉米为试验材料,测定了不同类型盐胁迫及外源施加钙离子条件下种子萌发率、根长、芽长、生物量、可溶性糖含量、 $\alpha$ -淀粉酶活性、蛋白酶活性等参数。试图从有机物质分解过程探讨不同类型盐的胁迫作用机制,进一步分析解释外源施加钙离子缓解作用机理。旨在为大豆和玉米品种的选育、农业生产实践及盐碱地的改良提供理论基础。

## 1 材料与方方法

### 1.1 供试材料

本研究选用的试验材料分别为:大豆品种吉农 24 和玉米品种大龙 160。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 材料培养与处理

分别挑选籽粒饱满的玉米、大豆种子 20 粒,置于放有双层滤纸的培养盒中,每个培养盒中分别注入相应浓度的处理溶液。试验分别设定了钠离子浓度为 0、60、120 mmol/L 3 个浓度梯度,每个胁迫浓度下再设置外源施加钙离子试验组和单纯胁迫组。处理液分别是以 NaCl、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  的摩尔浓度比为 1:1 配制中性盐胁迫液,以  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$  的摩尔浓度比为 1:1 配制碱性盐胁迫液,以 2 mmol/L 的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  作为钙离子缓解液。将处理的试验材料置于培养箱内 20℃ 进行培养。每一处理 6 个培养盒,其中 3 盒用于酶活性测定,3 盒用于生长及发芽率测定。每天更换新鲜滤纸和处

理溶液,并记录发芽数。

#### 1.2.2 参数测定

试验材料培养 3 d 后,采用 3,5-二硝基水杨酸法测定  $\alpha$ -淀粉酶活性<sup>[8]</sup>;采用 BAPNA(N-苯甲酰-DL-精氨酸对硝基苯酰胺盐酸盐)法测定蛋白酶活性<sup>[9]</sup>。在材料培养的第 7 d 测量其试验材料根长、芽长、下胚轴长、鲜重及干重等参数,样品烘干后采用蒽酮试剂法测定可溶性糖的含量<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.3 数据统计及分析

试验数据采用 SPSS 17.0 统计分析,采用单向方差分析法(ANOVA)进行多重比较( $P \leq 0.05$ )。图表绘制采用 Sigma Plot 10.0 软件进行。

## 2 结果分析

### 2.1 大豆和玉米种子萌发特性及生物量的变化

#### 2.1.1 萌发率的变化

不同类型盐胁迫下,大豆和玉米种子的萌发率及萌发时间受到显著影响,尤其是碱性盐胁迫下抑制效果更加显著。大豆种子萌发率在不同浓度碱性盐胁迫下分别比中性盐减少了 31.04% 和 24.14%;玉米种子萌发率在不同浓度碱性盐胁迫下分别比中性盐减少了 6.78% 和 5.46%。不同类型盐胁迫处理对大豆和玉米种子萌发率影响差异显著,在中性盐和碱性盐胁迫下大豆种子的萌发率明显低于玉米种子。高浓度中性盐和碱性盐胁迫下施加钙离子,大豆种子的萌发率分别提高了 20% 和 6.06%(图 1,A、B),玉米种子的萌发率分别

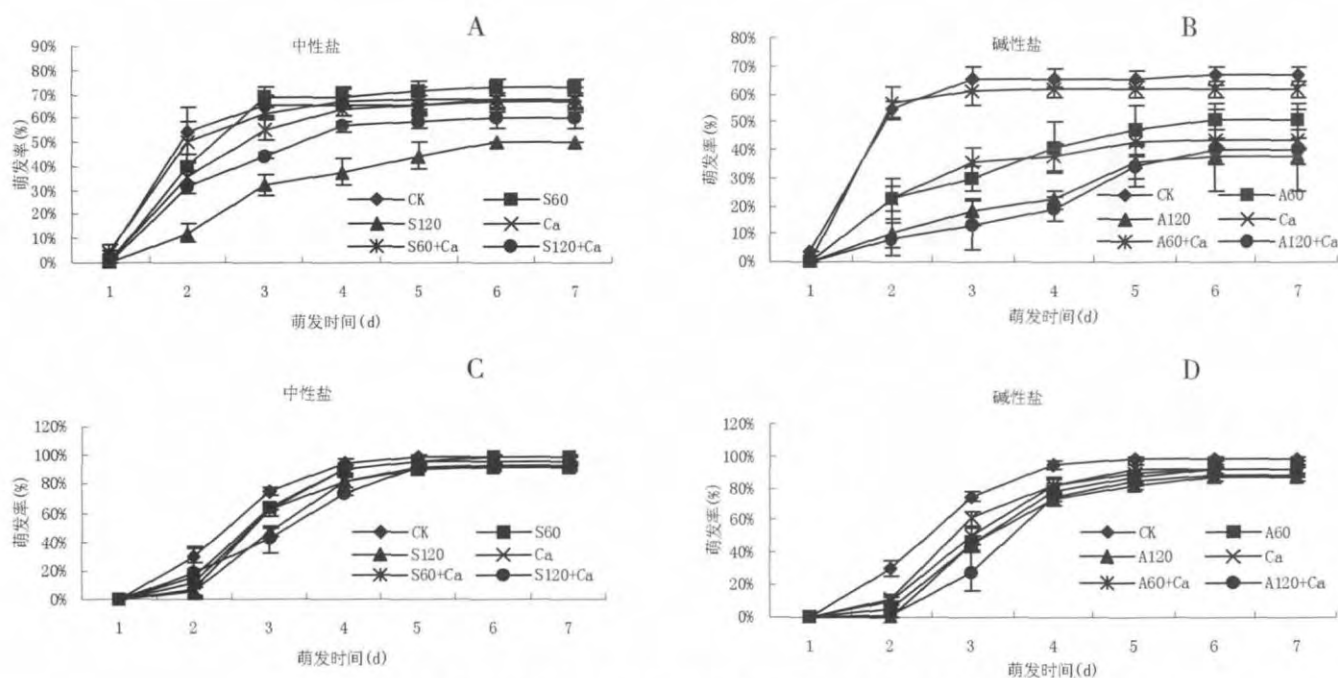


图 1 不同类型盐胁迫下大豆(A、B)和玉米(C、D)种子萌发率的变化

提高了 1.81% 和 1.92% (图 1, C、D)。

### 2.1.2 根长、芽长的变化

不同类型盐胁迫对玉米和大豆根和芽的生长均有抑制作用, 并且浓度越高, 胁迫作用越大。玉米根长在高浓度中性盐与碱性盐胁迫下比对照分别降低了 81.27% 和 76.36%, 芽长降低了 63.95% 和

63.19%; 大豆下胚轴长在高浓度中性盐与碱性盐胁迫下分别比对照降低了 46.24% 和 85.66% (图 2)。外源施加钙离子, 大豆下胚轴长度在高浓度中性盐和碱性盐胁迫下分别提高了 12.78% 和 59.13% (图 2, A、B); 玉米根长分别提高了 10.41%、5.28%, 芽长提高了 62.72%、62.37%。 (图 2, C、D)。

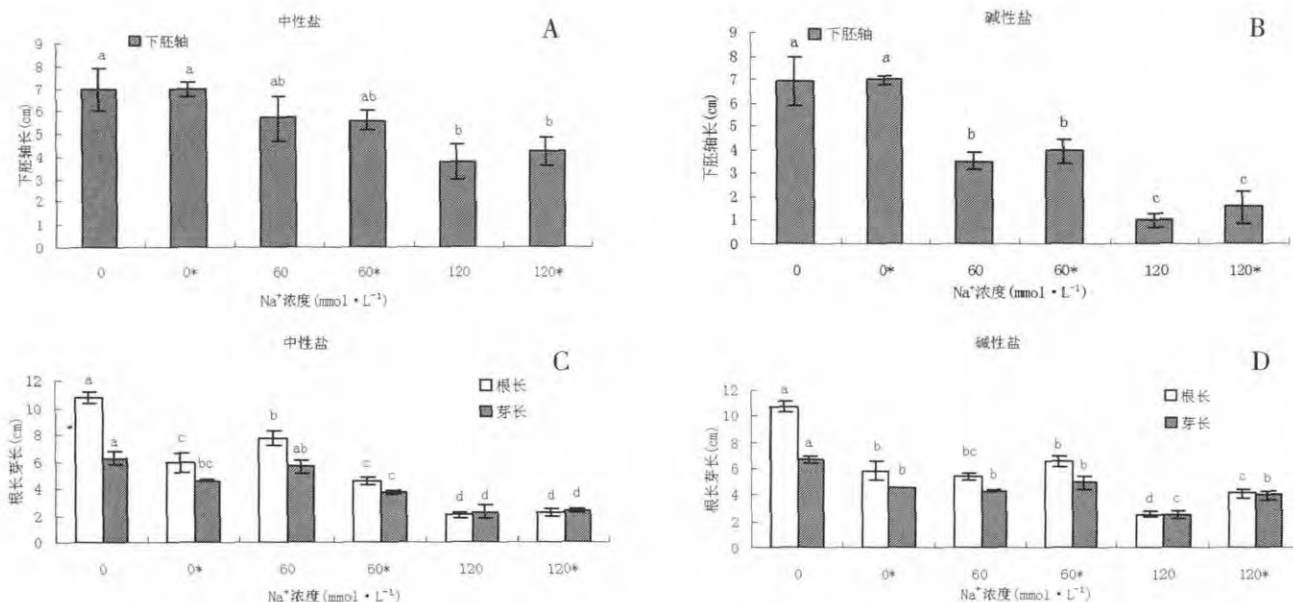


图 2 不同类型盐胁迫下大豆(A、B)和玉米(C、D)种子根长和芽长的变化

注: \* 代表加入 2 mmol/L 的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 下同

### 2.1.3 生物量的变化

不同类型盐胁迫下, 种子萌发鲜重随着盐胁迫浓度的增大而减少。大豆种子萌发过程中下胚

轴鲜重受到抑制, 尤其在碱性盐胁迫下影响显著, 不同浓度碱性盐胁迫分别使下胚轴鲜重减少了 42.92% 和 85.79%。玉米根和芽鲜重在高中浓度中

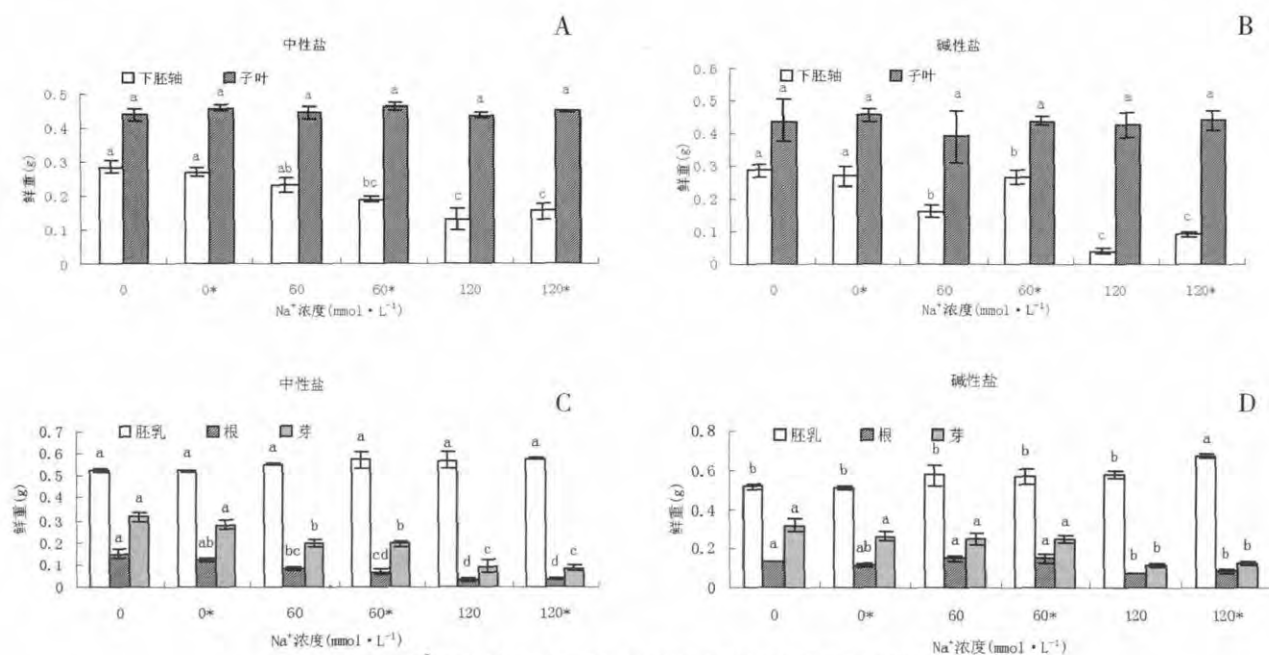


图 3 不同类型盐胁迫下大豆(A、B)和玉米(C、D)种子萌发鲜重的变化



性盐胁迫下分别降低 78.87%和 70.70%；在高浓度碱性盐胁迫下降低了 42.60%和 63.93%(图 3)。外加钙离子,高浓度中性盐和碱性盐胁迫下,大豆下胚轴鲜重分别提高了 16.62%和 36.68%(图 3,A、B)；玉米根鲜重分别提高了 14.33%和 15.21%(图 3,C、D)。

不同类型盐胁迫下,胁迫浓度越高,根和芽的干重越低。大豆在不同浓度碱性盐胁迫下,下胚轴

干重分别比对照减少了 46.52%和 91.41%。玉米根和芽干重在高浓度中性盐下分别降低了 87.12%,61.48%；在高浓度碱性盐胁迫下降低了 51.96%,56.99%。外源施加钙离子,大豆下胚轴干重在高浓度中性盐和碱性盐胁迫下分别增加了 10.21%和 71.52%(图 4,A、B)；玉米根和芽干重在高浓度的碱性盐胁迫下分别增加了 41.18%和

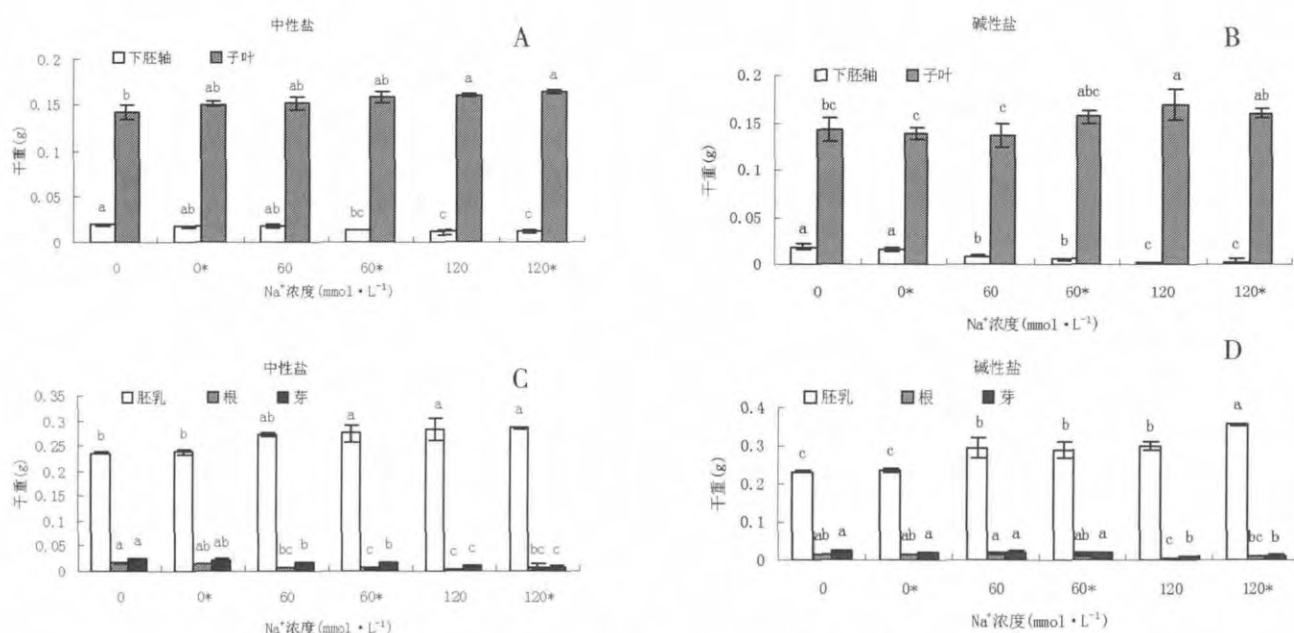


图 4 不同类型盐胁迫下大豆(A、B)和玉米(C、D)种子萌发干重的变化

15.16%(图 4,C、D)。

#### 2.1.4 相对含水量的变化

不同类型盐胁迫下大豆种子下胚轴和子叶含水量均呈现降低趋势,但差异不显著。外源施加钙离子下高于同浓度盐胁迫试验组,高浓度中性盐胁迫下,下胚轴增加了 0.55%；高浓度碱性盐胁迫下,子叶增加了 1.39%,下胚轴增加了 0.51%。玉米胚乳和芽的含水量随不同盐胁迫浓度的增加均呈现减少的趋势,而根的含水量却随着盐胁迫浓度的增加而呈现增加的趋势。外源施加钙离子,高浓度中性盐胁迫下,玉米种子胚乳、芽和根的含水量均显示升高的趋势,分别提高了 0.22%、0.41%和 1.16%；低浓度碱性盐胁迫下,玉米种子胚乳、芽和根的含水量分别提高了 0.88%、0.21%和 1.44%。

#### 2.2 $\alpha$ -淀粉酶、蛋白酶活性的变化

大豆子叶和玉米胚乳中的  $\alpha$ -淀粉酶和蛋白酶活性测定结果显示,中性盐胁迫下大豆子叶中, $\alpha$ -淀粉酶和蛋白酶活性均随胁迫强度的增大而呈现降低的趋势,不同浓度下  $\alpha$ -淀粉酶活力分别比对照降低了 4.92%和 13.18%,蛋白酶活力降

低了 18.20%和 26.04%。外源施加钙离子,大豆子叶  $\alpha$ -淀粉酶和蛋白酶活力呈现显著增加趋势,尤其在高浓度盐胁迫时,酶活性增强显著,低浓度盐胁迫增加钙离子时  $\alpha$ -淀粉酶活力增加了 5.07%；高浓度盐胁迫增加钙离子时  $\alpha$ -淀粉酶活力增加了 21.52%,蛋白酶活力增加了 29.00%。高浓度中性盐胁迫下外源施加钙离子,玉米胚乳的  $\alpha$ -淀粉酶活力增加了 26.28%(表 1)。

#### 2.3 可溶性糖含量的变化

不同类型盐胁迫下大豆下胚轴和玉米根、芽中的可溶性糖含量均呈现下降的趋势,高浓度中性盐胁迫下,可溶性糖分别降低了 84.97%、71.72%和 0.86%,高浓度碱性盐胁迫下,可溶性糖分别降低了 83.24%、67.07%和 40.29%；而碱性盐胁迫下大豆子叶和玉米胚乳中可溶性糖含量呈现升高的趋势,高浓度碱性盐胁迫下分别升高了 38.38%和 6.42%(表 2)。外源添加钙离子,高浓度的中性盐和碱性盐胁迫下,大豆子叶中可溶性糖分别增加了 60.2%和 34.7%,玉米根中可溶性糖分别增加了 9.4%和 8.1%(表 2)。

表 1 不同类型盐胁迫下大豆、玉米 α - 淀粉酶及蛋白酶活力变化

| Na <sup>+</sup> 浓度(mmol/L) |      | 大豆 α - 淀粉酶活力(mg·g <sup>-1</sup> FW·H <sup>-1</sup> ) | 大豆蛋白酶活力(U·g <sup>-1</sup> FW·H <sup>-1</sup> ) | 玉米 α - 淀粉酶活力(mg·g <sup>-1</sup> FW·H <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 对照组                        | 0    | 28.11 ± 1.16b                                        | 72527.78 ± 11.11a                              | 23.63 ± 0d                                           |
|                            | 0*   | 37.27 ± 0.21a                                        | 72064.81 ± 36.91b                              | 24.87 ± 1.41cd                                       |
| 中性盐                        | 60   | 26.72 ± 0.82b                                        | 59333.33 ± 72.22d                              | 38.52 ± 2.03a                                        |
|                            | 60*  | 28.08 ± 1.32b                                        | 58916.67 ± 12.50e                              | 31.34 ± 0.41b                                        |
|                            | 120  | 24.40 ± 0.17b                                        | 53638.89 ± 44.44f                              | 28.56 ± 0.87bc                                       |
|                            | 120* | 29.66 ± 5.83ab                                       | 69194.44 ± 0c                                  | 36.07 ± 0.66a                                        |
| 碱性盐                        | 60   | 26.95 ± 0.41bc                                       | 26833.33 ± 38.89e                              | 51.20 ± 1.87a                                        |
|                            | 60*  | 40.13 ± 3.32a                                        | 27250.00 ± 27.78d                              | 35.63 ± 5.64b                                        |
|                            | 120  | 23.38 ± 0.09c                                        | 25027.78 ± 22.22f                              | 41.63 ± 1.82b                                        |
|                            | 120* | 30.76 ± 2.32b                                        | 31416.67 ± 28.22c                              | 20.19 ± 0.12c                                        |

注：\* 代表加入 2 mmol/L 的 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>，下同

表 2 不同类型盐胁迫下大豆、玉米可溶性糖含量的变化

| Na <sup>+</sup> 浓度<br>(mmol·L <sup>-1</sup> ) |      | 大豆可溶性糖含量(mg·g <sup>-1</sup> DW) |                |                | 玉米可溶性糖含量(mg·g <sup>-1</sup> DW) |                   |                 |                   |
|-----------------------------------------------|------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                                               |      | 子叶                              | 下胚轴            | 总糖             | 胚乳                              | 根                 | 芽               | 总糖                |
| 对照组                                           | 0    | 20.52 ± 0.36c                   | 102.87 ± 0.24a | 123.39 ± 0.30a | 445.82 ± 65.05bcd               | 274.74 ± 4.43a    | 327.50 ± 0.00b  | 1048.06 ± 28.33b  |
|                                               | 0*   | 17.85 ± 0.85cd                  | 84.39 ± 17.76a | 102.24 ± 9.56b | 567.22 ± 42.29ab                | 296.03 ± 19.58a   | 412.94 ± 26.15a | 1276.19 ± 26.41a  |
| 中性盐                                           | 60   | 9.62 ± 0.35e                    | 13.71 ± 0.61d  | 23.33 ± 0.42e  | 283.15 ± 12.51def               | 160.40 ± 3.11b    | 338.13 ± 34.06b | 781.68 ± 15.28d   |
|                                               | 60*  | 13.67 ± 0.21de                  | 15.54 ± 1.01cd | 29.21 ± 0.79e  | 329.86 ± 21.17cdef              | 159.18 ± 11.19bc  | 327.42 ± 14.60b | 816.46 ± 12.53d   |
|                                               | 120  | 10.91 ± 0.73e                   | 15.46 ± 1.33cd | 26.37 ± 0.92e  | 252.98 ± 13.79ef                | 77.69 ± 28.93d    | 324.67 ± 0.00b  | 655.34 ± 13.15e   |
|                                               | 120* | 17.48 ± 1.46cd                  | 11.08 ± 0.94d  | 28.56 ± 0.86e  | 208.70 ± 7.06f                  | 84.98 ± 24.07d    | 239.76 ± 14.60c | 533.44 ± 17.38f   |
| 碱性盐                                           | 60   | 28.67 ± 2.68b                   | 24.78 ± 0.00cd | 53.45 ± 1.32d  | 428.14 ± 21.55bcde              | 153.71 ± 27.37bc  | 197.19 ± 8.01c  | 779.04 ± 19.52d   |
|                                               | 60*  | 30.62 ± 0.00b                   | 53.00 ± 2.43b  | 83.62 ± 1.19c  | 561.21 ± 35.10ab                | 128.77 ± 15.81bcd | 244.22 ± 15.33c | 934.2 ± 20.15c    |
|                                               | 120  | 33.30 ± 1.46b                   | 17.24 ± 2.19cd | 50.54 ± 1.78d  | 476.39 ± 48.61bc                | 90.46 ± 4.26d     | 195.56 ± 15.57c | 762.41 ± 32.11d   |
|                                               | 120* | 44.85 ± 0.12a                   | 38.65 ± 2.18bc | 83.5 ± 1.45c   | 690.15 ± 44.98a                 | 97.76 ± 5.47cd    | 213.93 ± 28.59c | 1001.84 ± 30.25bc |

### 3 讨 论

大豆和玉米种子的萌发及生长参数，随盐碱胁迫液浓度的增加而降低。种子贮藏器官中 α - 淀粉酶和蛋白酶的活性以及大豆下胚轴、玉米芽和根中的可溶性糖含量也随着盐碱胁迫浓度的增大而减少。显示出，盐胁迫下植物种子萌发与种子中糖类的代谢过程有着密切的关系。不同类型盐胁迫对大豆和玉米的萌发及生长影响不同。碱性盐对种子萌发的抑制作用更加明显，而且碱性盐和中性盐在对种子萌发过程中的可溶性糖分布部位的影响也不同，从试验结果可以看出，中性盐对植株内可溶性糖含量的影响只限于其总量，在胚乳、子叶和新生长器官中呈现一致的降低趋势。显示出可溶性糖从贮藏器官到新生长器官的运输没有受到显著的影响。而碱性盐不仅降低了植物中可溶性糖的总量，而且在新器官中的含量降低趋势显著高于贮藏器官。

钙离子作为植物必须矿质元素，具有维持细胞结构稳定，调控物质运输，调控酶活性的作用。同时作为信号转导物质，在植物细胞内信号传递过程中具有重要作用<sup>[11-12]</sup>。本研究进一步证实，施加钙离子的试验组与单纯的盐离子胁迫组相比，种子萌发率升高、根长和芽长增加、种子各部位的鲜重和干重以及含水量均有升高、α - 淀粉酶、蛋白酶活性亦有所增强、可溶性糖含量也较高。α - 淀粉酶活性的改变，可能与 α - 淀粉酶是含 Ca<sup>2+</sup> 的金属蛋白，胁迫条件下会造成植物体内的 Ca<sup>2+</sup> 不足，使 α - 淀粉酶活性降低有关<sup>[13]</sup>。而蛋白酶活性增加机理还有待于进一步研究。α - 淀粉酶、蛋白酶活性的增加有利于种子萌发过程中糖类和氮的代谢，进而改善营养状况。因此，外源施加钙离子可以有效缓解盐碱胁迫对种子萌发造成的伤害。

外源施加钙离子对不同类型盐胁迫的缓解效果不同。钙离子对碱性盐胁迫下的大豆和玉米种

子萌发特性及生长状况的缓解效果比对中性盐胁迫下的缓解效果更加显著,这可能是外源  $\text{Ca}^{2+}$  可以中和碱性盐胁迫液中的碱含量,使 pH 下降,所以外源施加钙离子缓解碱性盐胁迫的作用明显于缓解中性盐胁迫的作用。同时,试验结果也显示,外源施加钙离子对大豆萌发及生长的缓解效果显著优于玉米,这可能与大豆是盐敏感性植物,在遭遇盐胁迫时,萌发及生长受到的抑制更加显著,因此其缓解作用也敏感有关。本试验研究证实钙离子能有效缓解盐胁迫对植物的伤害,提高种子萌发率及促进幼苗生长,因此合理施用钙肥在农业生产实践及盐碱土壤改良中具有重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] Allakhverdiev S I, Sakamoto A, Nishiyama Y, et al. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* sp.[J]. *Plant Physiol.*, 2000, 123 (3): 1047-1056.
- [2] 戴高兴,彭克勤,皮灿辉. 钙对植物耐盐性的影响[J]. *中国农学报*, 2003, 19(3): 97-101.
- [3] H Greenway, R Munns. Mechanism of salt tolerance in non-hylophytes[J]. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1980(31): 149-190.
- [4] 龚明,李英,曹宗翼. 植物体内的钙信使系统[J]. *植物学通报*, 1990, 7(3): 19-29.
- [5] Leonard R T, Hepler P K. Calcium in plant growth and development[M]. *American Society for Plant Physiologists*, 1990.
- [6] 王志强,王春丽,王同朝,等. 钙离子对盐胁迫小麦幼苗氮代谢的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(8): 4339-4345.
- [7] Gong M, Li Y-J, Chen S-Z. Abscissic acid induced thermo-tolerance in Maize seedlings is mediated by calcium and associated with antioxidant systems [J]. *Plant physiology*, 1998, 153(5): 488-496.
- [8] 谢兆辉. NaCl 胁迫对大豆种子萌发及  $\alpha$ -淀粉酶活性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(2): 477-479.
- [9] Ouyang X R. The Effects of Seed Vigour and Imbibition Environment on the Activities of Protease and  $\alpha$ -Amylase in Maize(*Zea mays* L.)Kernels[J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2003, 29(1): 22-27.
- [10] 刘凤荣,陈火英,刘杨,等. 盐胁迫下不同基因型番茄可溶性物质含量的变化 [J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2004, 30(1): 99-104.
- [11] Knight H, Trevaas A J, Knight M R. Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity[J]. *The Plant Journal*, 1997, 12(5): 1067-1078.
- [12] 齐明芳,刘玉凤,周龙发,等. 钙对亚高温下番茄幼苗叶片光合作用的调控作用[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(3): 531-537.
- [13] 刘丽云,侯传本,王明友,等. 外源钙离子对盐胁迫下小麦萌发的影响[J]. *山东农业科学*, 2007(5): 60-62.

(上接第 5 页) 留茬有利于接纳冬季和春季雪水,此外,播种前不动土达到很好地保墒效果;免耕效果类似宽窄行,但是夏季不深松,从而土壤含水率低于宽窄行;由于翻耕土壤疏松,形成上虚下实的耕层结构,春季刮风较大,土壤跑墒严重,土壤含水率在所有耕法处于最低;常规耕作方式灭茬打垄也不利于很好的保持土壤墒情,土壤含水率略高于翻耕。

在本研究中,长期连作玉米从播种前至成熟期,不同耕作方式 0~60 cm 土壤含水率基本呈上升趋势,30~50 cm 土壤含水率较高,而刘爽<sup>[11]</sup>通过免耕、少耕、旋耕三种耕作方式玉米-大豆轮作研究认为,各时期 20~40 cm 土层含水量均较低,免耕可显著提高 0~90 cm 土层土壤含水量,与本研究结果不同,可能与降雨量、试验地点以及轮作有关。此外,在本研究中宽窄行(苗带)50~60 cm 土壤含水率也较高,土壤水分有由茬带向苗带侧下方运移的趋势,主要表现在 2011 年的灌浆期和成熟期以及 2012 年的成熟期,此研究结果有待于在不同年份(干旱年份、正常年份、雨水多的年份)进行验证。

#### 参考文献:

- [1] Joe T. Ritchie. 土壤水分与植物生产力 [A]. 第 13 届国际土壤学会论文集[C]. 1987, 9.
- [2] 张桃林,王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向[J]. *自然资源学报*, 2000, 15(3): 280-284.
- [3] 钱成,蔡晓布. 秸秆还田对西藏中部退化农田土壤水分的影响[J]. *土壤通报*, 2003, 34(6): 586-588.
- [4] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [5] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等. 玉米留高茬少、免耕对土壤环境的影响[J]. *玉米科学*, 2008, 16(4): 123-126.
- [6] 杨秀春,徐斌,严平,等. 农牧交错带不同农田耕作模式土壤水分特征对比研究 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 125-129.
- [7] 张艳红. 免耕对土壤水分影响的研究 [J]. *黑龙江农业科学*, 2007(2): 21-23.
- [8] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等. 玉米宽窄行种植的土壤水分变化规律研究[J]. *农业与技术*, 2008, 28(3): 40-43.
- [9] 杨耿斌,许东恒,王立春,等. 黑龙江省早熟地区玉米宽窄行种植技术应用研究[J]. *玉米科学*, 2013, 21(3): 100-102, 109.
- [10] 王庆杰,李洪文,何进,等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 39-43.
- [11] 刘爽,张兴义. 不同耕作方式对黑土农田土壤水分及利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(1): 126-131.