

# Effects of Four Single Salt Stresses on the Germination of Millet

Zhanwu Gao<sup>1</sup>, Jianghua Duan<sup>1</sup>, Chunyan Fan<sup>2</sup>, Ruqiang Tong<sup>3</sup>, Rongxuan Li<sup>3</sup>, Danyu Zhao<sup>4</sup>, Qiang Zhu<sup>1</sup>, Xia Wu<sup>1</sup>, Yufang Bao<sup>1</sup>, Feng Peng<sup>1</sup>, Feng Chen<sup>1</sup>, Lihong Wang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Baicheng Normal University Jilin West Environmental Protection and Ecological Engineering Comprehensive Technology Research Center, Baicheng Jinlin

<sup>2</sup>He Long High School, Nong'an Jilin

<sup>3</sup>Jilin Provincial Bureau of Soil and Water Conservation, Changchun Jilin

<sup>4</sup>China University of Mining and Technology, Beijing

Email: gaozw261@nenu.edu.cn, \*wlh19721108@163.com

Received: Aug. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2019; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Soil salinization is one of the ecological environment crises facing human beings, and it is an important factor that puzzles the development of agriculture and animal husbandry. Therefore, the study of salt and alkali tolerance of plants has important theoretical significance and economic value for the selection and breeding of saline-alkali land. According to the main harmful salt composition of saline-alkali land in west of Jilin Province, this study chose two neutral salt NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, two alkaline salts NaHCO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in laboratory to explore salt and alkaline tolerance of millet at Germination and seedling stages. The results showed that two neutral salt NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> had no obvious inhibitory effect on the germination and growth of millet, and could promote the germination and growth of millet at low concentration ( $P < 0.05$ ). The alkaline salts NaHCO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> had obvious inhibitory effects on the germination and growth of millet ( $P < 0.01$ ). Millet is a salt-tolerant plant, and alkaline salt has greater stress than neutral salt. The order of tolerance of millet to four salts in this experiment was Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > NaCl > NaHCO<sub>3</sub> > Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. The stress effect of alkaline salt was greater than that of neutral salt. Therefore, it is of certain theoretical significance to study the salt tolerance of huanggu for seed selection and breeding of saline-alkali land.

## Keywords

Millet, Salt Stress, Alkali Stress, Seed Germination, Seedling Growth

# 四种盐胁迫对谷子萌发及生长的影响

高战武<sup>1</sup>, 段江华<sup>1</sup>, 范春燕<sup>2</sup>, 仝如强<sup>3</sup>, 李绒萱<sup>3</sup>, 赵丹瑜<sup>4</sup>, 朱强<sup>1</sup>, 吴侠<sup>1</sup>, 包玉芳<sup>1</sup>, 彭凤<sup>1</sup>, 陈峰<sup>1</sup>, 王丽红<sup>1\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 高战武, 段江华, 范春燕, 仝如强, 李绒萱, 赵丹瑜, 朱强, 吴侠, 包玉芳, 彭凤, 陈峰, 王丽红. 四种盐胁迫对谷子萌发及生长的影响[J]. 农业科学, 2019, 9(8): 717-724. DOI: 10.12677/hjas.2019.98102

<sup>1</sup>白城师范学院, 吉林西部环境保护与生态工程综合技术研究中心, 吉林 白城

<sup>2</sup>吉林省农安县合隆高级中学, 吉林 农安

<sup>3</sup>吉林省水土保持局, 吉林 长春

<sup>4</sup>中国矿业大学, 北京

Email: gaozw261@nenu.edu.cn, \*wlh19721108@163.com

收稿日期: 2019年8月7日; 录用日期: 2019年8月20日; 发布日期: 2019年8月27日

## 摘要

土壤盐渍化是人类面临的生态环境危机之一, 是限制农牧业生产发展的重要环境因素。因此, 研究植物耐盐碱性对盐碱地的选育具有重要的理论意义和经济价值。根据吉林省西部盐碱地主要致害盐的组成, 在实验室中选择了两种中性盐NaCl和Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 两种碱性盐NaHCO<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 在人工智能气候室内探索谷子萌发期和苗期的盐、碱耐受性进行了研究。实验结果表明: 中性盐NaCl和Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>对于谷子的萌发和生长没有明显的抑制作用, 且低浓度时可以促进谷子的萌发和生长( $P < 0.05$ )。而NaHCO<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>两种碱性盐对谷子的萌发和生长具有明显的抑制作用( $P < 0.01$ )。黄谷对这四种盐的耐受性顺序: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > NaCl > NaHCO<sub>3</sub> > Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 碱性盐比中性盐的胁迫作用更大。因此, 研究黄谷的耐盐碱性, 对于盐碱地的选种和育种具有一定的理论意义。

## 关键词

谷子, 盐胁迫, 碱胁迫, 种子萌发, 幼苗生长

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着人口的剧增及工业的高速发展, 可耕种面积急剧下降, 而不合理灌溉又造成了大量土地的次生盐渍化, 盐碱化已经成为制约我国农牧业发展的重要环境因素[1]。中国东北地区松嫩平原是苏打盐碱化最严重的地区, 是世界上三大片苏打盐渍化土壤之一, 中国松嫩平原苏打盐碱土面积  $233.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占土地总面积的 15.2%, 现在土地盐碱化每年以 1.4% 以上的速度递增[2]。其中主要的致害盐分是 NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>。通常将 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 等中性盐形成的胁迫称为盐胁迫, NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 等碱性盐形成的胁迫称为碱胁迫, 土壤中盐离子浓度很高是盐碱化土壤的特征之一, 高浓度造成土壤水势下降, 生长于此环境中的植物吸水困难, 代谢受到影响, 使植物生长受到抑制, 盐离子浓度进一步升高, 使植物体细胞失水, 甚至受到更大的伤害直至死亡[2]。

黄谷, 古称粟, 是具有数千年历史的主要栽培作物, 在旱作农业可持续发展、稳定粮食生产、维持膳食结构多样性及健康饮食方面有着不可替代的作用。作为我国北方地区人们喜爱的食粮之一, 其营养丰富, 适口性好, 长期以来也被广大群众作为滋补强身的食物[3]。随着人们对健康需求的认识提高, 谷子的需求量加大。吉林省是世界公认最适合种植杂粮的阳光区域之一, 还是全国杂粮杂豆的重要产区 and 出口基地, 年产量 20 亿斤以上, 主要有绿豆、红小豆、谷子、高粱、燕麦、花生、葵花子等。随着人们对饮食营养搭配的需求不断提高, 市场对谷子等杂粮的需求也在不断增加。同时吉林省坚持加大种植结构调整, 增加谷子种植面积。在 2019 年春耕中, 白城市、四平市、公主岭市等都扩大了谷子的耕种面积。

从目前有关植物抗盐生理的研究现状来看,对于谷子这一植物耐盐碱性的研究较少,且多以氯化钠等一种盐为主要研究对象,测量的生理指标种类较少[4] [5] [6] [7]。土壤盐渍化会直接影响谷子的萌发和幼苗生长,造成出苗不齐,幼苗长势弱,谷子产量降低等问题[8]。因此研究盐碱胁迫对谷子种子萌发和幼苗生长的影响对谷子生产具有重要意义。本研究根据吉林省西部盐碱地的盐分组成,在实验室内选定 NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 两种中性盐和 NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 两种碱性盐,探索谷子发芽期和幼苗期的耐盐碱性,为盐碱地谷子的选种和育种提供基础材料和依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验材料

本实验以沁州黄贡谷为实验材料,沁州黄贡谷幼茎粗壮,叶片肥厚,叶色深绿,分叶力强,一般单株分叶 6~9 个多者可达 15 个以上,株高 70~85 厘米左右,茎粗 1.2~2.1 厘米,穗长 20~26 厘米,穗粗 5~7 厘米,千粒重 3.1 克,出米率 86%左右,春播生育期 120~125 天,夏播 95 天左右,米色金黄,品质优,粘度大,营养丰富,口感佳,抗病,耐旱,抗涝,矮秆抗倒,活秆成熟,适宜种植区域广。

### 2.2. 实验设计

用蒸馏水分别配制 NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 四种单盐溶液作为处理液,每组设立 50、100 mmol/L 两个浓度,以蒸馏水为对照组。在种子萌发过程中依照国际种子检验规程,发芽床采用滤纸法,使用 48 个培养皿,分为 12 个组,每组 4 个重复。取 50 粒饱满的谷子种子均匀的放在铺有直径为 12.5 cm 双层滤纸的培养皿中进行发芽实验,加入相应的处理液至饱和,以蒸馏水作对照,每处理 4 次重复。培养皿放置于 20℃ 恒温箱内,12 小时光照,光照强度 2000 lx,12 小时黑暗。每天用称重法补充所失水分,以保证盐浓度基本不变。

### 2.3. 指标测定

每天记录种子发芽的数量,判断种子发芽的标准为露白。在本实验中第 3 天统计发芽势,第 6 天统计发芽率。实验共进行 6 天,6 天后测定胚芽和胚根的长度,以及胚芽、胚根和胚的鲜重量。之后放入烘箱内烘干至恒重,测量胚芽、胚根和胚的干重。

发芽势 = (3d 内发芽的种子数/供试种子数) × 100% [9];

发芽率 = (6d 内发芽的种子数/供试种子数) × 100% [9];

发芽指数按公式  $G_i = \sum G_t/D_t$  计算,  $G_t$  为当天的发芽数,  $D_t$  为相应的天数[9];

活力指数 =  $G_i \times S$ ,  $S$  为幼苗的长度[9];

根冠比 = 地下部分鲜重(干重)/地上部分鲜重(干重);

含水量 = (鲜重 - 干重)/鲜重 × 100%。

### 2.4. 数据处理与统计分析

实验数据采用 Excel 软件作图,SPSS21.0 统计软件进行单因素的方差分析。

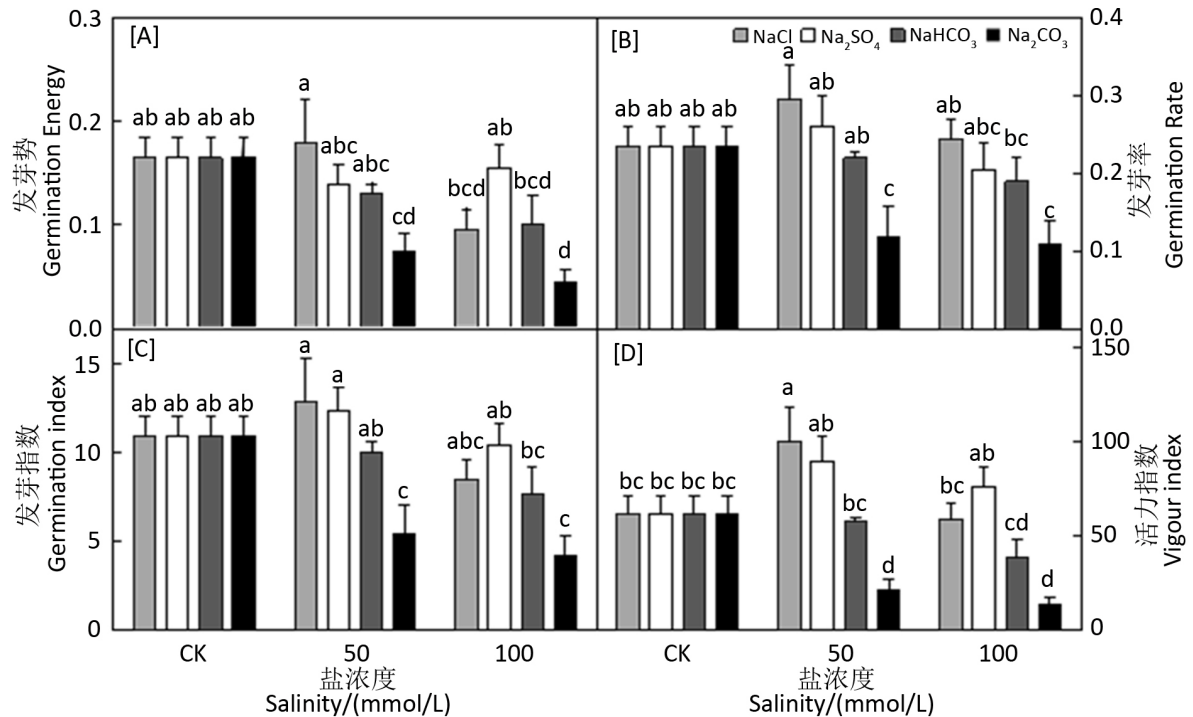
## 3. 结果与分析

### 3.1. 四种不同浓度单盐对种子萌发的影响

#### 3.1.1. 盐碱胁迫对谷子种子发芽势和发芽率的影响

从图 1 [A]可以看出,当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,发芽势高于对照组,说明对低浓度的 NaCl 能促

进谷子发芽势。浓度为 100 mmol/L 时, 谷子发芽势降低, 可以看出高浓度 NaCl 溶液具有明显的抑制作用。随着中性盐  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度的增加, 谷子种子的发芽势无明显变化, 没有明显的抑制作用。对于碱性盐  $\text{NaHCO}_3$ , 谷子在其各浓度下的发芽势均低于对照组, 并随着  $\text{NaHCO}_3$  浓度增加, 谷子发芽势也相应的显著降低, 说明  $\text{NaHCO}_3$  对谷子的发芽势具有明显的抑制作用。谷子的发芽势也随着碱性盐  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  浓度增加而显著下降, 并且在各个浓度下的发芽势都低于  $\text{NaHCO}_3$ 。



※柱形图上标 a、b、c、d 不同水平的差异显著性。

**Figure 1.** Effects of four single salts at different concentrations on germination of millet  
**图 1.** 四种不同浓度的单盐对谷子萌发的影响

从图 1 [B] 可以得出, 谷子的发芽率在中性盐 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时高于对照组, 说明对 NaCl 浓度在 50 mmol/L 以内时能够提高谷子发芽率, 促进谷子种子的萌发。浓度为 100 mmol/L 时, NaCl 对谷子的萌发无明显的抑制作用。中性盐  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度在 100 mmol/L 以内对谷子发芽率影响不大, 无明显抑制作用。而碱性盐  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的抑制作用是明显的, 从图中可看出随着浓度的增加, 谷子发芽率降低。 $\text{NaHCO}_3$  在浓度为 100 mmol/L 时, 对谷子种子的萌发起到明显的抑制作用。对比发现,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对种子发芽势的影响更加明显, 浓度为 50 mmol/L 时已经对谷子种子萌发起到了明显的抑制作用。所以四种盐类中, 谷子对  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的耐受程度是最低的。谷子种子萌发对四种盐类的耐受能力的顺序为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

### 3.1.2. 盐碱胁迫对谷子种子发芽指数和活力指数的影响

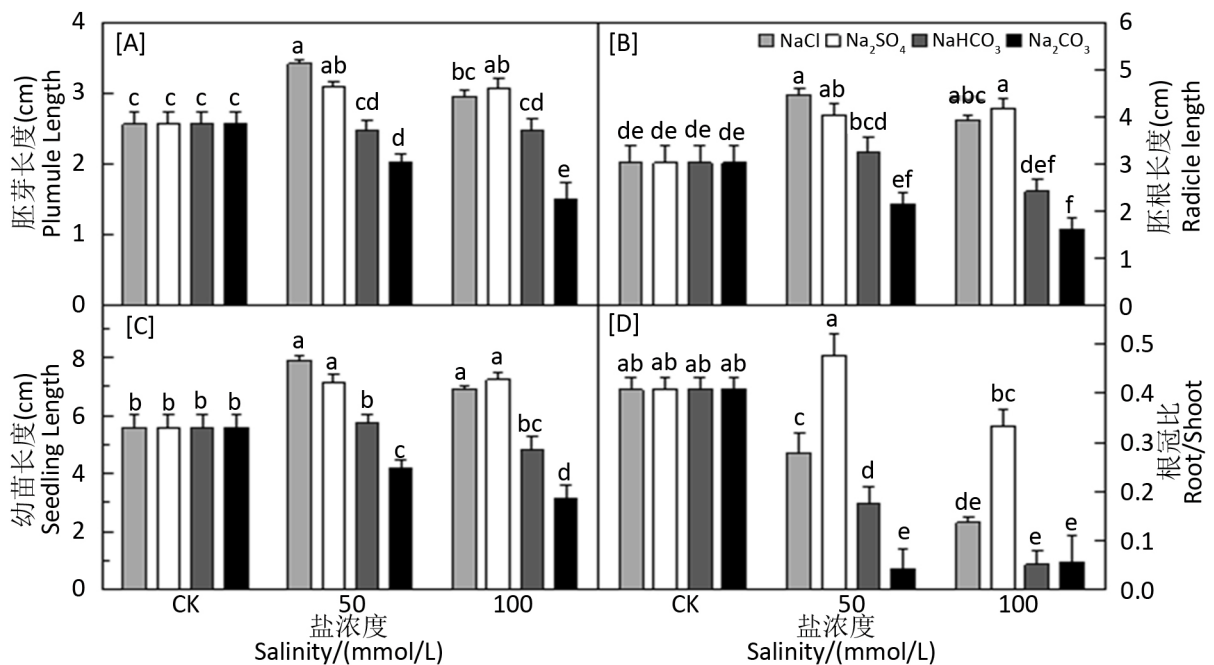
从图 1 [C]、[D] 可以看出, 谷子的发芽指数与活力指数在四种单盐不同浓度的胁迫下的表现规律相同。浓度为 50 mmol/L 时, NaCl 和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  两种中性盐有提高谷子的发芽指数和活力指数的作用, 浓度增加到 100 mmol/L 时, 也无明显抑制作用。而  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  两种碱性盐抑制作用明显, 随着盐溶液浓度的增加, 谷子的发芽指数和活力指数下降。 $\text{NaHCO}_3$  在浓度为 100 mmol/L 时对谷子图 1 四种不同浓度的单盐对谷子萌发的影响的发芽指数与活力指数的抑制作用明显。 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  浓度为 50 mmol/L 时就对

谷子的发芽指数与活力指数有明显的抑制作用。可以得出, 谷子种子对四种盐类的耐受能力的顺序为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

### 3.2. 四种不同浓度单盐对谷子幼苗生长的影响

#### 3.2.1. 盐碱胁迫对谷子胚芽长、胚根长和幼苗长度的影响

从图 2 [A]、图 2 [B]、图 2 [C]中能够看出, 谷子幼苗的胚芽长、胚根长和幼苗长度在浓度 50、100 mmol/L 时均高于对照组, 说明  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  两种中性盐在浓度 100 mmol/L 以内对谷子幼苗的胚芽、胚根和幼苗的生长都起到了促进作用。在碱性盐  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的作用下, 谷子幼苗的胚根长、胚芽长和幼苗长度随着浓度的增加而下降, 且在  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的作用下下降幅度更明显, 说明  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对谷子幼苗生长的抑制作用更明显。所以四种盐类中, 谷子对  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的耐受程度是最低的。谷子幼苗生长对四种盐类的耐受能力的顺序为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。



※柱形图上标 a、b、c、d、e、f 不同水平的差异显著性

Figure 2. Effects of four different concentrations of single salt on the growth of millet seedlings

图 2. 四种不同浓度的单盐对谷子幼苗生长的影响

#### 3.2.2. 盐碱胁迫对谷子幼苗根冠比的影响

与对照组相比, 当  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度为 50 mmol/L 时, 谷子幼苗的根冠比较大, 说明在这一浓度范围内, 中性盐  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  对谷子胚根生长的促进作用大于对胚芽

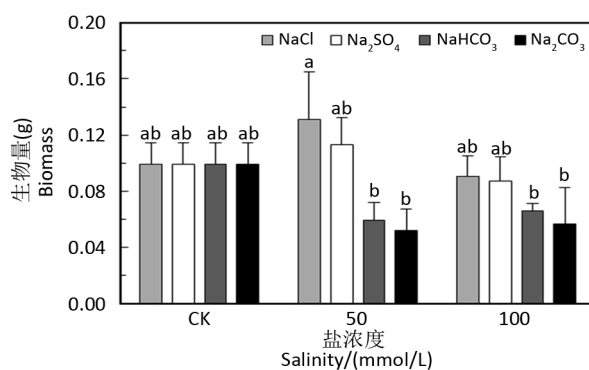
的作用。而其他各组盐分都抑制了谷子幼苗生长, 黄谷幼苗的根冠比随着  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  浓度的增加而下降(图 2 [D])。说明  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对谷子胚根生长的抑制程度强于胚芽, 四种盐类的抑制程度的顺序为  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。

#### 3.2.3. 盐碱胁迫对谷子生物量的影响

从图 3 中可以看出在  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  两种中性盐浓度为 50 mmol/L 时, 谷子生物量高于对照组, 对谷子幼苗生长起到促进作用。谷子生物量随着  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  浓度的增加而显著下降, 说明这两

种碱性盐对谷子生物量的抑制作用明显。四种盐类对谷子生物量抑制程度的顺序为  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。

为了比较四种不同浓度单盐胁迫下，盐种类和盐浓度对谷子种子萌发过程中各项指标影响的显著程度，进行了方差分析(如表 1)。NaCl、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  四种盐类代表着影响谷子萌发和生长的胁迫因素，而四种盐的盐浓度代表其对谷子萌发和生长的盐胁迫强度。通过运用 SPSS21.0 软件对谷子种子萌发和生长过程中多种指标与两种胁迫因素之间的关系进行双因素方差分析。表中  $P$  值代表差异显著性水平， $P$  值越小差异越显著， $F = \text{方差(MS)}/\text{误差(Error)}$ ，其中  $F$  值越大差异越大[10]。经方差分析结果表明 NaCl、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  这四种不同种类盐之间对于谷子萌发和生长过程的各项指标的影响达到图 3 四种显著差异 ( $P < 0.05$ )，其中谷子的发芽率、发芽指数、活力指数、胚芽长、胚根长、幼苗长度、根冠比这些指标达到了极显著差异 ( $P < 0.01$ )。而 NaCl、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  这四种盐类的不同浓度对谷子种子的发芽势、发芽指数、活力指数和幼苗长度、根冠比的影响达到显著差异 ( $P < 0.05$ )，其中发芽势、发芽指数、根冠比达到了极显著差异 ( $P < 0.01$ )。比起盐浓度的变化，盐种类对于谷子萌发和生长过程的各项指标的影响更为显著。



※柱形图上标 a、b 不同水平的差异显著性

Figure 3. Effects of single salt at different concentrations on the biomass of millet

图 3. 不同浓度单盐对谷子生物量的影响

Table 1. Variance analysis of various indexes during seed germination under salt stress of different concentrations

表 1. 不同浓度盐胁迫下谷子种子萌发过程中各项指标变化的方差分析

	df	发芽势		发芽率		发芽指数		活力指数	
		F	P	F	P	F	P	F	P
盐种类	3	4.292	0.011	6.097	0.002	6.157	0.002	12.614	0.000
盐浓度	2	9.241	0.001	2.585	0.089	6.047	0.005	4.447	0.019
	df	胚芽长		胚根长		幼苗长度		根冠比	
		F	P	F	P	F	P	F	P
盐种类	3	25.338	0.000	19.264	0.000	31.565	0.000	27.247	0.000
盐浓度	2	3.065	0.059	3.188	0.053	4.712	0.015	60.110	0.000
	df	生物量							
		F	P						
盐种类	3	3.042	0.041						
盐浓度	2	1.749	0.188						

## 4. 讨论

目前关于盐碱胁迫对植物的作用, 植物对于盐碱胁迫的响应以及植物产生的生理机制、分子机制等方面的研究较为成熟[11] [12]。盐碱胁迫会干扰植物的渗透平衡, 抑制植物吸收水分造成植物生理干旱, 也会通过离子毒害破坏植物内稳态, 造成植物细胞损伤以及营养成分吸收, 使得植物吸收营养成分不足而发育不良甚至死亡, 同时盐碱胁迫会降低植物叶绿素的含量, 破坏植物细胞结构, 影响植物的光合作用和正常代谢。而植物面对盐碱胁迫时会通过降低生物量等生长特性, 改变生物膜结构等生理特性作为对盐胁迫的响应[13] [14] [15] [16] [17]。植物会通过形成相应的生理机制和分子机制, 例如增加脯氨酸、甜菜碱等渗透调节物质和利用 HTK 转运体应对盐碱胁迫。

针对某一种单一植物来说, 关于小麦, 苜蓿, 羊草等植物对盐碱胁迫的响应机制研究较为充分, 而对于谷子这一植物耐盐碱性的研究较少, 且多以 NaCl 等一种盐为主要研究对象, 重点在于谷子品种筛选, 测量的形态和生理指标种类较少[18] [19] [20] [21]。田伯红[19]等人研究通过对比多地的谷子地方品种, 并对这些品种的耐盐性进行了对比, 主要目的在于耐盐性品种的筛选。在研究盐碱胁迫对于谷子的影响, 已有郭瑞峰[21]等探索了不同品种的谷子在混合盐碱胁迫下发芽率、活力指标的指标的对比, 筛选了耐盐碱品种。本实验根据吉林省西部盐碱地的盐分组成, 在实验室内选定 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 两种中性盐和 NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 两种碱性盐, 通过测量发芽势、发芽率、活力指数、根冠比、生物量等多种指标以探索谷子发芽期和幼苗期的耐盐碱性。对于谷子含水量、叶绿素含量、脯氨酸等生理生化及代谢指标变化的测定以及谷子的抗盐机制有待进一步研究。

## 5. 结论

两种中性盐 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 对于谷子种子的萌发及幼苗生长无显著影响, 且低浓度时对谷子种子的萌发及生长有促进作用。而两种碱性盐 NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 对谷子种子的萌发抑作用明显。说明谷子具有一定的抗盐性, 谷子抗碱性较抗盐能力差。

从谷子幼苗根冠比可以看出在幼苗在发育过程中, 胚根与盐碱溶液直接接触, 受到的抑制作用大于胚芽。

该实验说明谷子是一种较耐盐碱的作物, 碱性盐胁迫大于中性盐胁迫对种子萌发的影响。谷子对本实验四种盐的耐受性顺序: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > NaCl > NaHCO<sub>3</sub> > Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>。

## 基金项目

吉林省教育厅“十三五”科学技术研究重点项目(吉教科合字[2016]第 41 号); 国家自然科学基金[2018]第 31770520 号“氮沉降背景下枯落物对松嫩草地植物多样性及稳定性的作用机制”。

## 参考文献

- [1] 高战武, 酈文凯, 王晓琳, 等. 六种单盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 白城师范学院学报, 2016, 30(5): 27-33+38.
- [2] 高战武. 紫花苜蓿和燕麦抗盐碱机制研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- [3] 张晓娟, 程炳文, 杨军学, 等. 15 个谷子品种在宁夏 4 个区域的适应性鉴定与筛选[J]. 大麦与谷类科学, 2016, 33(2): 14-19.
- [4] 杨春武, 李长有, 张美丽, 等. 盐、碱胁迫下小冰麦体内的 pH 及离子平衡[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1000-1005.
- [5] 杨春武. 虎尾草和水稻抗碱机制研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2010.
- [6] 殷立娟, 祝玲. 野大麦苗期抗盐碱性的研究[J]. 草地学报, 1991(1): 142-148.

- [7] 田伯红. 谷子萌发及幼苗生长对碱胁迫的反应[J]. 河北农业科学, 2009, 13(11): 2-3.
- [8] Galvan-Ampudia, C.S. and Testerink, C. (2011) Salt Stress Signals Shape the Plant Root. *Plant Biology*, **14**, 296-302.
- [9] 郑光华. 种子生理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 706. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.03.019>
- [10] Turner, N.C., Colmer, T.D., Quealy, J., et al. (2013) Salinity Tolerance and Ion Accumulation in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Subjected to Salt Stress. *Plant & Soil*, **365**, 347-361. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1387-0>
- [11] 高战武, 蔺吉祥, 邵帅, 等. 复合盐碱胁迫对燕麦种子发芽的影响[J]. 草业科学, 2014, 31(3): 451-456.
- [12] 詹振楠, 纪婷. 探析植物对盐碱胁迫的响应机制[J]. 种子科技, 2019, 37(2): 113.
- [13] 张艳亭. 谷子种质资源耐盐性鉴定和耐盐机理的研究[D]: [硕士学位论文]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2018.
- [14] 蔺吉祥, 李晓宇, 唐佳红, 等. 盐碱胁迫对小麦种子萌发、早期幼苗生长、及 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>代谢的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(6): 1148-1152.
- [15] 陈雅昕, 邓娇娇, 周永斌, 等. 不同种源黑果枸杞种子萌发对盐碱胁迫的响应[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 96-100.
- [16] 刘畅, 于涛, 高战武, 等. 燕麦对松嫩草地三种主要盐分胁迫的生理适应策略[J]. 生态学报, 2016, 36(21): 6786-6793.
- [17] 蔺吉祥, 高战武, 王颖, 等. 盐碱胁迫对紫花苜蓿种子发芽的协同影响[J]. 草地学报, 2014, 22(2): 312-318.
- [18] 张永芳, 宋喜娥, 等. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对谷子种子萌发的影响[J]. 种子, 2015, 34(11): 94-97.
- [19] 田伯红. 谷子品种芽期和苗期对 NaCl 胁迫的反应及耐盐性鉴定[C]//2008 中国作物学会学术年会论文摘要集. 北京: 中国作物学会, 2008.
- [20] 崔兴国, 时雨冉. 盐胁迫对不同品种谷子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2011(6): 14-16.
- [21] 郭瑞锋, 张永福, 任月梅, 等. 混合盐碱胁迫对谷子萌发、幼芽生长的影响及耐盐碱品种筛选[J]. 作物杂志, 2017(4): 63-66.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)