

# 盐胁迫对玉米萌芽期性状的影响\*

张皓, 陈波\*\*

(西昌学院 农业科学院, 四川 西昌 615013)

**【摘要】**以6个玉米杂交组合为材料,通过不同浓度的NaCl溶液模拟盐胁迫环境,研究玉米萌芽期的株高、茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重、根干重、茎叶含水率、根含水率、根冠比、发芽率等性状的差异,并探讨了不同NaCl溶液浓度与玉米萌芽期各性状的相关关系。结果表明:不同杂交组合萌芽期各性状除茎叶含水率和根含水率外,其余性状差异达到了显著或极显著水平,因此这些指标都可作为耐盐玉米种质筛选、鉴定标准。NaCl浓度与各性状都呈极显著相关,除根冠比随NaCl浓度升高而增加外,其他指标都随NaCl浓度升高而降低。

**【关键词】**玉米;萌芽期;盐胁迫

**【中图分类号】**S513 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-1891(2015)02-0020-03

DOI:10.16104/j.cnki.xccxb.2015.02.007

盐碱地在中国类型多、分布广,是一种低产土壤,严重影响了农业生产的发展<sup>[1]</sup>,提高盐碱地作物产量是进一步提高粮食产量的关键因素<sup>[2]</sup>。另外,由于灌溉方法不当和大量使用化肥而造成的耕地次生盐渍化作用,使得盐碱化越来越严重,对盐碱地的开发利用,培育耐盐抗盐品种已成为世界性课题<sup>[3-4]</sup>。

玉米在我国是主要粮食作物之一,是盐敏感的作物<sup>[5-6]</sup>。现在,我国耐盐玉米种质资源较少,耐盐玉米育种进程缓慢,因此,研究盐胁迫对玉米幼苗各性状的影响,可为进一步筛选和鉴定耐盐玉米提供理论基础。目前,世界上已有很多关于玉米耐盐指标的研究,但由于玉米各性状对耐盐性的贡献大小不一,现在还没有可以借鉴的成熟的标准和体系<sup>[7]</sup>。

在玉米耐盐性研究试验中,耐盐玉米首先应具有较强的萌芽期耐盐性,因此萌芽期是玉米耐盐性鉴定的一个关键时期。在本试验中,通过不同浓度的NaCl溶液模拟盐胁迫环境,选择株高、茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重、根干重、茎叶含水率、根含水率、根冠比、发芽率等9个萌芽期性状,对6个玉米杂交组合萌芽期耐盐性进行研究,为进一步培育耐盐玉米新种质提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

6个玉米杂交组合 cwj01、cwj02、cwj03、cwj04、cwj05、cwj06 由西昌学院山地玉米研究室提供。

### 1.2 萌芽试验

选取颗粒饱满、大小一致的玉米种子,用蒸馏水浸泡12 h,充分吸胀后再用3%的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>浸泡10 min,蒸馏水冲洗3次,用灭菌的滤纸将多余的水

吸干,置于半径为5 cm玻璃培养皿中,皿底铺2层滤纸作发芽床,每皿20粒,分别加入浓度为0、50、100、150、200 mmol/L NaCl溶液10 mL。每个处理和对照均设3次重复,置25℃恒温培养。

### 1.3 指标测定

种子萌发期间,从第二天开始每隔两天调查一次发芽数,到第八天为止,且在第十天剪下根芽,分别测株高、茎叶鲜重、根鲜重。另外,从每个培养皿随机选择5株测量株高,并测量每个处理所有发芽种子的茎叶鲜重和根鲜重。调查完后,将每个材料发芽种子的茎叶和根烘干至恒重,分别称量茎叶和根的干重。种子发芽率、含水率、根冠比分别采用下述公式计算:

发芽率=盐处理后第八天发芽种子数/总种子数×100%

茎叶含水率=100% - 茎叶干重/茎叶鲜重×100%

根含水率=100% - 根干重/根鲜重×100%

根冠比=根干重/茎叶干重

### 1.4 数据分析

实验数据用Excel 2003、SPSS 17.0软件进行处理分析

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杂交组合萌芽期性状的差异

方差分析表明,不同杂交组合在盐胁迫下,幼苗的株高差异达到显著水平(F=2.637, P=0.032),其中cwj04最高,平均为8.38 cm,但与cwj02、cwj03、cwj05、cwj06差异均不显著,与cwj01差异显著,cwj01与cwj02、cwj05、cwj06差异不显著,cwj01与cwj03差异显著。茎叶鲜重差异达到极显著水平

收稿日期:2015-05-10

\*基金项目:四川省教育厅自然科学重点课题(项目编号:08ZA034);四川省教育厅青年基金(项目编号:11ZB119)。

作者简介:张皓(1991-),男,西昌学院园艺专业2011级在读本科生。\*\*为通信作者陈波副教授。

( $F=4.185, P=0.003$ ), 其中 cwj05 最高, 单株平均为 0.18 g, 与 cwj01、cwj03 差异极显著, 但与 cwj02、cwj04、cwj06 差异均不显著, cwj03 与 cwj02、cwj04、cwj06 差异也不显著, 而 cwj01 与 cwj02、cwj04、cwj06 差异极显著。根鲜重以 cwj02 最高, 单株平均为 0.17 g, 与 cwj03、cwj05 差异不显著, 与 cwj01、cwj04、cwj06 差异极显著。cwj05 茎叶干重最高, 单株平均为 0.020 g, 但与 cwj02、cwj03、cwj04 差异均不显著, 与 cwj01、cwj06 差异显著。cwj02、cwj05 根干重最高, 单株平均为 0.014 g, 与 cwj01、cwj04、cwj06 差异都为极显著, 与 cwj03 差异不显著。茎叶含水率差异未达到显著水平( $F=0.588, P=0.709$ ), 其中 cwj01、cwj06 最高为 82.67%; 根含水率差异也未达到显著水平( $F=0.686, P=0.636$ ), 其中 cwj01 最高为 89.27%。根冠比差异也未达到显著水平( $F=2.347, P=0.052$ ), 其中 cwj06 最高为 1.07。发芽率差异达到显著水平( $F=3.165, P=0.013$ ), 其中 cwj01、cwj04 最高, 平均为 78.33%, 但均与 cwj02、cwj03、cwj05 差异均不显著, 与 cwj06 差异显著, cwj02、cwj03、cwj05 与 cwj06 差异也不显著(表 1)。

表 1 不同杂交组合在盐胁迫下各性状的差异

| 品种      | cwj01         | cwj02          | cwj03          | cwj04           | cwj05         | cwj06          |
|---------|---------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|
| 株高/cm   | 7.0±7.10 b    | 7.90±7.65 ab   | 8.30±8.63 a    | 8.38±8.02 a     | 7.53±8.05 ab  | 7.93±10.24 ab  |
| 茎叶鲜重/g  | 0.14±0.14 c   | 0.16±0.15 ab   | 0.15±0.15 bc   | 0.17±0.17 ab    | 0.18±0.19 a   | 0.16±0.22 ab   |
| 根鲜重/g   | 0.12±0.13 cd  | 0.17±0.16 a    | 0.15±0.14 ab   | 0.13±0.12 bc    | 0.16±0.16 a   | 0.11±0.12 d    |
| 茎叶干重/g  | 0.016±0.014 b | 0.018±0.015 ab | 0.018±0.015 ab | 0.019±0.017 ab  | 0.020±0.018 a | 0.016±0.019 b  |
| 根干重/g   | 0.011±0.010 c | 0.014±0.011 a  | 0.013±0.009 ab | 0.011±0.0072 bc | 0.014±0.012 a | 0.0094±0.095 c |
| 茎叶含水率/% | 82.67±6.42 a  | 78.00±20.62 a  | 78.82±18.83 a  | 79.32±15.70 a   | 78.56±15.52 a | 82.67±10.03 a  |
| 根含水率/%  | 89.27±4.46 a  | 87.76±7.13 a   | 83.81±17.93 a  | 86.11±10.72 a   | 86.86±7.74 a  | 87.79±5.65 a   |
| 根冠比     | 0.67±0.26 b   | 0.87±0.30 ab   | 1.05±0.55 a    | 1.01±0.66 a     | 0.91±0.45 ab  | 1.07±0.87 a    |
| 发芽率/%   | 78.33±21.68 a | 74.67±27.02 a  | 72.00±25.27 a  | 78.33±21.85 a   | 74.33±24.39 a | 59.07±27.90 b  |

注: 表中数据表示各测定指标的平均数±标准差, 同行数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下同。

## 2.2 不同盐胁迫浓度对玉米萌芽期性状的影响

在不同浓度 NaCl 胁迫下, 幼苗的株高差异达到 1% 水平( $F=985.341, P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 20.81 cm, 与 50、100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著; 茎叶鲜重差异达到极显著水平( $F=865.035, P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 0.42 g, 与 50、100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著; 根鲜重差异达到极显著水平( $F=525.07, P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 0.34 g, 与 50、100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著; 茎叶干重差异达到 1% 水平( $F=$

430.585,  $P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 0.042g, 与 50、100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著; 根干重差异达到极显著水平( $F=291.357, P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 0.028 g, 与 50、100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著; 茎叶含水率差异达到极显著水平( $F=21.262, P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 89.81%, 与 150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著, 与 50、100 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为不显著, 50、100 mmol/LNaCl 溶液处理的均与 150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异也不显著; 根含水率差异达到 1% 水平( $F=8.625, P<0.01$ ), 其中 50 mmol/LNaCl 溶液处理的最高, 均值为 93.21%, 与 100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著, 但与蒸馏水的差异不显著, 150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的与蒸馏水的差异也不显著; 根冠比差异达到 0.01 水平( $F=18.282, P<0.01$ ), 其中 200 mmol/LNaCl 溶液处理的最高, 均值为 1.48, 与 0、50、100、150 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著; 发芽率差异达到极显著水平( $F=36.277, P<0.01$ ), 其中蒸馏水的最高, 均值为 95.17%, 与 100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的差异均为极显著, 但与 50 mmol/LNaCl 溶液处理的差异为不显著, 100、150、200 mmol/LNaCl 溶液处理的与 50 mmol/LNaCl 溶液处理的差异也不显著(表 2)。

表 2 不同浓度盐胁迫下各性状的差异

| NaCl 浓度(mmol/L) | 0              | 50             | 100            | 150              | 200             |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|
| 株高(cm)          | 20.81±2.80 a   | 12.87±2.23 b   | 4.37±1.72 c    | 0.77±0.31 d      | 0.43±0.18 d     |
| 茎叶鲜重(g)         | 0.42±0.085 a   | 0.27±0.063 b   | 0.078±0.034 c  | 0.014±0.0059 d   | 0.0073±0.0028 d |
| 根鲜重(g)          | 0.34±0.049 a   | 0.24±0.062 b   | 0.077±0.037 c  | 0.025±0.012 d    | 0.018±0.0099 d  |
| 茎叶干重(g)         | 0.042±0.0069 a | 0.029±0.0060 b | 0.012±0.0043 c | 0.0033±0.00082 d | 0.0022±0.0012 d |
| 根干重(g)          | 0.028±0.0043 a | 0.016±0.0039 b | 0.0093±0.003 c | 0.0037±0.0016 d  | 0.0029±0.0017 d |
| 茎叶含水率(%)        | 89.81±1.13 a   | 89.25±1.16 a   | 83.03±4.13 a   | 74.95±7.68 b     | 62.84±24.50 c   |
| 根含水率(%)         | 91.78±0.97 ab  | 93.21±1.12 a   | 86.86±3.42 bc  | 84.67±3.72 c     | 78.15±18.08 d   |
| 根冠比             | 0.66±0.26 c    | 0.57±0.30 c    | 0.77±0.55 c    | 1.16±0.66 b      | 1.48±0.45 a     |
| 发芽率(%)          | 95.17±21.68 a  | 89.33±27.02 a  | 76.44±25.27 b  | 63.00±21.85 c    | 40.00±24.39 d   |

## 2.3 盐胁迫下玉米萌芽期性状的相关性

不同盐胁迫下玉米萌芽期各农艺性状中, 根冠比与 NaCl 浓度呈极显著正相关, 株高、茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重、根干重、茎叶含水率、根含水率、发芽率与 NaCl 浓度呈极显著负相关, 表明除根冠比之外的其他性状随 NaCl 浓度的增加表现为不同程度的降低趋势, 根冠比随盐胁迫浓度的增加而增加; 而株高、茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重、根干重、根含水率、发芽率与根冠比呈极显著负相关, 茎叶含水

率与根冠比呈显著负相关,表明随根冠比值的升高,各性状指数呈现不同程度的降低,其余各性状之间均呈极显著正相关(表3)。

表3 盐浓度与农艺性状的相关系数

| 农艺性状   | 株高       | 茎叶鲜重     | 根鲜重      | 茎叶干重     | 根干重      | 茎叶含水率    | 根含水率     | 根冠比      | 发芽率      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 茎叶鲜重   | 0.986**  |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 根鲜重    | 0.955**  | 0.957**  |          |          |          |          |          |          |          |
| 茎叶干重   | 0.972**  | 0.985**  | 0.957**  |          |          |          |          |          |          |
| 根干重    | 0.935**  | 0.931**  | 0.960**  | 0.948**  |          |          |          |          |          |
| 茎叶含水率  | 0.550**  | 0.542**  | 0.554**  | 0.538**  | 0.507**  |          |          |          |          |
| 根含水率   | 0.460**  | 0.456**  | 0.485**  | 0.450**  | 0.398**  | 0.821**  |          |          |          |
| 根冠比    | -0.478** | -0.477** | -0.443** | -0.517** | -0.396** | -0.265*  | -0.347** |          |          |
| 发芽率    | 0.682**  | 0.662**  | 0.684**  | 0.690**  | 0.676**  | 0.520**  | 0.457**  | -0.516** |          |
| NaCl浓度 | -0.927** | -0.906** | -0.908** | -0.926** | -0.905** | -0.636** | -0.517** | 0.568**  | -0.778** |

注:\*表示相关性显著,\*\*表示相关性极显著。

### 3 结论与讨论

本研究选取的0、50、100、150、200 mmol/L NaCl溶液处理下,玉米萌芽期的各性状指标除根冠比之外都受到了不同程度的抑制<sup>[8]</sup>,实验表明:不同杂交组合萌发期各性状除茎叶含水率和根含水率外,其余性状差异达到了0.05水平或0.01水平,说明株

高、茎叶干重、根干重、茎叶鲜重、根鲜重、根冠比、发芽率可作为耐盐种质筛选、鉴定的指标,这与前人研究结果类似<sup>[9-12]</sup>。在NaCl溶液胁迫下,玉米萌芽期各性状与NaCl溶液浓度都呈极显著相关,其中,株高、茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重、根干重、茎叶含水率、根含水率、发芽率均与NaCl浓度呈极显著负相关,随NaCl浓度的增加而逐渐降低,这与郑飞、张培培等<sup>[13,14]</sup>的研究结果相似,说明这些指标对盐胁迫的反应较为灵敏,是研究盐胁迫的理想指标。根冠比在NaCl溶液胁迫下,与NaCl浓度呈极显著正相关,随NaCl溶液浓度增加而升高,可知,玉米萌芽期在高NaCl浓度胁迫下,根、茎叶均受到不同程度的胁迫,对茎叶胁迫趋势明显高于根胁迫趋势,这与斯琴巴特尔吴等<sup>[15]</sup>研究结果一致。

综上所述,玉米萌芽期的株高、茎叶干重、根干重、茎叶鲜重、根鲜重、根冠比、发芽率都可成为玉米种质萌芽期耐盐性筛选、鉴定的指标。玉米萌芽期各性状与NaCl溶液浓度都极显著相关,株高、茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重、根干重、茎叶含水率、根含水率、发芽率都随NaCl浓度升高而降低,根冠比随NaCl浓度升高而增加。

#### 注释及参考文献:

- [1]王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993:325-334.
- [2]贾洪涛,赵可夫.盐胁迫下Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>对碱蓬和玉米离子的吸收效应[J].山东师范大学学报(自然科学版),1998,13(4):437-440.
- [3]段显德,周波,杨国会,等.玉米耐盐性研究[J].通化师范学院学报,2001,22(2):67-69.
- [4]赵可夫,王韶唐.作物抗性生理[M].北京:农业出版社,1990:75-78.
- [5]常红军,马灿玲.盐胁迫对4个玉米品种的萌发及生长的影响[J].安徽农业科学,2006,34(17):4273-4274.
- [6]Zhu JK.Plant salt tolerance[J].Trends in plant Sei,2001,6:66-77.
- [7]罗辉.玉米幼苗对盐胁迫的响应和适应[J].井冈山师范学院学报,2004,25(5):23-28.
- [8]秦雪峰,高杨凡,张玉平.盐胁迫对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J].安徽农业科学,2006,34(22):5782-5783.
- [9]姚正培,孟君,李冠.玉米自交系芽苗期耐盐性的鉴定与筛选[J].华北农学报,2007,22(5):27-30.
- [10]郑飞,陈燕萍,孟庆长,等.7份玉米自交系耐盐性鉴定[J].江苏农业科学,2012,40(12):112-115.
- [11]陈波,张燕,蔡光泽,等.玉米地方品种耐盐性鉴定及评价指标鉴定[J].湖北农业科学,2012,50(21):4722-4727.
- [12]刘芳,付艳,高树仁,等.玉米幼苗的盐胁迫反应及玉米耐盐性的鉴定[J].黑龙江八一农垦大学学报,2007,19(6):22-26.
- [13]郑飞,孟庆长,孔令杰,等.玉米不同基因型苗期耐盐胁迫筛选[J].江苏农业科学,2013,41(12):67-70.
- [14]张培培,杜锦,向春阳,等.NaCl胁迫对玉米种子活力及幼苗性状的影响[J].中国农学通报,2011,27(30):35-38.
- [15]斯琴巴特尔,吴红英.盐胁迫对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].干旱区资源与环境,2000,14(4):76-80.

## Study on the Impact of Salt Stress on Germination Traits of Maize (*Zea mays* L.)

ZHANG Hao, CHEN Bo

(School of Agriculture Science, Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

**Abstract:** The study utilized six maize hybrids as materials and different NaCl concentrations solutions to simulate salt stress environment, researching the trait differences of maize germination, specifically including plant

(下转第 25 页)

**注释及参考文献:**

- [1]刘玉铤、傅沛仁等.数学分析讲义(第五版)[M].北京:高等教育出版社,2008(1):89-95.
- [2]华东师范大学数学系.数学分析第三版[M].北京:高等教育出版社,2013(4):7-15、161-167.
- [3]田菊蓉.实数系完备性定理的等价性[J].西安联合大学学报,1999(4):49-53.
- [4]庄陵等.实数系完备性基本定理的循环证明[J].重庆工商大学学报(自科版),2006(6):219-223.
- [5]李湘云.有关实数完备性基本定理的循环证明[J].湖北财经高等专科学校学报,2002(8):57-60.
- [6]徐新荣.利用实数空间基本定理证明问题的几点注释[J].西昌学院学报(自科版),2012(3):60-62.
- [7]盖盈.关于实数完备性基本定理的统一处理方法[J].天津师范大学学报(自科版),1999(12):23-28.

## Prove Other Real Number Completeness Theorem Use Cauchy Convergence Principle

ZHANG Xue-mao, LIU Lai-Shan, CHEN Ling, LIANG Ni, LIU Jing, XU Fang

(Institute of Mathematics, Taizhou University, Taizhou, Jiangsu 225300)

**Abstract:** According to the knowledge order of mathematical analysis learning and starting from the proof of the Cauchy Convergence Principle, we prove the other theorems on completeness of the set of real numbers, which generalizes some related results given by some other scholars.

**Key words:** completeness; convergence; limit; world indeed

(上接第22页)

height, leaf fresh weight, root fresh weight, leaf dry weight, root dry weight, leaf moisture content, moisture content root, root to shoot ratio, germination rate etc. It also explored the correlation between different NaCl solution concentration and the each trait of maize germination. The results showed that the trait differences of the different hybrid combinations reached the level of 0.05 or 0.01 except the leaf moisture content and root moisture content at germination stage. As a result, these indexes can be used as indicators of the salt tolerance maize about screening, identification. NaCl concentration was significantly correlated with each trait, excluding root shoot ratio. Increases with increasing of NaCl concentration, the other indicators decreased with the increasing of NaCl concentration.

**Key words:** Maize; germination stage; salt stress