

# Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对绿豆种子萌发的影响

袁典<sup>1</sup>, 方兴宇<sup>1</sup>, 贾逸清<sup>1</sup>, 吴文超<sup>1</sup>, 刘宏权<sup>1\*</sup>, 韩会玲<sup>2\*</sup>

(1. 河北农业大学城乡建设学院, 河北保定 071000; 2. 保定学院, 河北保定 071000)

**摘要** 为研究绿豆种子萌发对 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫响应情况, 分别采用 0、20、40、60、80 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液对吉绿 10 号、HN1023-7-2、同 111411、保绿 201323-3 和辽绿 PB-02 共 5 个品种的绿豆进行胁迫萌发试验。结果表明, 随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液浓度的升高, 5 个绿豆品种的发芽率、发芽势、发芽指数、胚根鲜重、胚根干重、胚芽鲜重、胚芽干重、活力指数、根冠比均有降低的趋势, 但低浓度 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 浓度 ≤ 20 mmol/L) 盐胁迫不会对种子萌发造成显著性伤害。随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度的升高, 低浓度盐处理与 CK 的胚芽鲜重无显著差异, 其余生长指标均显著降低。综合分析可知, HN1023-7-2 耐盐性最强, 辽绿 PB-02 最差。该研究结果可为盐碱地绿豆种植提供一定理论依据。

**关键词** 绿豆; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫; 种子萌发; 耐盐性

中图分类号 S522 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)20-0032-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.009



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Stress on Seed Germination of Mung Beans

YUAN Dian, FANG Xing-yu, JIA Yi-qing et al (Urban and Rural Construction Institute, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000)

**Abstract** In order to study the response of mung bean seed germination to Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> salt stress, 0, 20, 40, 60, 80 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solutions were used to compare Jilu No. 10, HN1023-7-2, Tong 111411, Baolu 201323-3 and Liaolu PB-02, and other five varieties of mung beans were used for stress germination experiments. The results showed that with the increase of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution concentration, the five types of mung bean germination rate, germination potential, germination index, radicle fresh weight, embryo fresh weight, embryo dry weight, vigor index and radicle-to-shoot ratio all tended to decrease, but low concentration (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> concentration ≤ 20 mmol/L) salt stress could not cause significant persecution to seed germination. With the increase of the concentration of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> treatment, the fresh weight of germ-excepted germ was not significantly different from that of CK under the low-concentration salt treatment, and the other growth indexes were significantly reduced. Comprehensive analysis showed that HN1023-7-2 had the strongest salt tolerance and Liaolu PB-02 was the worst. The research results provided a certain theoretical basis for mung bean planting in saline-alkali land.

**Key words** Mung bean; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> salt stress; Seed germination; Salt tolerance

土壤盐渍化是由自然或人类活动引起的一种环境危害, 全世界大约有 8.31×10<sup>8</sup> hm<sup>2</sup> 的土壤受到盐渍化的威胁<sup>[1]</sup>。盐胁迫和碱胁迫是妨碍植物生长、降低产量的主要逆境因子之一。大量试验结果表明, 盐碱环境会限制植物生长, 植物在不同生长阶段耐盐碱性不同, 尤其是种子萌发期最为敏感; 当增加盐浓度时, 种子的萌发受到抑制, 并且抑制程度随盐浓度的升高而增加<sup>[2-4]</sup>。绿豆 (*Vigna radiata* L.) 属于豆科草本植物, 是一种短日照、喜热的作物, 生长期短, 播种期弹性大, 适应性强, 抗旱耐瘠薄, 并且具有固氮和土壤栽培耐瘠薄能力<sup>[5]</sup>。绿豆是中国重要的粮食作物, 在贫困地区是高经济价值的作物, 但种植绿豆易受盐害, 影响经济效益, 我国绿豆品种资源里, 只有有限的耐盐种质<sup>[6]</sup>。绿豆具有一定的耐盐性, 盐胁迫对不同品种的绿豆有不同的影响, 因此探讨盐胁迫对绿豆种子萌发和生长可为其大面积盐碱地种植提供理论依据。为研究绿豆种子萌发对 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫响应情况, 笔者分别采用 0、20、40、60、80 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液对吉绿 10

号、HN1023-7-2、同 111411、保绿 201323-3 和辽绿 PB-02 共 5 个品种的绿豆进行胁迫萌发试验。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 试验选用绿豆品种为吉绿 10 号、HN1023-7-2、同 111411、保绿 201323-3 和辽绿 PB-02。

**1.2 方法** 分别挑选大小一致、均匀饱满的 5 个品种绿豆种子, 用 0.5% 次氯酸钠溶液为种子及玻璃培养皿消毒 15 min, 经蒸馏水冲洗干净后将绿豆种子均匀放置在垫有 2 层滤纸的发芽床上培养。Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理溶液浓度分别设为 20、40、60、80 mmol/L (pH 分别为 10.9、11.0、11.2、11.3), 分别记为 T1、T2、T3、T4 处理, 以蒸馏水处理为对照 (CK)。试验设 3 次重复, 每个培养皿放入 50 粒经过处理的种子。将所有培养皿分组放入人工模拟培养箱中进行培养, 培养箱设培养温度为 25 ℃, 光照 15 h (18 ℃), 黑暗 9 h, 湿度调为 50%, 光照为 15 000 lx。每 24 h 使用针管和移液枪更换 1 次相应浓度的盐溶液。从第 2 天开始, 每当时段交替的时候调查记载种子发芽情况 (胚芽的长度大于等于种子长度的 50% 时为发芽标准), 连续 2 d 种子发芽数不变时调查结束 (期间如有发霉的种子及时取出冲洗, 严重发霉的种子及时丢掉并做好记录, 发芽床被污染应及时更换发芽床)。

## 1.3 指标测定

### 1.3.1 种子萌发指标。

发芽率 = 发芽种子数 / 总种子数 × 100%

**基金项目** 财政部和农业农村部: 国家现代产业技术体系-食用豆 (CARS-08-G-22); 河北省水利科研与推广计划项目 (2017-54, 2018-35); 河北省节水灌溉装备产业技术研究院基金支持 (SC2018005)。

**作者简介** 袁典 (1996—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向: 咸水灌溉理论与技术。\* 通信作者: 刘宏权, 副教授, 硕士生导师, 博士, 从事农田水肥调控及农业水土资源优化利用研究; 韩会玲, 教授, 博士生导师, 博士, 从事水资源高效利用方面的研究。刘宏权和韩会玲为共同通信作者。

**收稿日期** 2021-03-12; **修回日期** 2021-04-08

发芽势 = 第3天发芽种子数 / 总种子数 × 100%

发芽指数 =  $\sum G_t / D_t$

式中,  $G_t$  为在不同时间的发芽数;  $D_t$  为相应的发芽日。

**1.3.2 形态指标。**第7天发芽结束后,每重复选取典型一致、完整的种子幼苗10株,滤纸吸干表面水分后用小刀将胚根和胚芽分离,分别用精度万分之一的天平称鲜重与干重,计算活力指数与根冠比。

活力指数 = 发芽指数 × 种胚芽生长量(平均根重或芽重)

根冠比 = 地下部分鲜重或干重 / 地上部分鲜重或干重

**1.4 数据处理** 数据取3次重复测定的平均值。采用Excel软件对数据进行处理;采用SPSS 25统计软件进行方差分析(使用LSD法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 对 5 个绿豆品种种子萌发的影响

不同浓度 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理下,5个绿豆品种种子发芽率、发芽势、发芽指数见表1。结果表明,5种绿豆种子发芽率、发芽势、发芽指数均随 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 浓度升高而呈降低的趋势;5个品种的发芽率和发芽势在 T1 和 T2 处理下均与 CK 差异不显著,但5个品种的发芽率和发芽势在 T4 处理下与 CK 有显著差异。在 T3 处理下,只有 HN1023-7-2 和保绿 201323-3 的发芽率较 CK 差异达到了显著水平,吉绿 10 号、同 111411、辽绿 PB-02 共3个品种的发芽率均与 CK 差异不显著,而5个品种的发芽势均与 CK 差异达到了显著水平;在 T4 处理下,5个品种的发芽势和发芽率均与 CK 差异达到了显著水平,吉绿 10 号发芽率最高,同 111411 发芽势最高。从发芽指数来看,吉绿 10 号、HN1023-7-2、保绿 201323-3 发芽指数在 T1 处理与 CK 下无显著差异,而且发芽指数略高于 CK,同 111411、辽绿 PB-02 在 T1 处理下发芽指数高于 CK,且与 CK 表现出显著差异,吉绿 10 号、同 111411、保绿 201323-3 在 T2 处理下发芽指数与 CK 有显著差异,同 111411 在 T2 处理下发芽指数无显著差异,辽绿 PB-02 T2、T1 处理有显著差异,但与 CK 无显著差异。随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 浓度升高,发芽指数降低,各品种绿豆发芽指数较 CK 差异越来越显著。综上所述,低浓度盐胁迫不会对绿豆萌发造成影响,甚至还可促进其萌发,但3个指标对盐浓度升高的敏感程度不同,从大到小排序为发芽指数、发芽势、发芽率。SPSS 软件统计分析显示,5个绿豆品种的萌发对盐胁迫的响应无显著差异。

### 2.2 不同浓度 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 对 5 个绿豆品种种子生长的影响

不同浓度 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理下,5个绿豆品种的胚根鲜重、干重,胚芽鲜重、干重如表2所示。由表2可知,在 T3、T4 高盐浓度处理下,所有品种均已死亡腐烂,说明5个绿豆品种对高浓度碱性盐胁迫均不耐受;与 CK 相比,随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度的升高,各品种胚根鲜重、干重越来越表现出显著差异;与 T1 处理相比,在 T2 处理下5个品种胚根鲜重、干重有显著差异;随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度的升高,各品种胚根鲜重、干重减少;除 HN1023-7-2 外,其余品种胚芽鲜重在 T1 处理下与 CK 无显著差异;所有品种胚芽鲜重在 T2 处理下降低且均较 CK 表现出显著差异;除 HN1023-7-2 外,其余品种胚芽鲜

重在 T1、T2 处理均表现出显著差异;所有品种胚芽干重均随 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度升高而减低,并较 CK 差异越来越显著,这可能是因为随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度的升高,胚芽生长变缓慢,长势较差,干物质积累量越来越少。品种间胚根鲜重无显著性差异,胚根干重、胚芽鲜重、干重均为辽绿 PB-02 最低且与其他品种差异显著。

表1 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对种子萌发指标的影响

Table 1 Effects of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> stress on the indexes of seed germination

| 品种名称<br>Variety name | 处理编号<br>Treatment code | 发芽率<br>Germination rate // % | 发芽势<br>Germination energy // % | 发芽指数<br>Germination index |          |
|----------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------|
| 吉绿 10 号              | CK                     | 100 a                        | 100 a                          | 108.14 a                  |          |
| Jilu 10              | T1                     | 100 a                        | 99 a                           | 117.64 a                  |          |
|                      | T2                     | 100 a                        | 94 ab                          | 92.75 b                   |          |
|                      | T3                     | 99 a                         | 92 b                           | 83.45 b                   |          |
|                      | T4                     | 75 b                         | 33 c                           | 39.72 c                   |          |
| HN1023-7-2           | CK                     | 100 a                        | 100 a                          | 119.81 a                  |          |
|                      | T1                     | 100 a                        | 99 a                           | 120.87 a                  |          |
|                      | T2                     | 100 a                        | 100 a                          | 112.14 a                  |          |
|                      | T3                     | 92 b                         | 71 b                           | 71.13 b                   |          |
| 同 111411             | T4                     | 49 c                         | 27 c                           | 29.14 c                   |          |
|                      | CK                     | 100 a                        | 99 a                           | 117.17 b                  |          |
|                      | Tong 111411            | T1                           | 100 a                          | 99 a                      | 125.20 a |
|                      |                        | T2                           | 100 a                          | 99 a                      | 125.59 a |
| T3                   |                        | 97 a                         | 96 b                           | 74.60 c                   |          |
| T4                   |                        | 82 b                         | 75 c                           | 50.11 d                   |          |
| 保绿 201323-3          | CK                     | 100 a                        | 100 a                          | 122.31 a                  |          |
|                      | Baolu 201323-3         | T1                           | 100 a                          | 100 a                     | 123.31 a |
|                      |                        | T2                           | 100 a                          | 98 ab                     | 106.89 b |
|                      |                        | T3                           | 94 b                           | 93 b                      | 78.81 c  |
| T4                   |                        | 49 c                         | 29 c                           | 29.99 d                   |          |
| 辽绿 PB-02             | CK                     | 99 a                         | 99 a                           | 112.11 b                  |          |
|                      | Liaolu PB-02           | T1                           | 100 a                          | 99 a                      | 118.67 a |
|                      |                        | T2                           | 98 a                           | 97 ab                     | 107.87 b |
|                      |                        | T3                           | 97 a                           | 96 b                      | 82.21 c  |
| T4                   |                        | 62 b                         | 31 c                           | 34.46 d                   |          |

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

不同浓度 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理下,5种绿豆的活力指数及胚根冠比如图1、2所示。随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度的升高,5个绿豆品种活力指数与胚根冠比变化趋势相似,都随 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度升高而降低,表明在高盐逆境下,5种绿豆生长受阻,种子活力降低,且根部的生长发育受抑制作用更加严重。在 CK 处理下,HN1023-7-2 种子活力指数明显高于其他4个绿豆品种的种子活力指数。在 T1 处理下,HN1023-7-2 种子活力指数较 CK 显著降低,降低的程度高于其他4个绿豆品种。在 T2 处理下,5个绿豆品种的种子活力指数较 T1 处理均降低,且降低的程度大致相同。在 CK 处理下,HN1023-7-2 种子根冠比高于其他4个绿豆品种。在 T1 处理下,HN1023-7-2 根冠较 CK 显著降低,降低的程度大于其他4个绿豆品种。在 T2 处理下,5个绿豆品种的根冠比较 T1 处理均降低,且降低的程度大致相同。5个绿豆品种在 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫下种子活力指数和根冠比降低趋势相似。

综合5个绿豆品种种子生长的总体表现可以看出, 保绿201323-3、吉绿10号中等, 辽绿PB-02最大。HN1023-7-2生长发育受盐胁迫影响程度最小, 同111411、

表2  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫对种子胚根和胚芽的影响

Table 2 Effects of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  stress on seed radicle and embryo

g

| 品种名称<br>Variety name     | 处理编号<br>Treatment code | 胚根鲜重<br>Radicle fresh weight | 胚根干重<br>Radicle dry weight | 胚芽鲜重<br>Embryo fresh weight | 胚芽干重<br>Embryo dry weight |
|--------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 吉绿10号 Jilu 10            | CK                     | 0.674 5 aA                   | 0.053 1 aA                 | 2.936 3 bcA                 | 0.360 3 bA                |
|                          | T1                     | 0.356 2 aB                   | 0.038 1 aB                 | 2.434 7 bcA                 | 0.326 4 bB                |
|                          | T2                     | 0.057 3 aC                   | 0.003 7 aC                 | 1.964 9 bcB                 | 0.265 9 bC                |
|                          | T3                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
|                          | T4                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
| HN1023-7-2               | CK                     | 1.136 0 aA                   | 0.064 1 abA                | 3.624 7 aA                  | 0.483 9 aA                |
|                          | T1                     | 0.407 3 aB                   | 0.042 0 abB                | 2.790 4 aB                  | 0.409 9 aB                |
|                          | T2                     | 0.064 1 aC                   | 0.007 1 abC                | 2.593 8 aB                  | 0.304 3 aC                |
|                          | T3                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
|                          | T4                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
| 同111411 Tong111411       | CK                     | 0.809 1 aA                   | 0.065 6 aA                 | 3.091 7 abA                 | 0.459 0 abA               |
|                          | T1                     | 0.514 2 aB                   | 0.046 5 aB                 | 2.742 8 abA                 | 0.325 3 abB               |
|                          | T2                     | 0.087 4 aC                   | 0.009 9 aC                 | 2.303 7 abB                 | 0.278 7 abC               |
|                          | T3                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
|                          | T4                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
| 保绿201323-3 Baolu 01323-3 | CK                     | 0.719 2 aA                   | 0.049 9 cA                 | 2.838 9 bcA                 | 0.402 5 abA               |
|                          | T1                     | 0.434 1 aB                   | 0.036 2 cB                 | 2.772 7 bcA                 | 0.354 0 abB               |
|                          | T2                     | 0.073 3 aC                   | 0.005 8 cC                 | 2.226 4 bcB                 | 0.317 9 abC               |
|                          | T3                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
|                          | T4                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
| 辽绿PB-02 Liaolu PB-02     | CK                     | 0.608 8 aA                   | 0.050 4 cA                 | 2.579 2 cA                  | 0.354 7 bA                |
|                          | T1                     | 0.346 1 aB                   | 0.035 4 cB                 | 2.488 3 cA                  | 0.316 0 bB                |
|                          | T2                     | 0.079 0 bC                   | 0.007 3 cC                 | 1.978 0 cB                  | 0.263 4 bC                |
|                          | T3                     | —                            | —                          | —                           | —                         |
|                          | T4                     | —                            | —                          | —                           | —                         |

注:不同小写字母表示同种盐分处理不同品种间在0.05水平差异显著;不同大写字母表示同品种不同盐分处理间在0.05水平差异极显著  
Note: Different lowercases indicated significant differences at 0.05 level in the same  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  treatment between different varieties; different capital letters indicated extremely significant differences at 0.05 level between different  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  treatments of the same variety

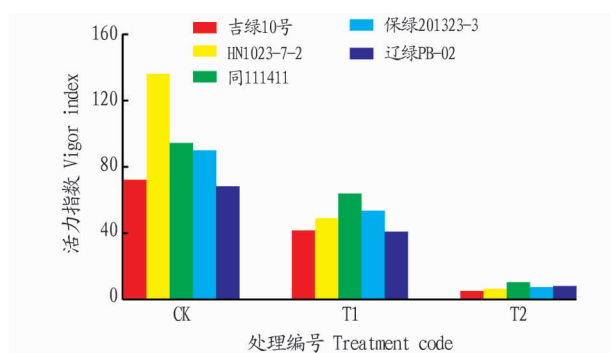


图1  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫下种子活力指数的比较

Fig.1 Comparison of seed vigor index under  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  stress

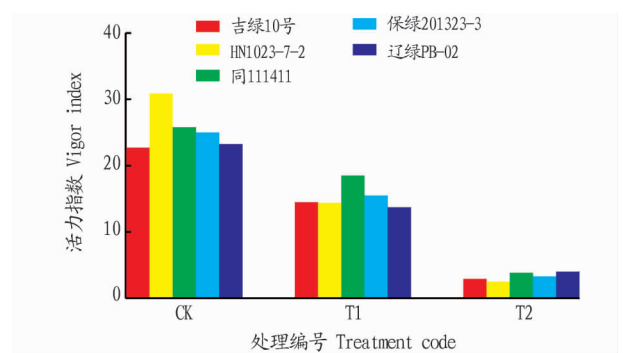


图2  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫下种子根冠比的比较

Fig.2 Comparison of seed root to shoot ratio under  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  stress

### 3 小结与讨论

种子发芽是种子植物生命的起点,是种子植物生命活动最为强烈的一个阶段<sup>[7]</sup>。植物种子耐盐性在逆境胁迫下可分为萌动前和萌动后2个时期来评价,在萌动前期对种子进行抗性评价主要依据发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等指标,而在萌动后期一般通过对种子的胚芽和胚根等与生长发育有关的形态指标的观测来判断种子抗逆能力<sup>[8]</sup>。从萌发情况来看,首先5种绿豆品种间并无显著性差异,且低

浓度  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理对5种绿豆萌发无显著差异,甚至会促进其萌发,这与张晓程<sup>[9]</sup>研究NaCl胁迫对四棱豆种子萌发及幼胚芽生长的影响得到的结论一致。随着  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理浓度的升高,所有参试材料的发芽率、发芽势、发芽指数均呈降低趋势,这一结果与宗俊勤等<sup>[10]</sup>的研究结果一致,与小麦等禾本科作物的结论也类似。程大友等<sup>[11]</sup>认为,在高浓度的NaCl胁迫下,种子的发芽率显著降低,这可能是由于高浓度

NaCl 的毒害作用对细胞的渗透调节作用、膜脂脂肪酸的组成及生理代谢酶活性等方面产生不良影响。其次与发芽率和发芽势相比,发芽指数对盐胁迫更加敏感,这可能是因为在中高浓度盐胁迫下,种子虽能萌发,但发芽进程迟缓,种子的生命活动受到了抑制。刘建霞等<sup>[12]</sup> 研究表明,盐胁迫会影响绿豆种子的萌发,抑制幼苗的生长。从生长指标角度分析,随着 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理浓度的升高,各品种绿豆生长指标均呈降低趋势且差异越来越显著,种子活力越来越低,特别是胚根部位作为胚芽生长发育的重要器官受到了严重的抑制作用。T3、T4 处理下,所有品种均无法正常生长且有发霉腐烂的现象,这可能是由于随着盐浓度的升高,种子吸水困难,影响种子内多种酶的活动,从而代谢减慢,或者种子细胞膜结构受到破坏,影响了其选择透过性,从而造成离子毒害作用以致种子细胞死亡。INZÉ 等<sup>[13]</sup> 认为,植物在盐胁迫后,质膜会发生一系列的变化,其组分、透性、运输、离子流等都会受到影响而发生变化,从而损害膜的正常生理功能,进而影响细胞的代谢作用,使得植物代谢过程发生变化,细胞的生理功能受到不同程度的破坏。孙振雷等<sup>[14]</sup> 的研究表明,在同一 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 浓度胁迫下,绿豆品种间各项指标的差异也达到显著或极显著水平,说明在 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫下绿豆品种间的抗盐性存在真实的差异,这是由各个绿豆品种的遗传基因所决定的,与该试验得出的结论相似。

该试验结果表明,绿豆种子可以抵御低浓度碱性盐 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 的侵害,但中高浓度 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (≥60 mmol/L) 胁迫明显抑制了绿豆的正常生长。基于各指标综合分析可知,不同绿

豆品种中,HN1023-7-2 耐盐性最强,同 111411、保绿 201323-3、吉绿 10 号次之,而辽绿 PB-02 最差。

### 参考文献

- [1] 李建国,濮励杰,朱明,等.土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J].地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [2] 王楠,高静,黄文静,等.旱、盐胁迫下黄芪种子萌发及其对水杨酸的响应[J].草业科学,2018,35(1):106-114.
- [3] 张锐,刘玉艳,于凤鸣,等.盐胁迫对红花鼠尾草和蓝花鼠尾草种子萌发的影响[J].分子植物育种,2018,16(5):1682-1689.
- [4] 蹇黎.Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 对紫苏种子萌发的影响[J].安徽农业科学,2018,46(33):44-45.
- [5] 高凤菊.食用豆优良品种及高产栽培技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2016:37-38.
- [6] 高运青.绿豆种质资源农艺性状分析与评价[J].河北农业科学,2018,22(3):70-74,82.
- [7] HORST G L, BEADLE N B. Salinity affects germination and growth of tall fescue cultivars [J]. Journal American society for horticultural science, 1984, 109(3): 419-422.
- [8] ZUB H W, BRANCOURT-HULMEL M. Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review [J]. Agronomy for sustainable development, 2010, 30(2): 201-214.
- [9] 张晓程. NaCl 胁迫对四棱豆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 农业研究与应用, 2014(5): 7-10.
- [10] 宗俊勤, 陈静波, 聂东阳, 等. 我国不同地区芒和获种质资源抗盐性的初步评价[J]. 草地学报, 2011, 19(5): 803-807.
- [11] 程大友, 张义, 陈丽. 氯化钠胁迫下甜菜种子的萌发[J]. 中国糖料, 1996(2): 21-23.
- [12] 刘建霞, 张晓丹, 王润梅, 等. 6-BA 浸种对盐胁迫下绿豆萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 作物杂志, 2018(1): 166-172.
- [13] INZÉ D, MONTAGU M V. Oxidative stress in plants [J]. Current opinion in biotechnology, 1995, 6(2): 153-158.
- [14] 孙振雷, 刘鹏, 叶柏军, 等. 绿豆种子萌发及苗期抗盐性的研究[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2001, 16(1): 31-38.
- [15] Current biology, 2015, 25(2): 187-193.
- [16] HUAI J L, ZHANG X Y, LI J L, et al. SEUSS and PIF4 coordinately regulate light and temperature signaling pathways to control plant growth [J]. Molecular plant, 2018, 11(7): 928-942.
- [17] LEE H J, JUNG J H, CORTÉS LLORCA L, et al. FCA mediates thermal adaptation of stem growth by attenuating auxin action in *Arabidopsis* [J]. Nature communications, 2013, 5(1): 1-7.
- [18] ZHU J Y, OH E, WANG T, et al. TOC1-PIF4 interaction mediates the circadian gating of thermoresponsive growth in *Arabidopsis* [J]. Nature communications, 2016, 7(1): 1-10.
- [19] MA D B, LI X, GUO Y X, et al. Cryptochrome I interacts with PIF4 to regulate high temperature-mediated hypocotyl elongation in response to blue light [J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2016, 113(1): 224-229.
- [20] PEDMALE U V, HUANG S C, ZANDER M, et al. Cryptochromes interact directly with PIFs to control plant growth in limiting blue light [J]. Cell, 2016, 164(1/2): 233-245.

(上接第 24 页)

- [29] ZHANG B, HOLMLUND M, LORRAIN S, et al. BLADE-ON-PETIOLE proteins act in an E3 ubiquitin ligase complex to regulate PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR 4 abundance [J]. eLife, 2017, 6: 1-19.
- [30] DE LUCAS M, DAVIÈRE J M, RODRÍGUEZ-FALCÓN M, et al. A molecular framework for light and gibberellin control of cell elongation [J]. Nature, 2008, 451(7177): 480-484.
- [31] HORNITSCHKE P, LORRAIN S, ZOETE V, et al. Inhibition of the shade avoidance response by formation of non-DNA binding bHLH heterodimers [J]. The EMBO Journal, 2009, 28(24): 3893-3902.
- [32] ROIG-VILLANOVA I, BOU-TORRENT J, GALSTYAN A, et al. Interaction of shade avoidance and auxin responses; A role for two novel atypical bHLH proteins [J]. The EMBO Journal, 2007, 26(22): 4756-4767.
- [33] NIETO C, LÓPEZ-SALMERÓN V, DAVIÈRE J M, et al. ELF3-PIF4 interaction regulates plant growth independently of the evening complex [J].